

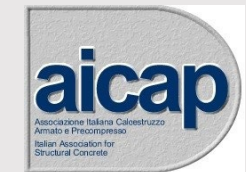
RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITÀ

Brescia, 16 novembre 2023

Aula Magna Ingegneria - Università di Brescia (UniBs)

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati:
una scelta di sostenibilità ambientale

Organizzato da:



Associazione italiana
cemento armato e
precompresso



Collegio dei
Tecnici della
industrializzazione
Edilizia



Società
Italiana
Gallerie
Italian Tunnelling Society

Con il patrocinio di:



N. Valiante Webuild Design Services - Director
F. Martellozzo Webuild Design Services - Design Engineer

Media Partner:



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Una scelta di sostenibilità ambientale

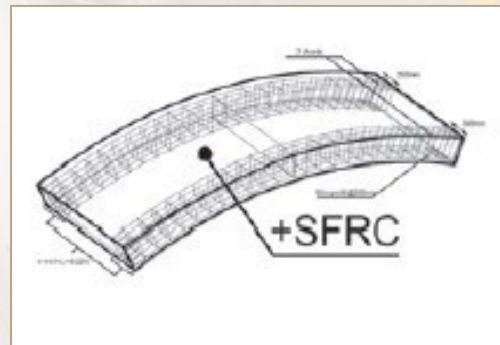
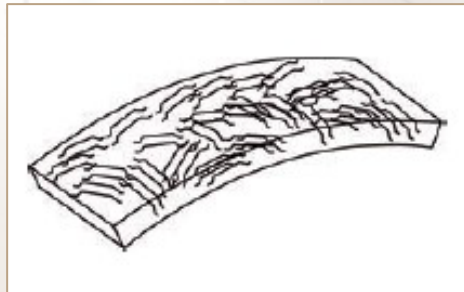
Sommario

1. Introduzione SFRC
 - Inquadramento progettuale
 - L'esperienza del Gruppo Webuild
2. L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Il contesto italiano
3. La progettazione con SFRC nello scenario di incendio in galleria
 - Stato dell'arte
 - Prova di spalling CSST
4. Le applicazioni potenziali in Italia
 - Impegno Webuild per la sostenibilità
 - Il caso della finestra di Forch (AV Verona - Brennero)
 - I potenziali progetti coinvolti e gli scenari di sostenibilità

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Introduzione

Inquadramento degli standard per la progettazione

- Prime applicazioni in galleria dal 1980.
- Prima regolamentazione generale per la progettazione con fib Model Code 2010.
- Prima regolamentazione specifica per rivestimenti in anelli di conci prefabbricati nel 2017 con fib Bulletin 83 in sostituzione (o in unione) alle barre d'armatura.



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Introduzione

L'esperienza del gruppo Webuild con SFRC

Oltre 190 km di gallerie rivestiti con SFRC

- Prima applicazione nel 2007
- Applicazioni in 5 continenti
- Gallerie con diversi:
 - Diametri (da 3,50 a 10,66 metri)
 - Spessori (da 25 a 40 centimetri)
 - Destinazioni d'uso (Metro, Hydraulic, HPP)

	Country / Project	Project Type	Contract Period	Totals (km)	Segments Reinforcing	Ring Configuration	OD (m)	Thickness (m)
W e b u i l d	Abu Dhabi - STEP T02 (EAU)	Hydraulic	2009 - 2013	15,22	Mixed Segments SFRC & steel bars	5+1	6,06	0,28
	Abu Dhabi - STEP T03 (EAU)	Hydraulic	2010 - 2014	9,47	Mixed Segments SFRC & steel bars	5+1	6,70	0,35
	Anacostia River Tunnel Washington DC (USA)	Hydraulic	2013 - 2017	3,74	Mixed Segments SFRC & steel bars	6+1	7,62	0,30
	Doha Red Line (QAT)	Metro Line	2013 - 2017	22,80	Mixed Segments SFRC & steel bars	6+1	6,77	0,30
	Abu Hamur (QAT)	Hydraulic	2013 - 2017	9,37	SFRC	6+1	4,20	0,25
	Dugway Storage Tunnel - Cleveland - Ohio (USA)	Hydraulic	2015 - 2020	4,52	SFRC	4+2	7,93	0,31
	Forrestfield Airport Link Project - Perth (AUS)	Metro Line	2016 - 2020	15,22	Mixed Segments SFRC & steel bars	5+1	6,77	0,30
	North East Boundary Tunnel - Washington DC (USA)	Hydraulic	2017 - 2022	8,23	Mixed Segments SFRC & steel bars	6+1	7,72	0,36
	Fort Wayne - Indiana (USA)	Hydraulic	2017 - 2021	7,48	SFRC	4+2	5,55	0,30
	Grand Paris Line 16 Lot 2 (FRA)	Metro Line	2018 - ongoing	11,50	SFRC	7+0	9,50	0,40
	Snowy 2.0 Project (AUS)	HPP	2020 - ongoing	29,63	80% SFRC & 20% steel bars	9+0	10,66	0,38
	Metro Line 4 - San Paolo (BRA)	Metro Line	2007-2009	6,40	SFRC	7+1	9,13	0,35
	Pando (PAN)	Hydraulic	2009-2015	5,20	SFRC	6+0	3,50	0,25
	Monte Lirio (PAN)	Hydraulic	2009-2015	7,80	SFRC	6+0	3,70	0,25
	El Alto (PAN)	Hydraulic	2011-2013	3,20	SFRC	6+1	6,60	0,35
	Evergreen - Vancouver (CAN)	Metro Line	2013-2016	2,00	SFRC	7+1	9,54	0,35
Doha Golden Line (QAT)	Metro Line	2014-2017	23,30	SFRC	6+1	6,67	0,30	
Bergen Point WWTP Outfall Replacement - New York (USA)	Hydraulic	2018-2021	4,32	SFRC	6+0	3,55	0,25	

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Una scelta di sostenibilità ambientale

Il contesto italiano


L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Il contesto italiano

Inquadramento Normativo

- In NTC2018 prima apertura ai calcestruzzi fibrorinforzati.
- Per uso strutturale è necessario qualificare il materiale (NTC2018 §11.1) con richiesta CVT (Certificato di Valutazione Tecnica) rilasciato dal CSLPP dopo istruttoria emessa dal STC (Servizio Tecnico Centrale) sulla base di precise Linee Guida emesse dal CSLPP (2021).
- A maggio 2022 emissione di Linee Guida del CSLPP per la progettazione e messa in opera di elementi strutturali in SFRC compresa l'applicazione per rivestimenti di anelli prefabbricati.


CERTIFICATO DI VALUTAZIONE TECNICA ai sensi del Cap.11, punto 11.1 lett. c) del D.M. 17.1.2018	
Denominazione commerciale del Prodotto	Calcestruzzo fibrorinforzato per manufatti prefabbricati per il rivestimento di opere in sotterraneo.
Oggetto della certificazione e campo di impiego	Manufatti prefabbricati per il rivestimento delle opere in sotterraneo della METRO C di Roma
Titolare del Certificato	
Centro di distribuzione e Stabilimento di produzione	
Validità del Certificato	Anni 5 a decorrere dalla data di protocollo sopraindicata

Il presente Certificato, emesso in formato digitale e riproducibile solo nella sua interezza, integra e sostituisce il precedente CVT n. 529 del 3 ottobre 2019.

 VIA NORDENSA 2 - 00143 ROMA
TEL. 06.412.5419
WWW.STC.IT

STC Servizio Tecnico Centrale - Divisione II

Pagina 1 di 7



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

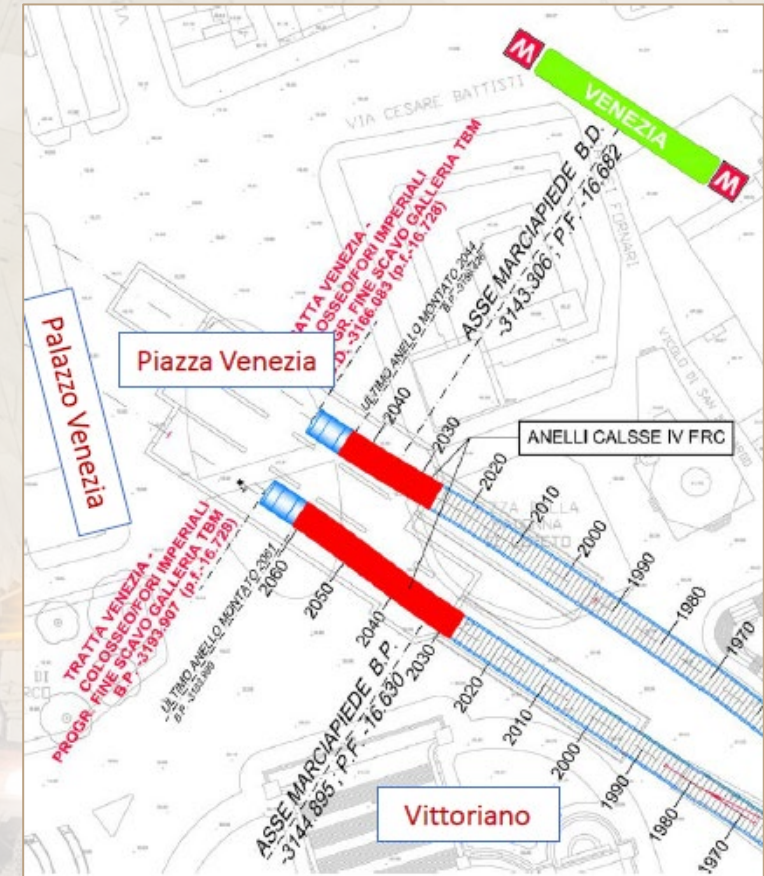
1

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Il contesto italiano

L'esperienza del gruppo Webuild con SFRC in Italia

Roma Metro C

- Applicazione temporanea di ca. 55 anelli (80 m) di anelli di conci prefabbricati SFRC dentro al perimetro delle future stazioni *Fori Imperiali* e *Piazza Venezia*.
- SFRC con classe di resistenza C40/50 4C e classe di esposizione XC2+XA2.
- Anelli con spessore 30 cm - Dest 6,40 m - Dint 5,80 m.



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Il contesto italiano

Criticità per la progettazione di conci in SFRC

- CRITERI UNIVOCI DI PROGETTAZIONE DEI CONCI IN SFRC



DESIGN BASIS PER CONCI IN SFRC

- APPROCCIO PER LA VERIFICA SPERIMENTALE DELLO SPALLING
ESPLOSIVO



SVILUPPO PROVA SPERIMENTALE DI SPALLING

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Il contesto italiano

Design Basis Webuild per la progettazione di conci in SFRC

- Numerosi riferimenti rendono lo stato dell'arte complesso.
- Webuild si è dotata di un Design Basis che definisce i criteri di progettazione per l'impiego di SFRC per rivestimenti in anelli di conci prefabbricati.
- Prima emissione marzo 2022 (precedente rispetto a Linee Guida del CSLLPP).
- Principali criteri progettuali trattati:
 - Ipotesi di base e definizione del legame costitutivo del materiale
 - Metodi di verifica allo SLE e SLU
 - Carichi e verifiche di progetto per fasi transitorie e operative
 - **Verifiche in condizioni di incendio**
 - Durabilità



ENGINEERING

DESIGN SERVICES

TECHNICAL REPORT

DESIGN BASIS

PROGETTAZIONE DI CONCI DI GALLERIA IN
CALCESTRUZZO FIBRO-RINFORZATO (SFRC)

DOCUMENT No.:
ED-TR-G-21-05_C

REV.	DATE	PREP.	VERIF.	APPROV.	DESCRIPTION
A	03/03/2022	Design Services	N. Valante	M. Orlandini	Prima emissione per Progettazione Esecutiva
B	04/08/2022	Design Services	N. Valante	M. Orlandini	Recupero Linee Guida CSLP maggio 2022
C	28/09/2023	Design Services	N. Valante	M. Orlandini	Revisione per Progettazione Esecutiva di Dettaglio

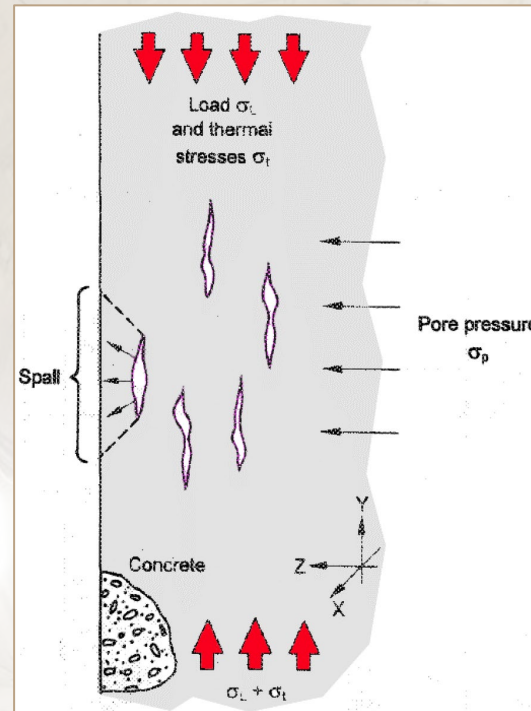
L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Una scelta di sostenibilità ambientale

La progettazione nello scenario di incendio in galleria

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

Verifiche in condizioni di incendio di conci in SFRC

- Verifica della capacità portante del rivestimento durante l'incendio - riduzione della sezione reagente.
- Profondità di spalling esplosivo dipende da numerosi fattori quindi come stimarla?
 - Formulazione analitica (solo RC con barre)
 - Prove sperimentali (fenomeno complesso)
- Design Basis Webuild fissa un requisito prestazionale: max. 5 cm di spalling.
- Identificazione mix design idoneo che soddisfi il criterio progettuale per via sperimentale.

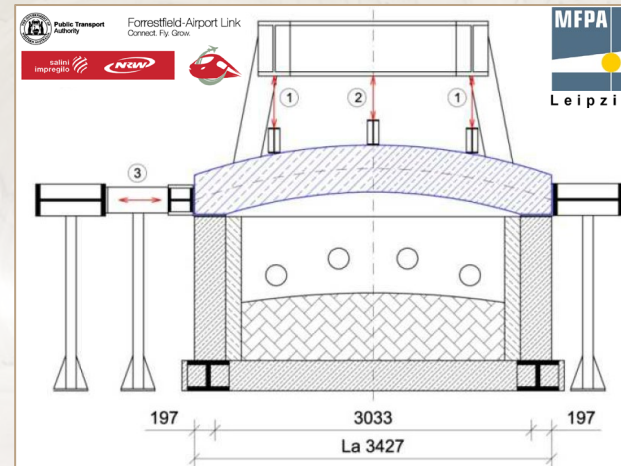
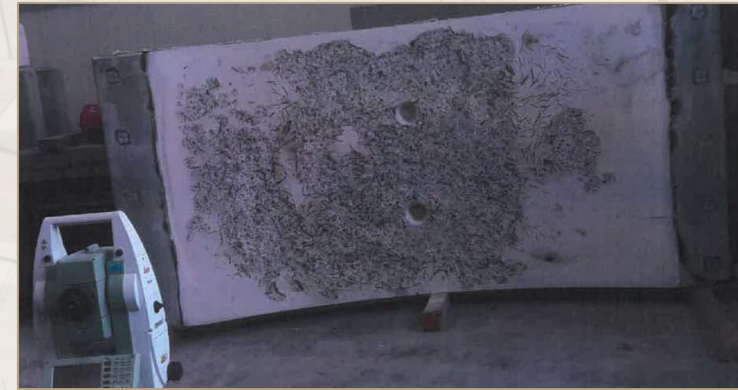


Incendio Tunnel della Manica (1996)

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

Prove a scala reale per profondità spalling

- Prova a scala reale per Webuild FAL Project a Perth (AUS).
- Geometria concio 3.430 mm x 1.600 mm x 300 mm
- Superficie esposta al fuoco approx. 2.800 x 1.500 mm²
- Orientamento orizzontale
- Curve al fuoco di progetto RABT & ISO 834
- Carico:
 - Verticale 3400 kN
 - Orizzontale in 1 direzione 3400 kN



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

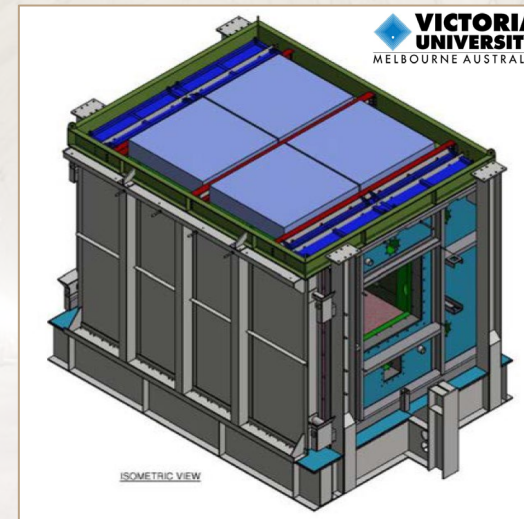
Prove a scala intermedia per profondità spalling

Comitato di ricerca RILEM

Rappresentatività Prova a scala intermedia

- Prove a scala intermedia Webuild Snowy 2.0 Project (AUS)
- 4 lastre testate contemporaneamente
- Geometria singola lastra 1.800 x 1.800 x 260 mm
- Superficie singola esposta approx. 1.530 x 1.660 mm²
- Orientamento orizzontale
- Curva al fuoco di progetto RWS
- Nessun carico agente
- Possibilità di testare più alternative in fase progetto miscele.

Specimen	Polypropylene Fibre Dosage (kg) per m ²	Steel Fibre Dosage (kg) per m ²
P1	0	40
P2	1.0	40
P3	1.5	40
P4	2.0	0



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

Prova a scala reale su concio

- Consente di applicare un carico sull'elemento strutturale (+)
- Non prevede carico in direzione trasversale al concio (-)
- Eseguita solo dopo aver completato il progetto e gettato i conci (-)
- Limitate possibilità di ottimizzazione del Mix Design (-)
- Onerosa e tempi lunghi (-)

Prova a scala intermedia su piastra

- Non consente di applicare un carico sull'elemento strutturale (-)
- Eseguita prima della produzione dei conci di galleria (+)
- Possibilità di ottimizzazione del Mix Design (+)
- Meno impiegata perché potrebbe sottostimare lo spalling (-)
- Semplice e di facile ripetitività (+)

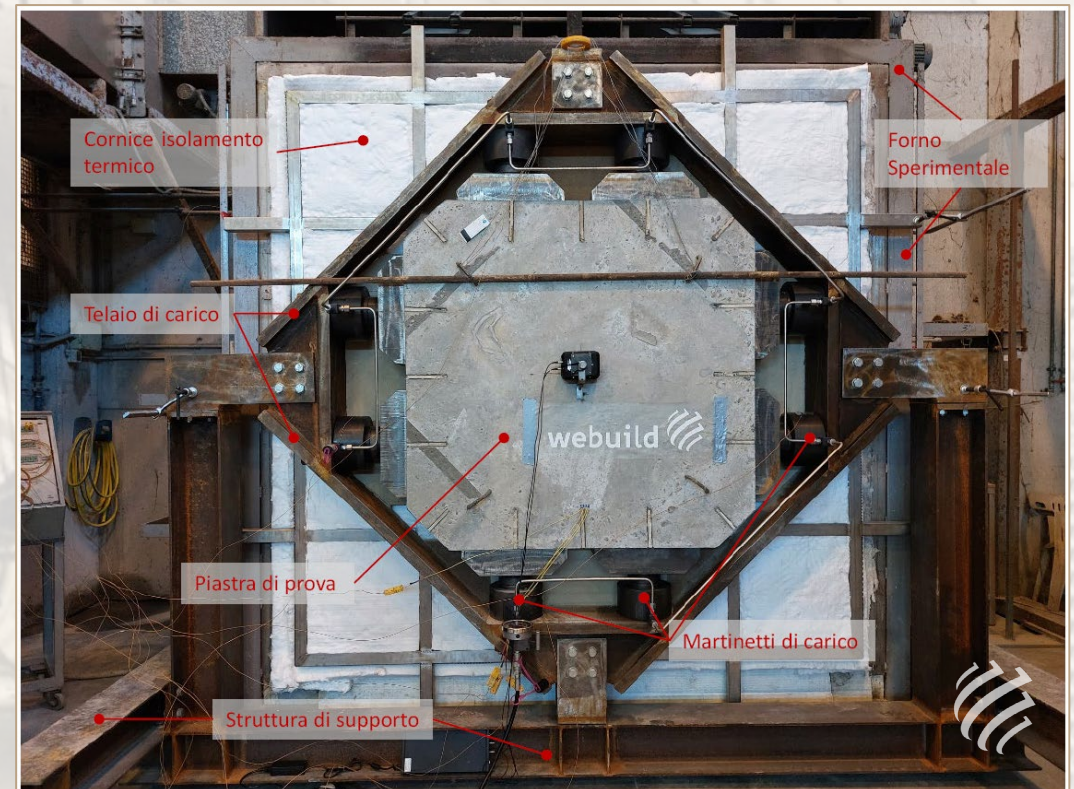
Prova Confined Slab Spalling Test (CSST)

- Consente di applicare un carico sull'elemento strutturale (+)
- Permette di applicare un carico in direzione trasversale al concio (+)
- Eseguita prima della produzione dei conci di galleria (+)
- Possibilità di ottimizzazione del Mix Design (+)
- Semplice e di facile ripetitività (+)

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

Prova Innovativa Confined Slab Spalling Test CSST

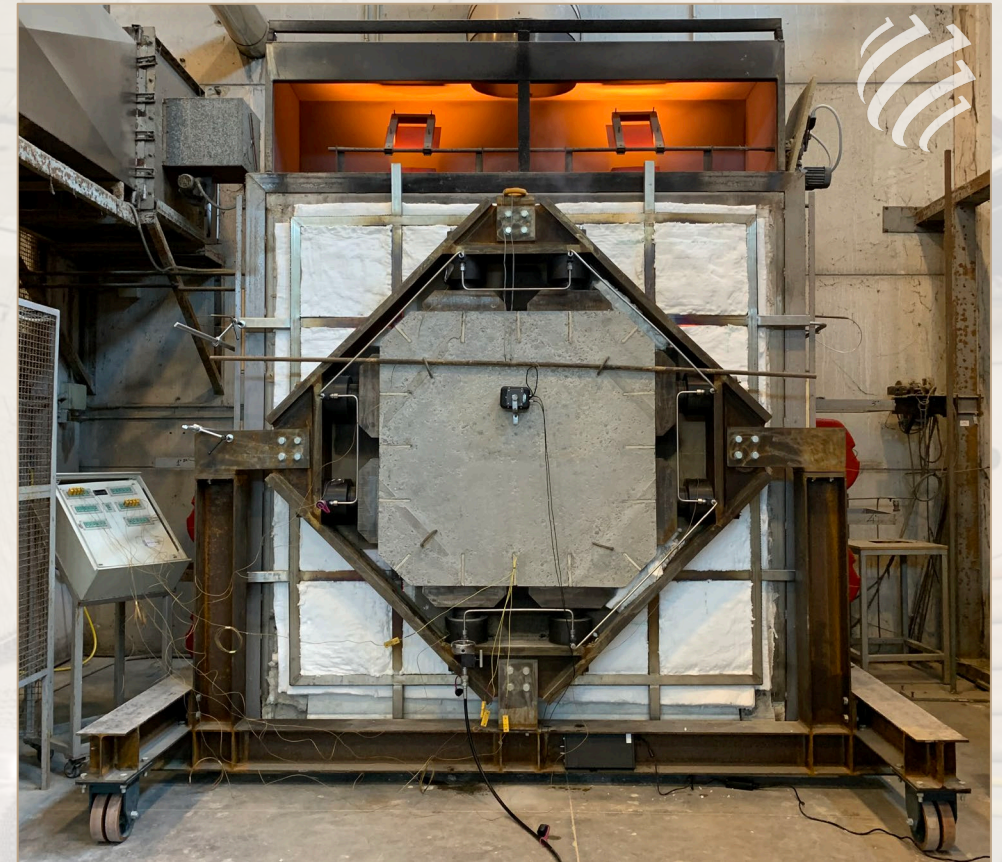
- Sviluppata congiuntamente da Webuild e Politecnico di Milano.
- Industrializzazione di un prototipo studiato per la ricerca.
- Provino rappresenta l'elemento strutturale in esercizio sotto carico - lastra caricata nel piano medio lungo due direzioni (carico biassiale).
- Telaio di carico verticale con sistema di spinta fino a 3.000 kN per lato.
- Cornice di isolamento termico rivestita in fibra ceramica che adatta le dimensioni e protegge l'attrezzatura.



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

Prova Innovativa Confined Slab Spalling Test CSST

- Geometria lastra 1.300 x 1.300 x 250 mm (fino a 300 mm)
- Superficie esposta approx. 1.000 x 1.000 mm²
- Orientamento verticale
- Curva al fuoco di progetto RWS
- Carico biassiale fino a 3.000 kN che impedisce dilatazione termica
- Flessibilità e possibilità di testare più mix design che soddisfino il requisito prestazionale di progetto



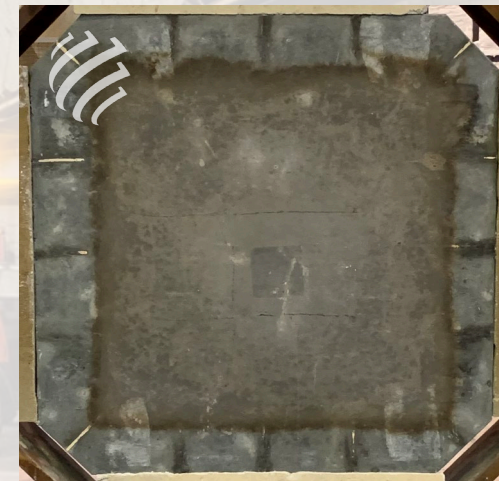
L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

- Eseguite prove CSST con curva al fuoco di progetto **450°C** costante per 120 minuti (Lgalleria < 2km rif. Regolamento UE n. 1303/2014 STI STR).
- 2 dosaggi di fibre in polipropilene anti spalling: 0 e 1,5 kg/m³.
- Rilevamento degrado con laser scanner 3D.

Provino	Dosaggio fibre acciaio [kg/m ³]	T prova [°C]	Dosaggio fibre PP [kg/m ³]	Spalling [mm]
F01	40	450	-	< 50
F12	40	450	1,5	No Spalling



F01
PP = 0 kg/m³



F12
PP = 1,5 kg/m³

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Progettazione al fuoco stato dell'arte

- Eseguite prove CSST con curva al fuoco di progetto RWS120 (**1350°C**) ($L_{galleria} > 2\text{km}$ rif. DM del 2005 «Sicurezza nelle gallerie ferroviarie»).
- Diversi dosaggi e tipologie di fibre in polipropilene anti spalling.
- Rilevamento degrado con laser scanner 3D.

Provino	Dosaggio fibre acciaio [kg/m ³]	T prova [°C]	Dosaggio fibre PP [kg/m ³]	Spalling [mm]
F03	40	1350	-	> 50
V2	40	1350	1,5	< 50
F27	40	1350	1,5*	< 10

*Fibre PP ad alte prestazioni



F03 PP = 0 kg/m³



F27 PP* = 1,5 kg/m³

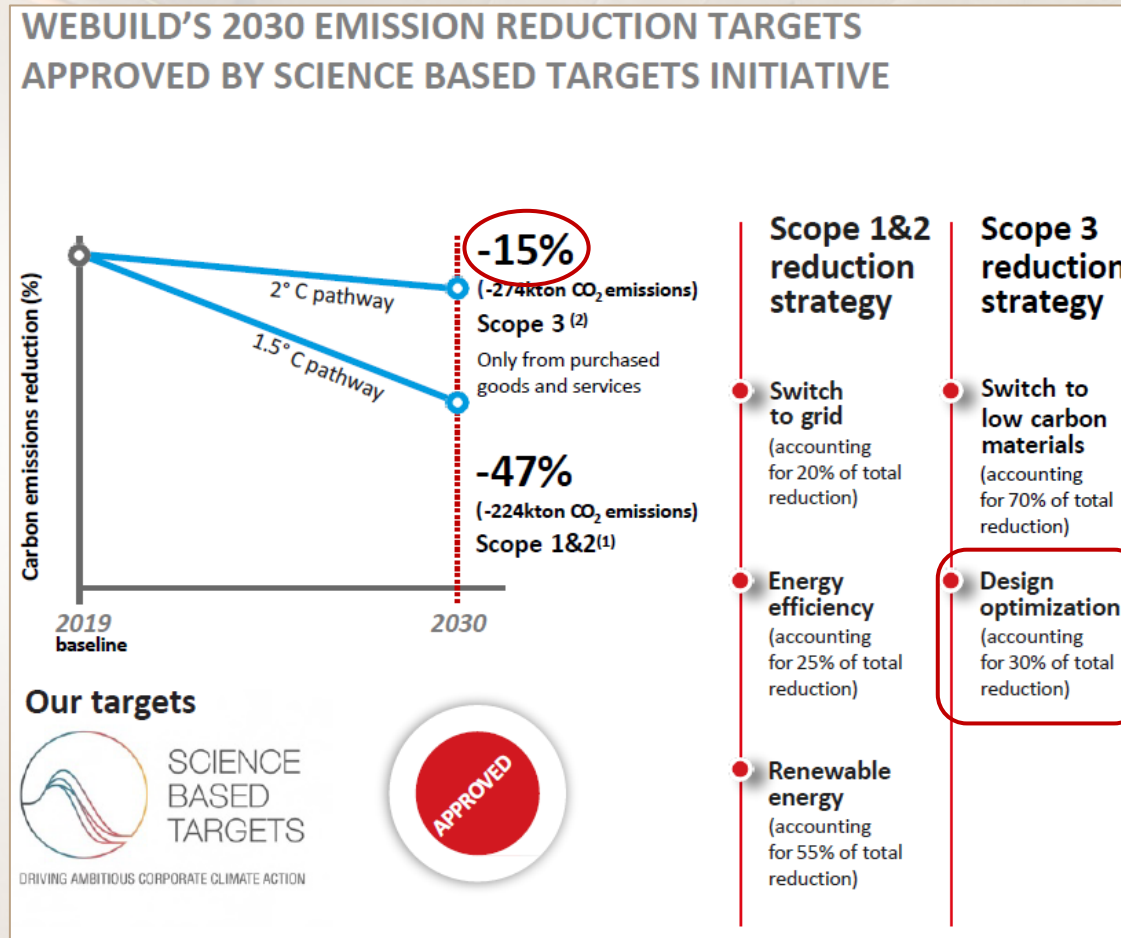


V2 PP = 1,5 kg/m³

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Una scelta di sostenibilità ambientale

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Le applicazioni potenziali in Italia

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Percorso strategico di sostenibilità



- Carbon Neutrality Targets
- Riduzioni emissioni Scopo 1 & 2 (2030)
- Riduzioni emissioni scopo 3 (2030)

Scope 3 – Upstream & Downstream

Ottimizzazioni progettuali

Materiali a basse emissioni

Fibrorinforzato SFRC

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Le applicazioni potenziali in Italia

Linea Ferroviaria AV/AC Verona - Brennero

Lotto 1 Fortezza - Ponte Gardena Galleria Forch

Finestra e galleria di smarino Forch

Galleria di ca. 1.3 km per l'attacco intermedio dello scavo della Galleria Scaleres e galleria di smarino per il collegamento all'area di deposito di Forch. In fase di esercizio la finestra avrà la funzione di accesso/uscita di emergenza

- Design Basis Webuild è stato applicato alla progettazione esecutiva finestra Forch (galleria di accesso non di linea).
- Richiesta di ottenimento CVT già inviata al CSLP e iter di rilascio in corso.
- Applicazione SFRC a ca. 800 m di galleria (L_{tot} 1300 m) in presenza ammasso roccioso competente.

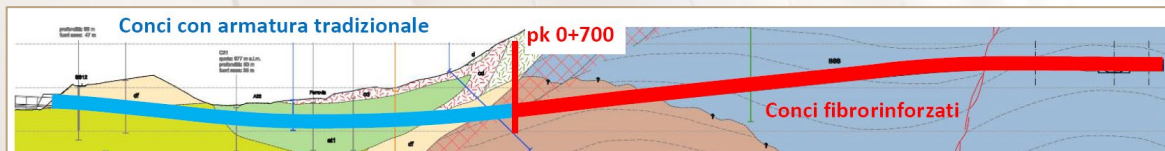
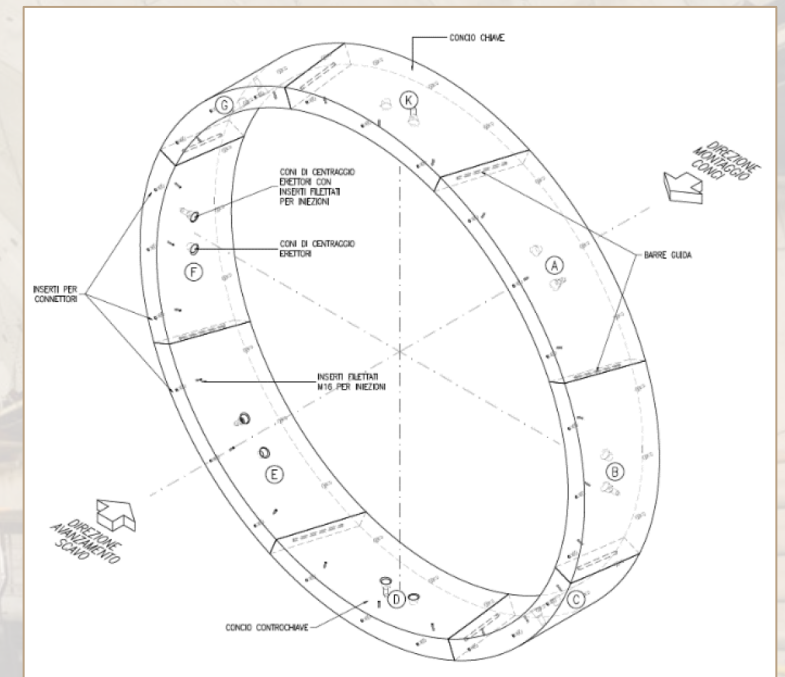


Fig. 1-1 Profilo Geotecnico di Forch



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Le applicazioni potenziali in Italia

Le potenziali applicazioni in Italia – Un'occasione unica

Linea Verona - Brennero:

- L1 Fortezza – Ponte Gardena
- L3A Circonvallazione di Trento

Linea Palermo - Catania:

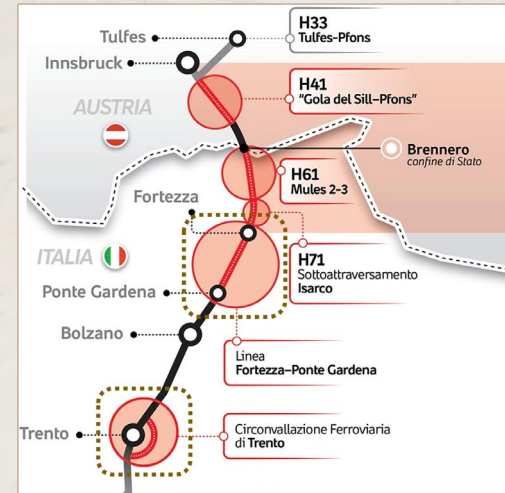
- L1+2 Fiumetorto – Lercara
- L3 Lercara – Caltanissetta Xirbi
- L4A Caltanissetta Xirbi – Nuova Enna

Linea Napoli - Bari:

- Hirpinia - Orsara
- Orsara - Bovino

Linea Salerno Reggio Calabria:

- L1A Battipaglia - Romagnano

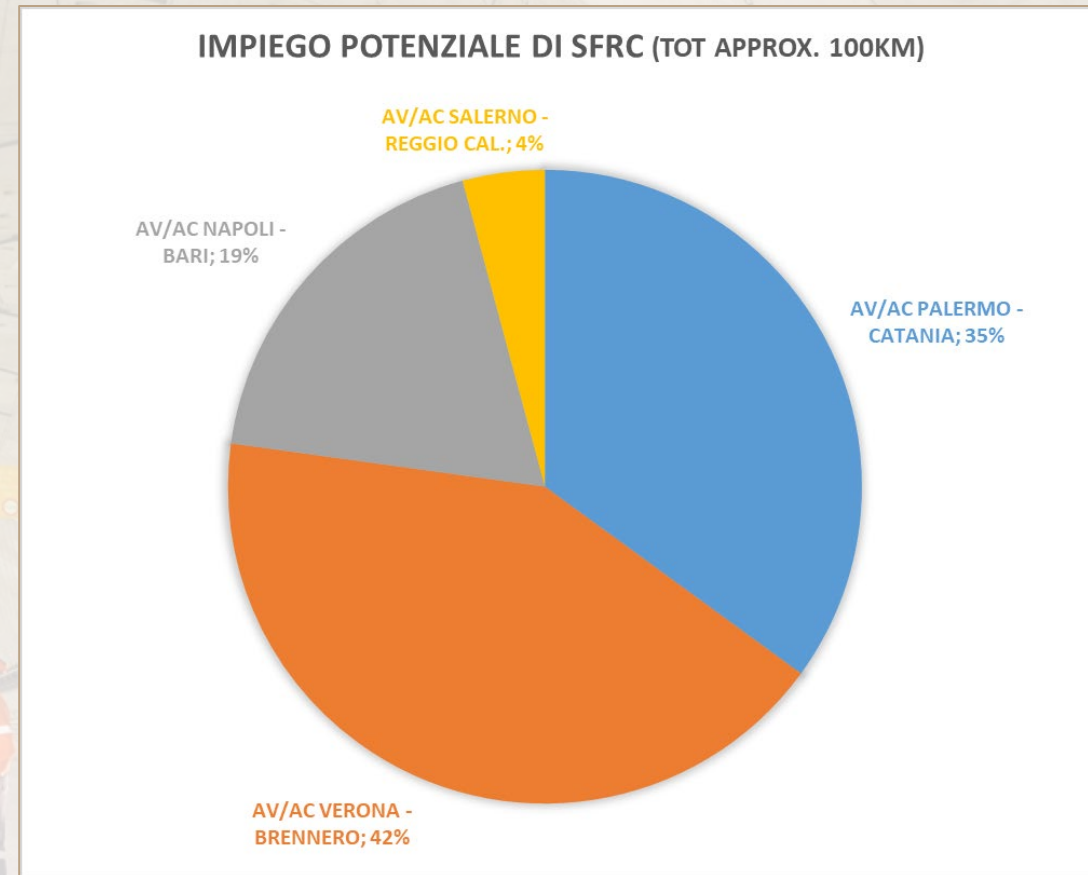


Applicazioni tra giugno 2024 e giugno 2028

L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Le applicazioni potenziali in Italia

Le potenziali applicazioni in Italia – Un'occasione unica

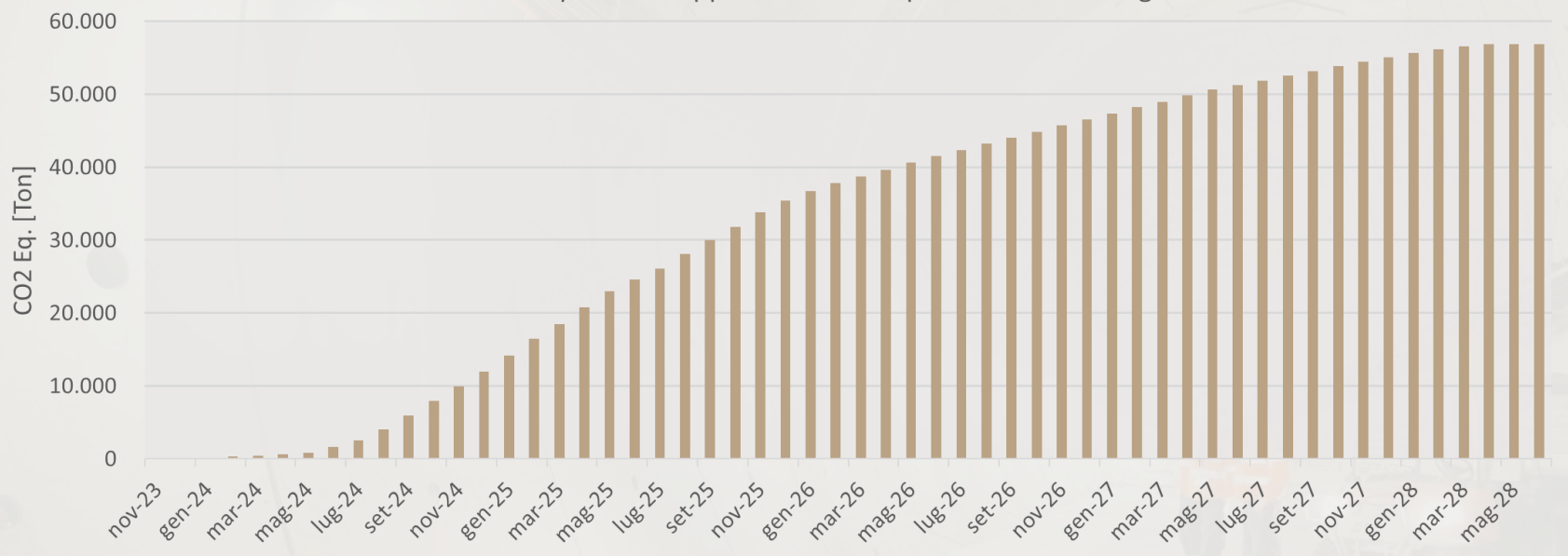
- Scenario Meccanizzato: **38 TBM nel 2025** per Webuild in Italia
- Potenziale applicazione SFRC per Webuild: circa **100 km (2024-2027)**
- Importante impatto nella **riduzione di emissioni di CO2**
 - ✓ Riduzione quantitativo materiale trasportato
 - ✓ Riduzione consumo materie prime (acciaio)



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Le applicazioni potenziali in Italia

Le potenziali applicazioni in Italia – Un'occasione unica

Riduzione *Carbon Footprint* con applicazione SFRC per rivestimenti di gallerie Webuild



CO2 prodotta da 45.000 auto in 1 anno



L'impiego di SFRC per rivestimenti di anelli prefabbricati - Una scelta di sostenibilità ambientale

Grazie per l'attenzione!