

# 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:



# Conci prefabbricati con barre in vetroresina

Focus su innovazione, implementazione tecnologica,  
durabilità e sostenibilità

TERC-Tor Vergata ©



Relatore

Simone Spagnuolo

[spagnuolo@ing.uniroma2.it](mailto:spagnuolo@ing.uniroma2.it)



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

## 1. Introduzione



### Principali progetti

- Orsara-Bovino Hirpinia AV, Italia
- Grottaminarda/Melito Hirpinia AV, Italia
- Rocchetta Hirpinia AV, Italia
- Terzo Valico dei Giovi, Italia
- Metro du Grand Paris - L16, Francia
- Halkali-airport metro line, Istanbul
- Tabriz metro line, Iran
- Swinoujscie tunnel, Polonia
- Roma Metro C, Italia
- Roma Metro B1, Italia
- Pando Hydraulic Tunnel, Panama
- Monte Lirio Hydraulic Tunnel, Panama
- El Alto Hydraulic Tunnel, Panama
- Torito Hydraulic Tunnel, Costa Rica
- Copenhagen Metro, Danimarca
- Galleria di Sparvo, Italia
- HVDC Tunnel, Francia/Spagna
- Savona, Italia
- Galleria autostradale di Caltanissetta, Italia
- Baku Hydraulic Tunnel, Azerbaijan
- Doha Metro Red Line South, Qatar
- Doha Metro Red Line North, Qatar
- Milano Metropolitana Linea 4, Italia
- Paris Metro Line 14, Francia
- Idris Tunnel, Qatar
- Metropolitana di Catania, Italia
- Santa Lucia, Italia
- Paris Metro Line 16, Francia





## Agenda

1. Introduzione
2. Inquadramento normativo
3. Implementazione tecnologica
4. Analisi del ciclo di vita (LCA): caso studio

## 1. Introduzione

Perché adottare un rinforzo in GFRP per il rivestimento di gallerie?



TERC-Tor Vergata ©



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

## 1. Introduzione

### Parti di galleria provvisionali: scavo a sezione piena

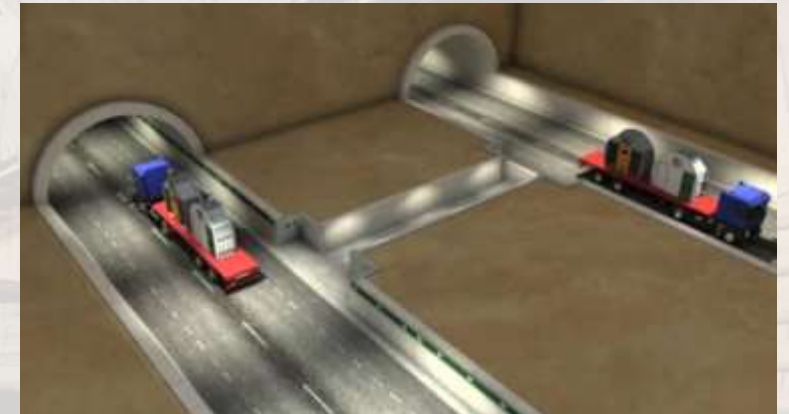
#### 1. Stazioni metropolitane



#### 2. Nicchie di sicurezza



#### 3. By-pass, vie di fuga, canali di ventilazione



## 1. Introduzione

## Parti di galleria provvisionali: scavo a sezione piena

### 4. Demolizioni facilitate



(non necessarie macchine da taglio)

### 5. Facilità di smaltimento dei conchi demoliti



CLS + Acciaio

I due materiali devono essere separati prima del loro smaltimento, in funzione della loro diversa capacità di essere riciclati

CLS + GFRP

Non richiedono alcun tipo di separazione e possono essere riciclati o inviati in discarica insieme



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

## 1. Introduzione

### Rivestimento definitivo

1. Assenza di corrosione

2. Riduzione del copriferro

3. Giunti dielettrici

4. Leggerezza strutturale

Sollevamento e trasporto

Trasparenza elettromagnetica



Acciaio



TERC-Tor Vergata ©



TERC-Tor Vergata ©



Tempi di realizzazione Costi di trasporto

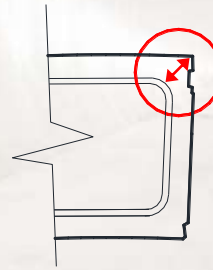
Vs



GFRP

Demolizione per indagine dopo 18 anni in ambiente marino

Installazione



TOR VERGATA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

TERC  
Tunneling Engineering Research Centre



## 2. Inquadramento normativo italiano

### 4.6. ALTRI SISTEMI COSTRUTTIVI

Qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche, la loro idoneità deve essere comprovata da una dichiarazione rilasciata, ai sensi dell'articolo 52, comma 2, del D.P.R. 380/01, dal Presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici su conforme parere dello stesso Consiglio e previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.

Si intendono per "sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche" quelli per cui le regole di progettazione ed esecuzione non siano previste nelle presenti norme tecniche o nei riferimenti tecnici e nei documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme tecniche.

### CAPITOLO 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 strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove su materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, 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 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

## Documenti di riferimento FRP



CNR-DT 203/2006



In uscita 2023

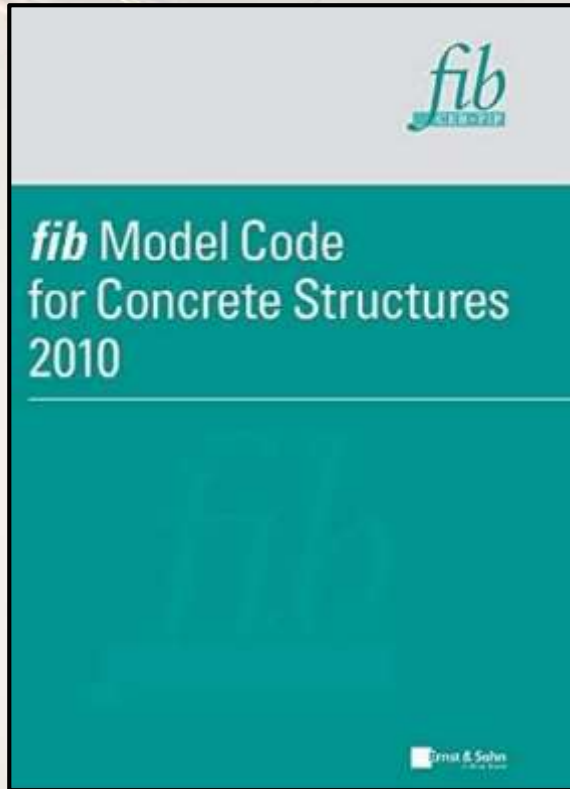
LG C.S.LL.PP.

Progettazione

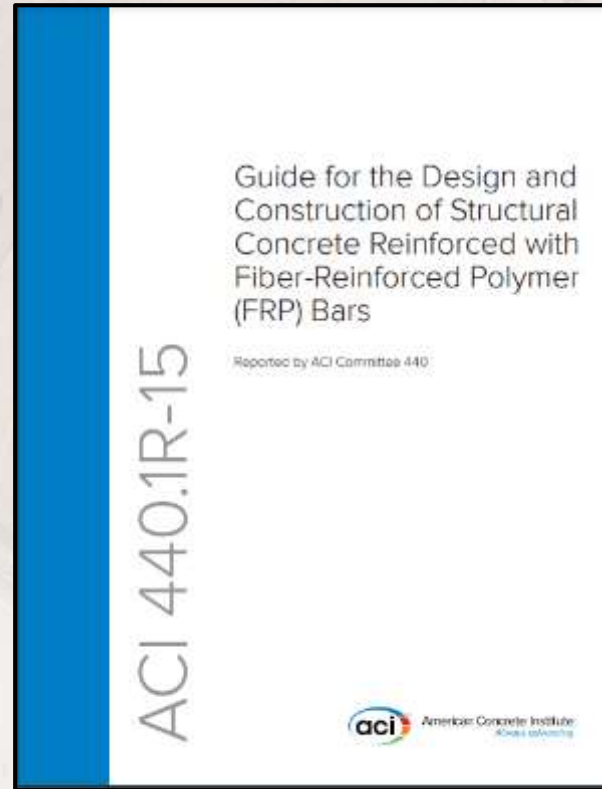
Prossima uscita: Annex JA dell'EC2 su rinforzo interno in FRP



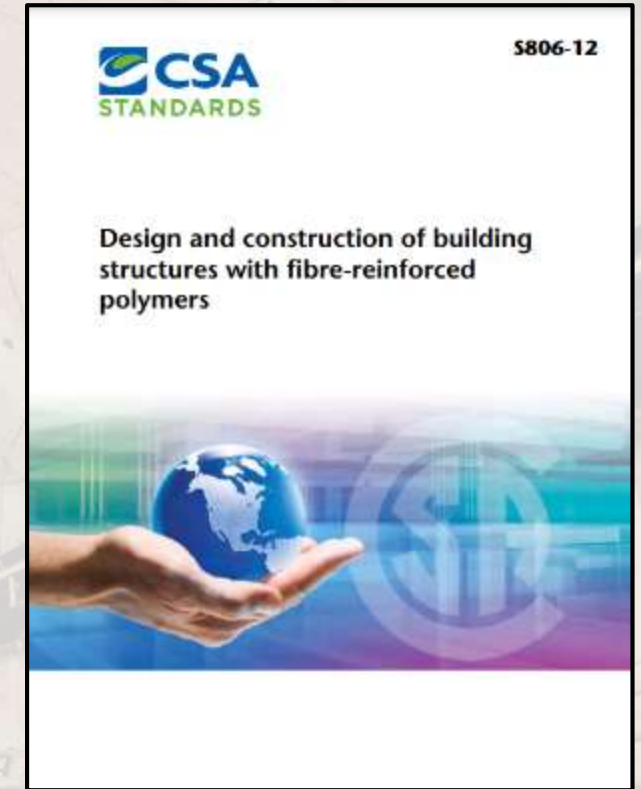
## 2. Inquadramento normativo: Codici internazionali



FIB Model Code 2010/2013  
Cap. 5.5; Cap. 6.2



ACI 440.1R-15 (2021)



CSA S806-12 (2021)

### 3. Implementazione tecnologica

Gallerie idrauliche



Gallerie metropolitane



Gallerie ferroviarie



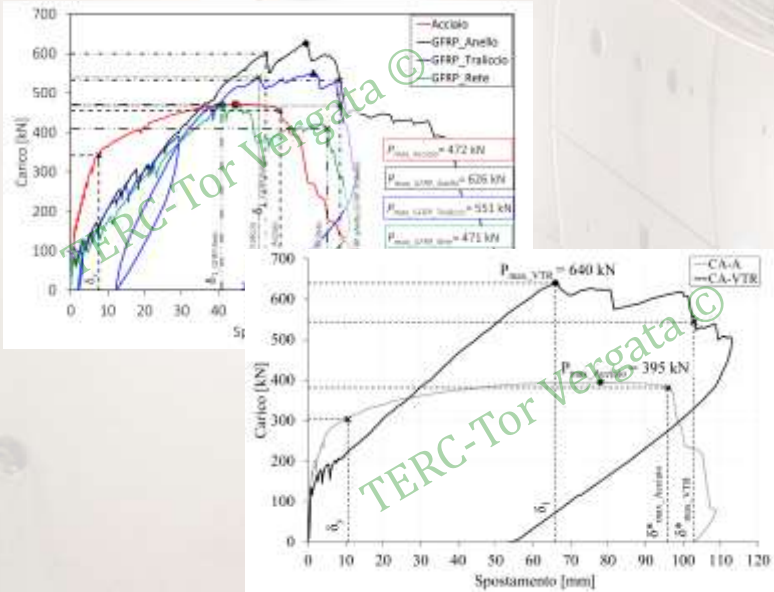
Gallerie autostradali





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

## 3. Implementazione tecnologica



**Idrauliche**

**Metropolitane**

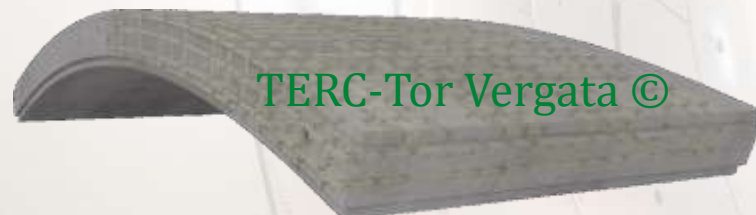
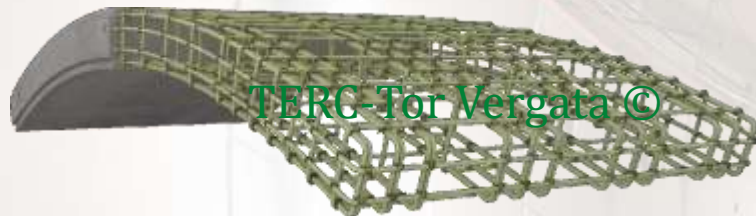
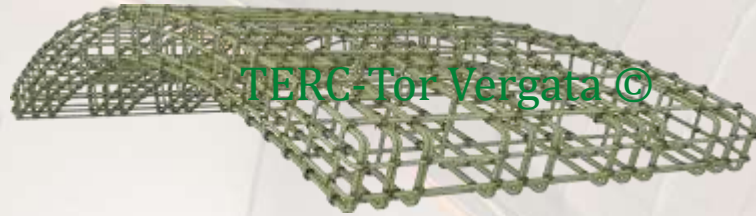
**Ferrovie**

**Autostradali**



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

## 3. Implementazione tecnologica



### Applicazioni

1. NLE – North Line Extension  
Committente FLO, London Underground
2. Thames Tideway (West)  
Committente Morgan Sindall  
Reconnecting London with the River Thames
3. Brenner Base Tunnel  
Committente BTC
4. Roma Metro C-Tratta T3  
Committente Metro C ScpA

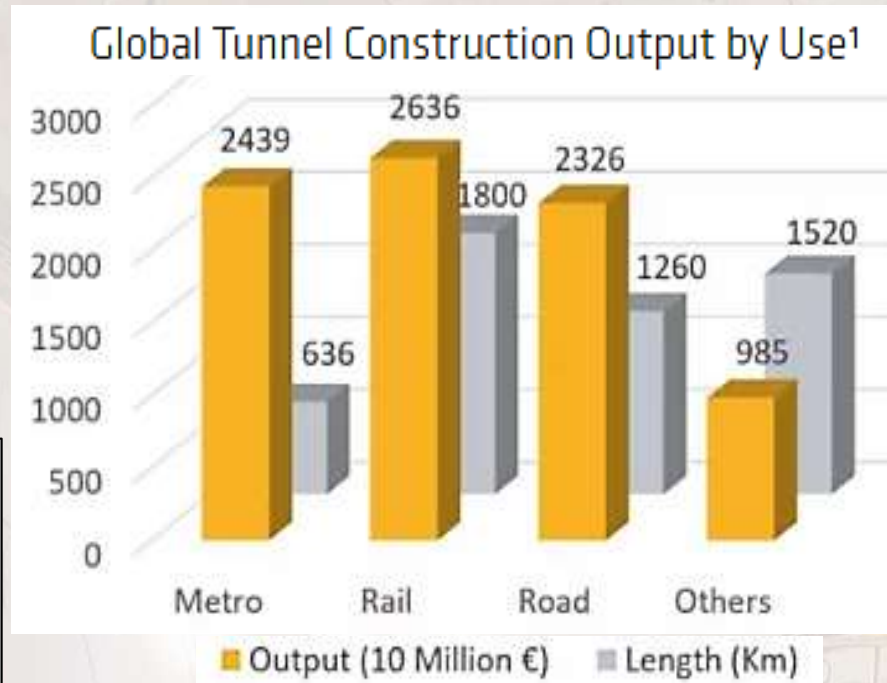


### 3. Implementazione tecnologica

Perché è necessario lavorare alla sostenibilità delle gallerie?

An average of over  
**5,000**  
kilometers  
of tunnels are constructed each year  
around the world.<sup>1</sup>

Approximately  
**86 billion**  
Euros are spent per year in tunnel and  
underground construction worldwide.<sup>1</sup>



60 milioni m<sup>3</sup>/anno

150 milioni tonnellate<sub>CLS</sub>/anno

24 milioni tonnellate<sub>Cemento</sub>/anno

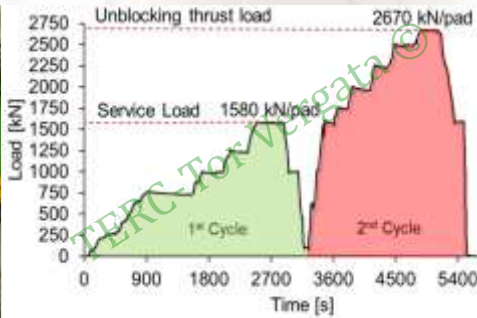
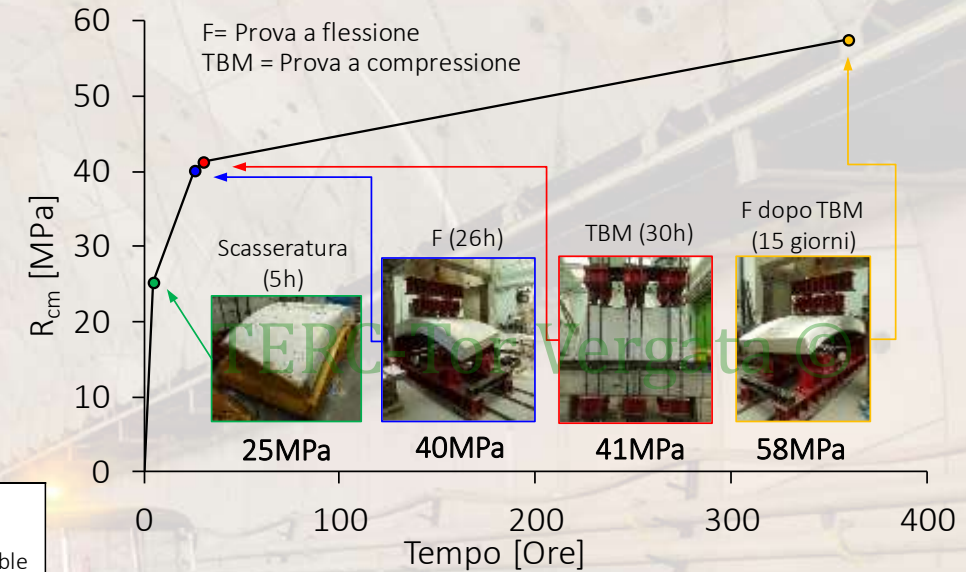
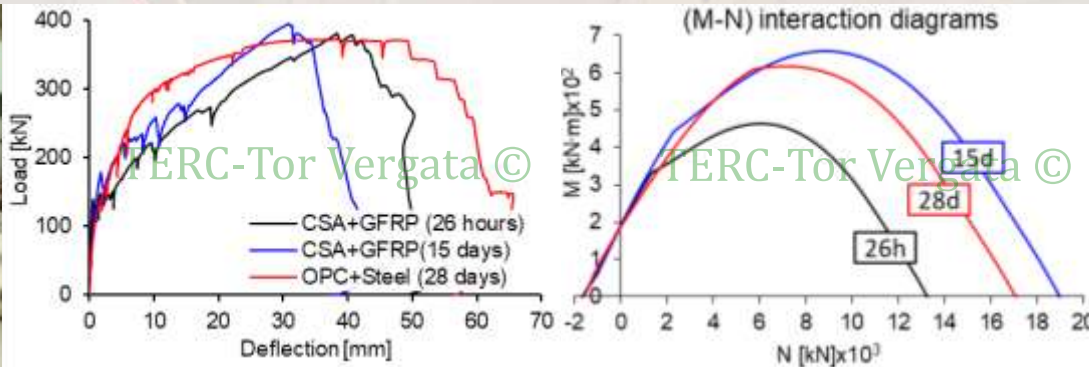
24 milioni tonnellate CO<sub>2</sub>/anno  
≈1% a livello mondiale

<sup>1</sup> Fonte: International Tunnelling Association (ITA), Tunnel Market Survey 2016

### 3. Implementazione tecnologica

→ Puntare a calcestruzzi e rinforzi più sostenibili e durevoli

Caso Studio: CLS a base di cemento solfoalluminoso (CSA) + Rinforzo in GFRP



Solution ↓	1st cycle	2nd cycle	Admissible residual crack width [mm]
	Service load	TBM unblocking thrust	
OPC + Steel	0.10	0.10	0.15
CSA + GFRP	0.15	0.15	0.50



### 3. Implementazione tecnologica

→ Puntare a calcestruzzi e rinforzi più sostenibili e durevoli

Caso Studio: CLS a base di cemento solfoalluminoso (CSA) + Rinforzo in GFRP



Aspetti tecnici, logistici ed impatti ambientali/sociali da considerare nella realizzazione di una galleria





### 3. Implementazione tecnologica

→ Puntare a calcestruzzi e rinforzi più sostenibili e durevoli

Caso Studio: CLS a base di cemento solfoalluminoso (CSA) + Rinforzo in GFRP

Vantaggi CLS a base di CSA rispetto OPC (Cemento Portland Ordinario)



Alte resistenze nel breve termine (4/5 ore)

No maturazione a vapore

Velocità nello scasso

Installazione: dopo 2 giorni (contro i 28 attuali)

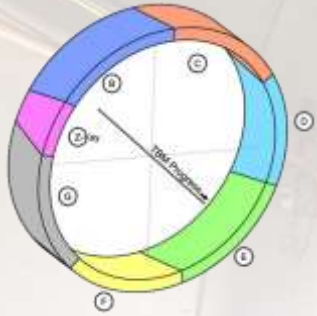
Incremento della produzione per turno di lavoro e rapido sgombero delle aree di stoccaggio

CSA + Rinforzi in GFRP → Prefabbricazione direttamente in situ a servizio della TBM e della sua velocità di avanzamento

## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma



Geometria Anello

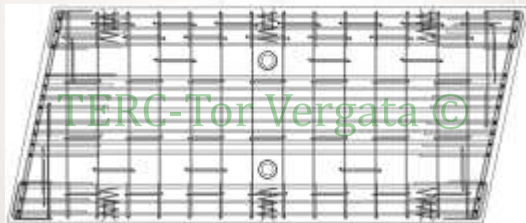
Estensione galleria	2.8 km
Diametro Esterno	6.4 m
Profondità	1.4 m
Spessore	0.3 m

CLS: C40/50

FRC: C40/50 4c

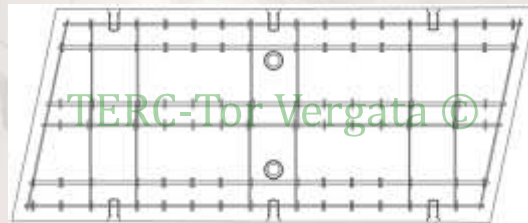


### 1. Tradizionale



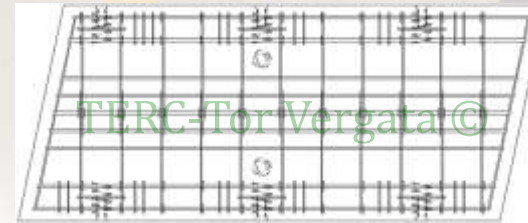
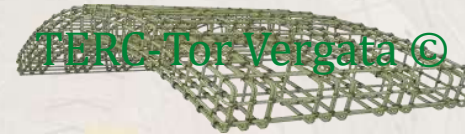
Incidenza acciaio: 120 kg/mc  
 $M_{Rd} = 158 \text{ kNm}$

### 2. Ibrida: GFRP + FRC



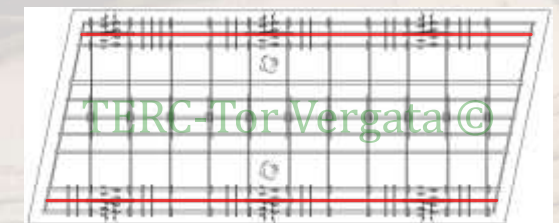
Incidenza GFRP: 16 kg/mc  
Incidenza FRC: 40 kg/mc  
 $M_{Rd} = 146 \text{ kNm}$

### 3. GFRP



Incidenza GFRP: 50 kg/mc  
 $M_{Rd} = 152 \text{ kNm}$

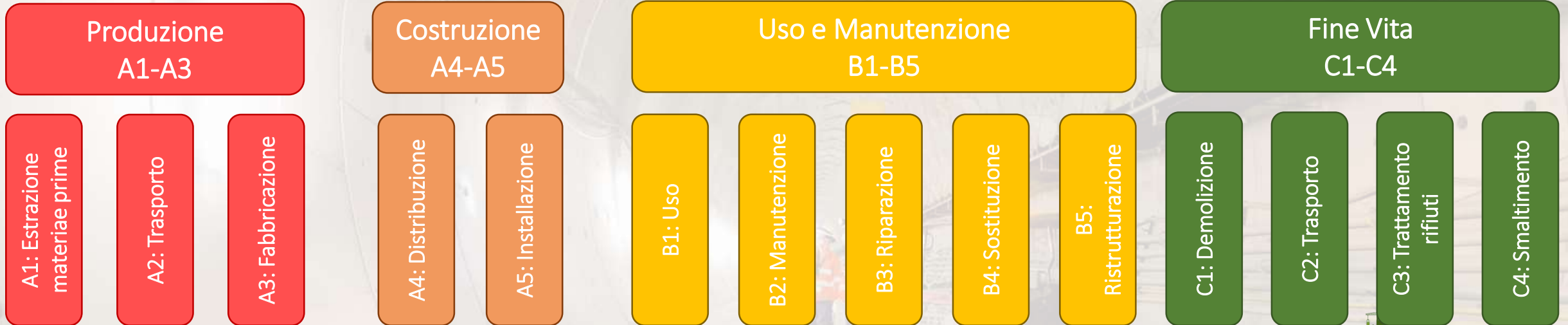
### 4. GFRP Sezione Ridotta Spessore concio 27 cm



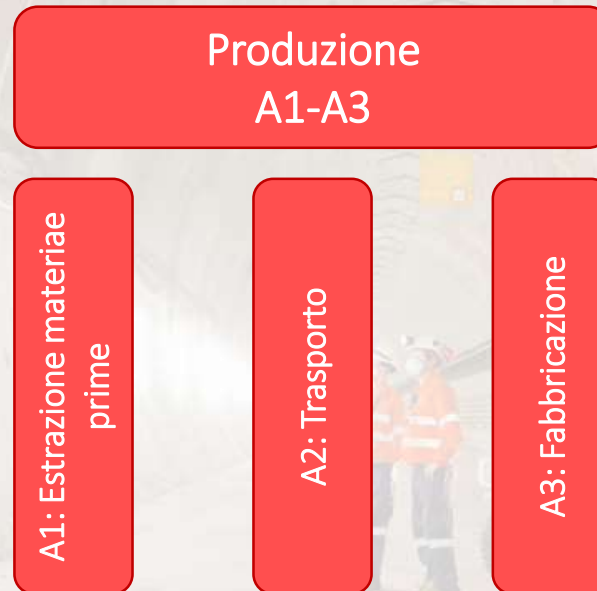
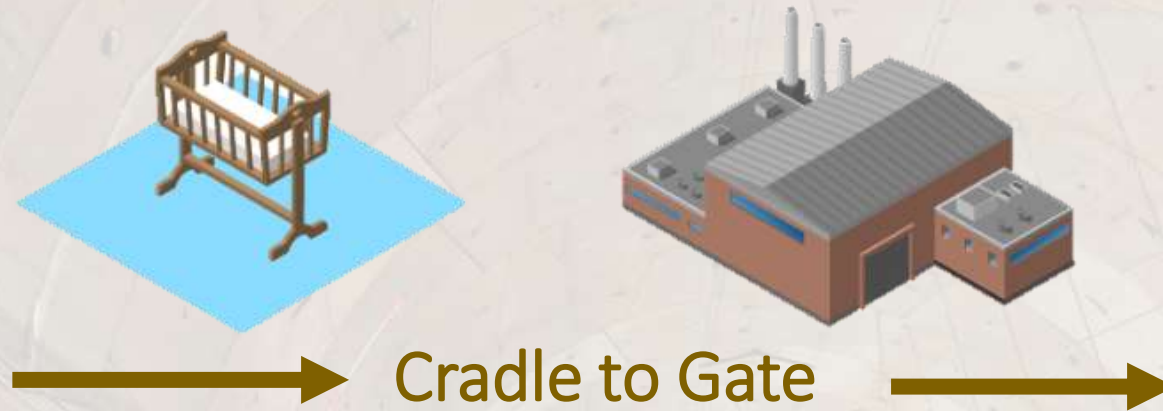
Incidenza GFRP: 57 kg/mc  
 $M_{Rd} = 158 \text{ kNm}$



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma

### Materiali

#### Calcestruzzo:

- Cemento **CEM IV** (Pozzolánico).

#### Acciaio:

- B450C **Secondario** da Arco Elettrico (EAF)

#### FRC:

- Fibre acciaio disperse in Acciaio **Primario**

#### GFRP:

- Prodotto tramite processo di **Pultrusione modificato**

### Definizione inventario

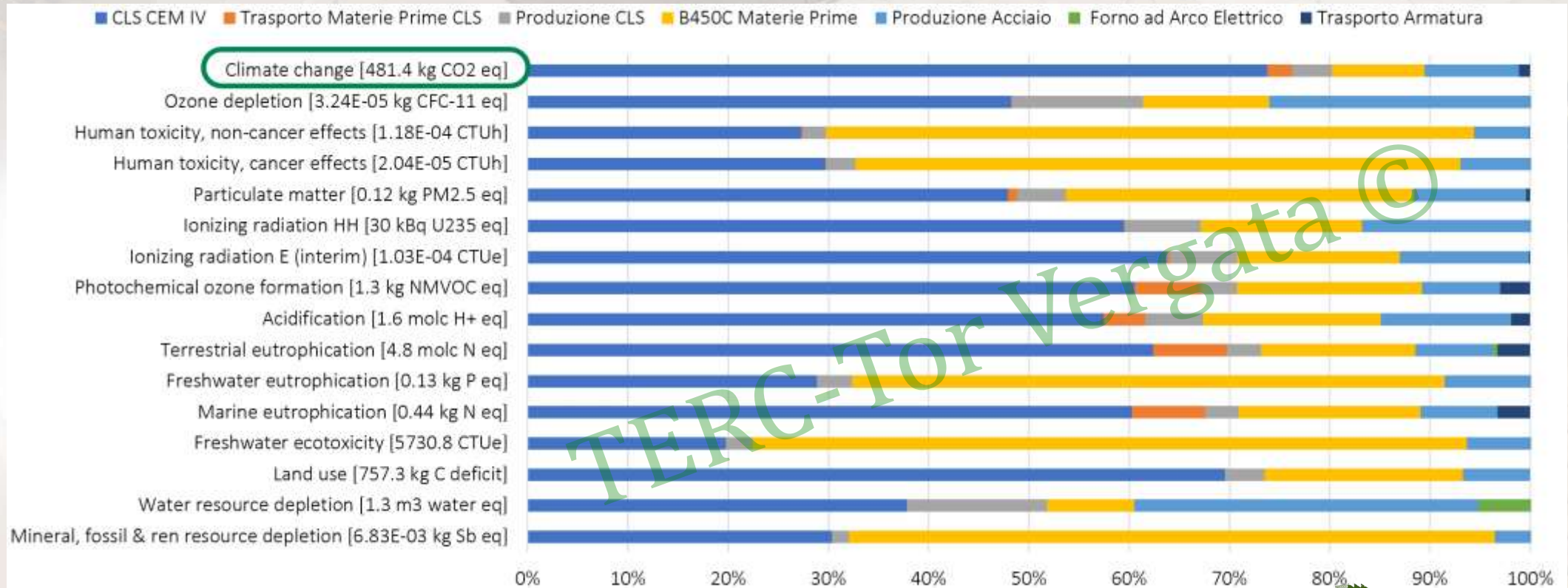
- Materie Prime;
- Processi Produttivi;
- Trasporti.



Metodo di calcolo: ILCD 2011 Midpoint+

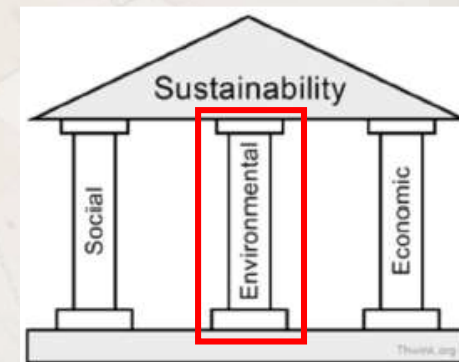
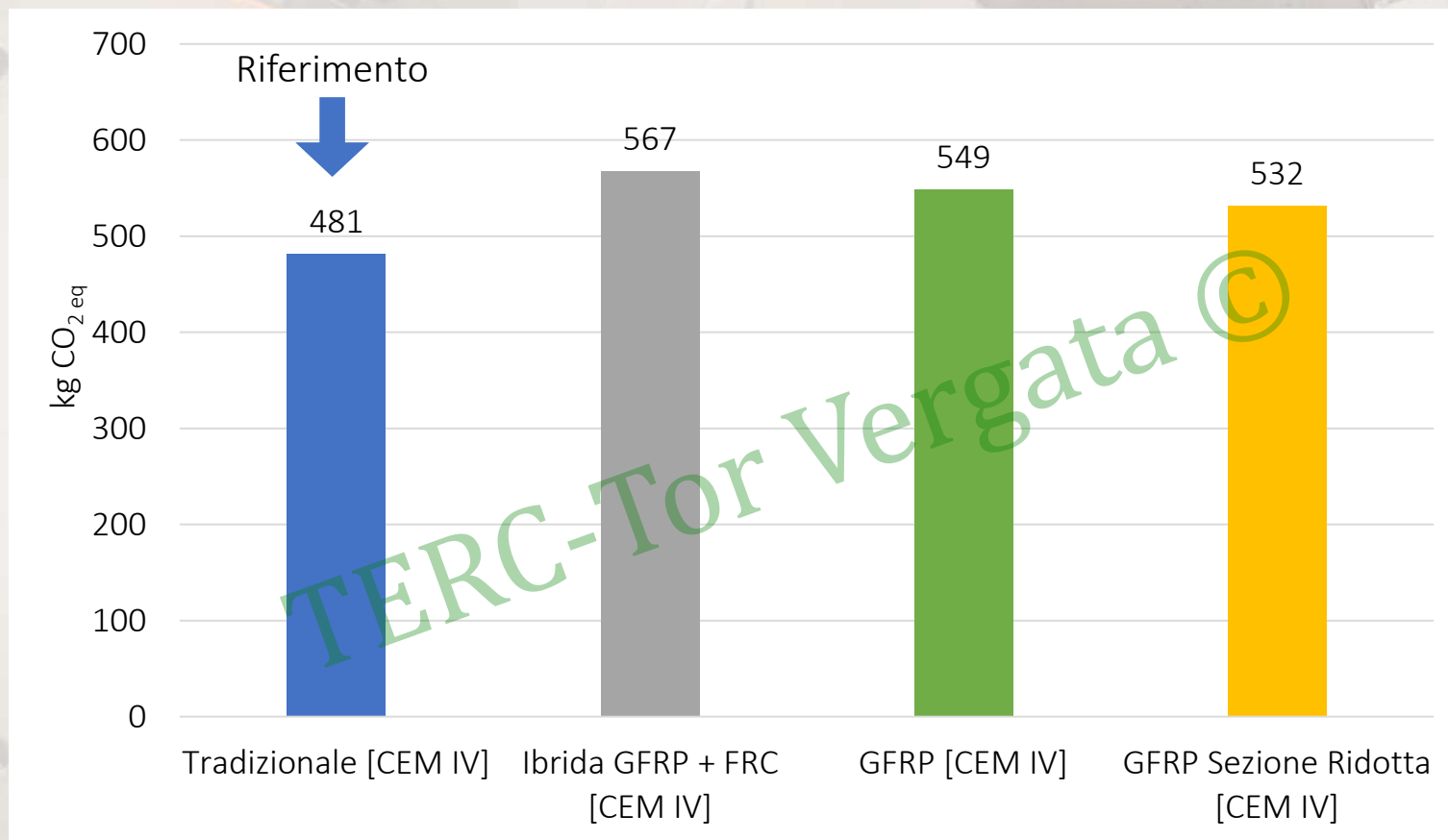
## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma

Valutazione degli impatti → Soluzione tradizionale CEM IV & Acciaio secondario



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma

### Risultati



Confronto rispetto alla soluzione di riferimento:

Soluzione in CEM IV	kg CO <sub>2</sub> eq
Ibrida GFRP + FRC	+18%
GFRP	+14%
GFRP Sezione Ridotta	+10%



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Analisi di Sensitività

### Caso analizzato: Contesto italiano



### Resto del Mondo (RoW)

#### Calcestruzzo:

- Cemento CEM IV (Pozzolánico).

#### Acciaio:

- B450C **Secondario** da Arco Elettrico (EAF)

#### FRC:

- Fibre acciaio disperse in Acciaio **Primario**

#### GFRP:

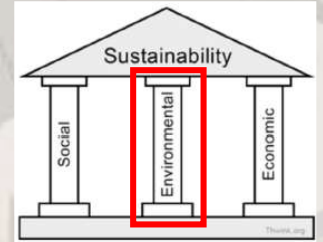
- Prodotto tramite processo di **Pultrusione modificato**

#### Calcestruzzo:

- Sostituzione CEM IV con **CEM I e II**

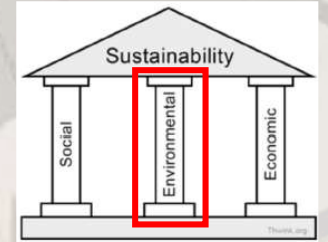
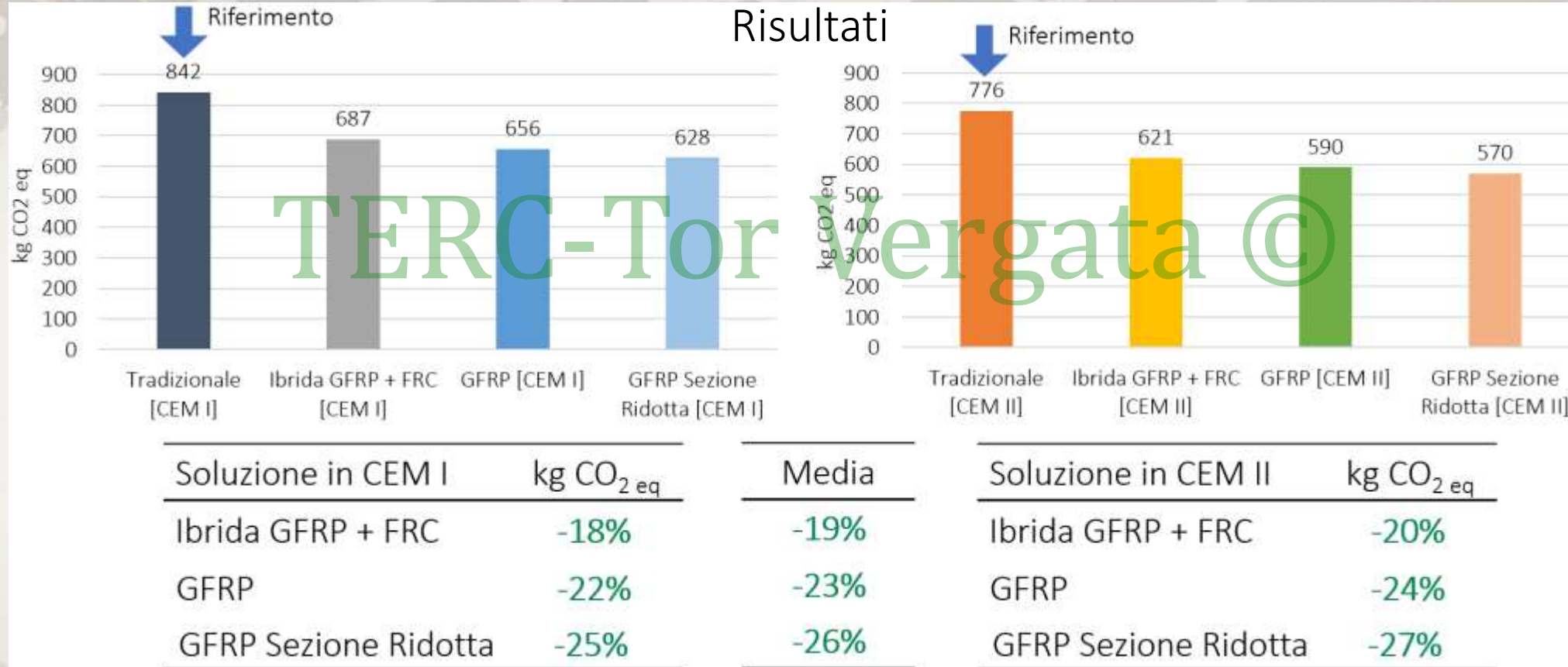
#### Acciaio:

- Sostituzione B450C Secondario con **Primario**



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Analisi di Sensitività

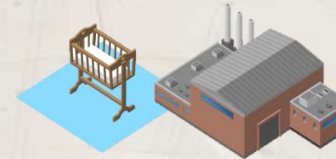
Resto del Mondo (RoW)



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso Studio → USO e MANUTENZIONE



Chiude il traforo del Monte Bianco.  
Incubo traffico da Torino al Frejus



Produzione  
A1-A3

- A1: Estrazione materie prime
- A2: Trasporto
- A3: Fabbricazione



Costruzione  
A4-A5

- A4: Distribuzione
- A5: Installazione



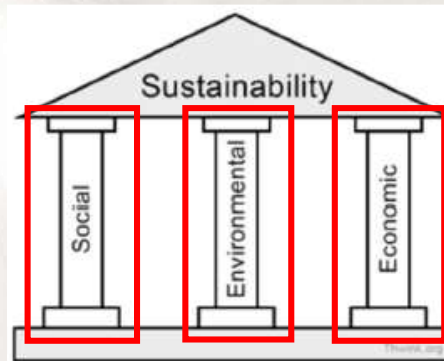
Uso  
Manutenzione  
B1-B5

- B1: Uso
- B2: Manutenzione
- B3: Riparazione
- B4: Sostituzione
- B5: Ristrutturazione



Fine Vita  
C1-C4

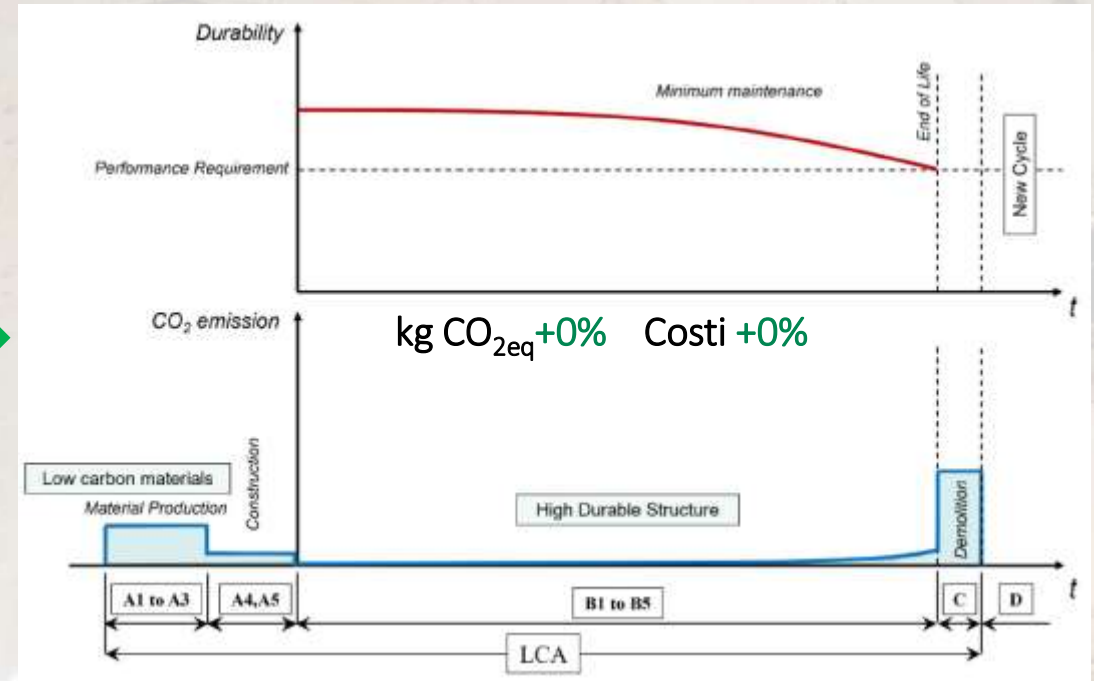
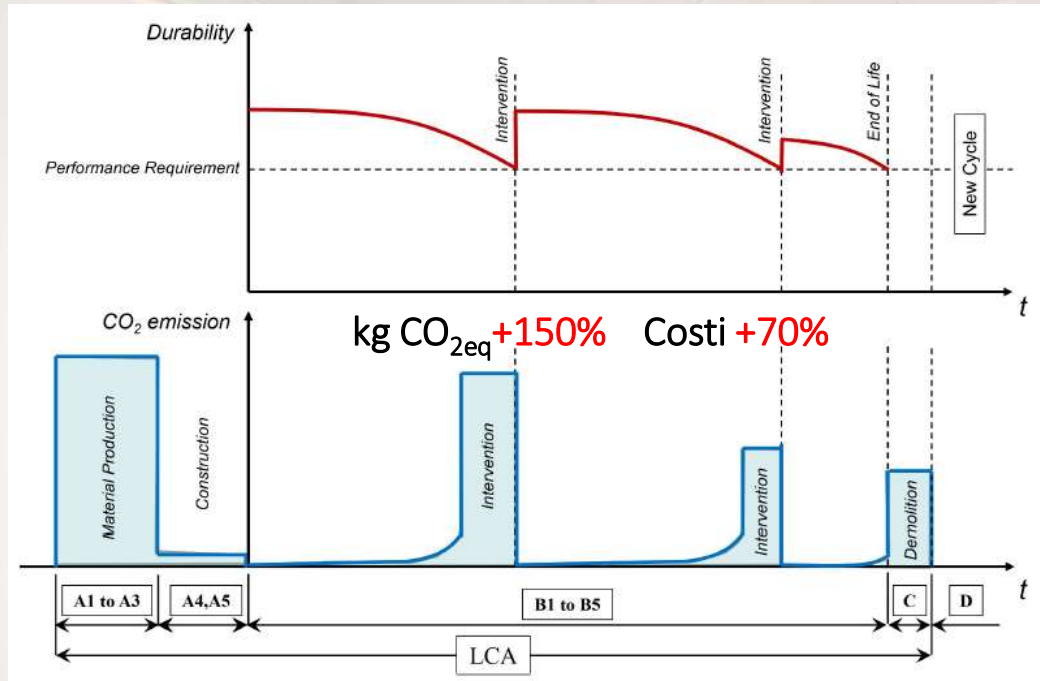
- C1: Demolizione
- C2: Trasporto
- C3: Trattamento rifiuti
- C4: Smaltimento



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso Studio → USO e MANUTENZIONE

Strutture tradizionali soggette a corrosione

Strutture con GFRP non soggette a corrosione



LCA OF A CHALLENGING LOW CARBON ULTRA-HIGH DURABILITY NON-METALLIC BRIDGE

June 2022  
Conference: fib International Congress 2022 Oslo June 12-16 · At: Oslo

Lab: [Akio Kasuga's Lab](#)

Arifa Iffat Zerín · Akio Kasuga

Structural Concrete  
journal of the fib



ARTICLE | [Full Access](#)

Impact of carbon neutrality on structural concrete—Not a risk but an opportunity

Akio Kasuga

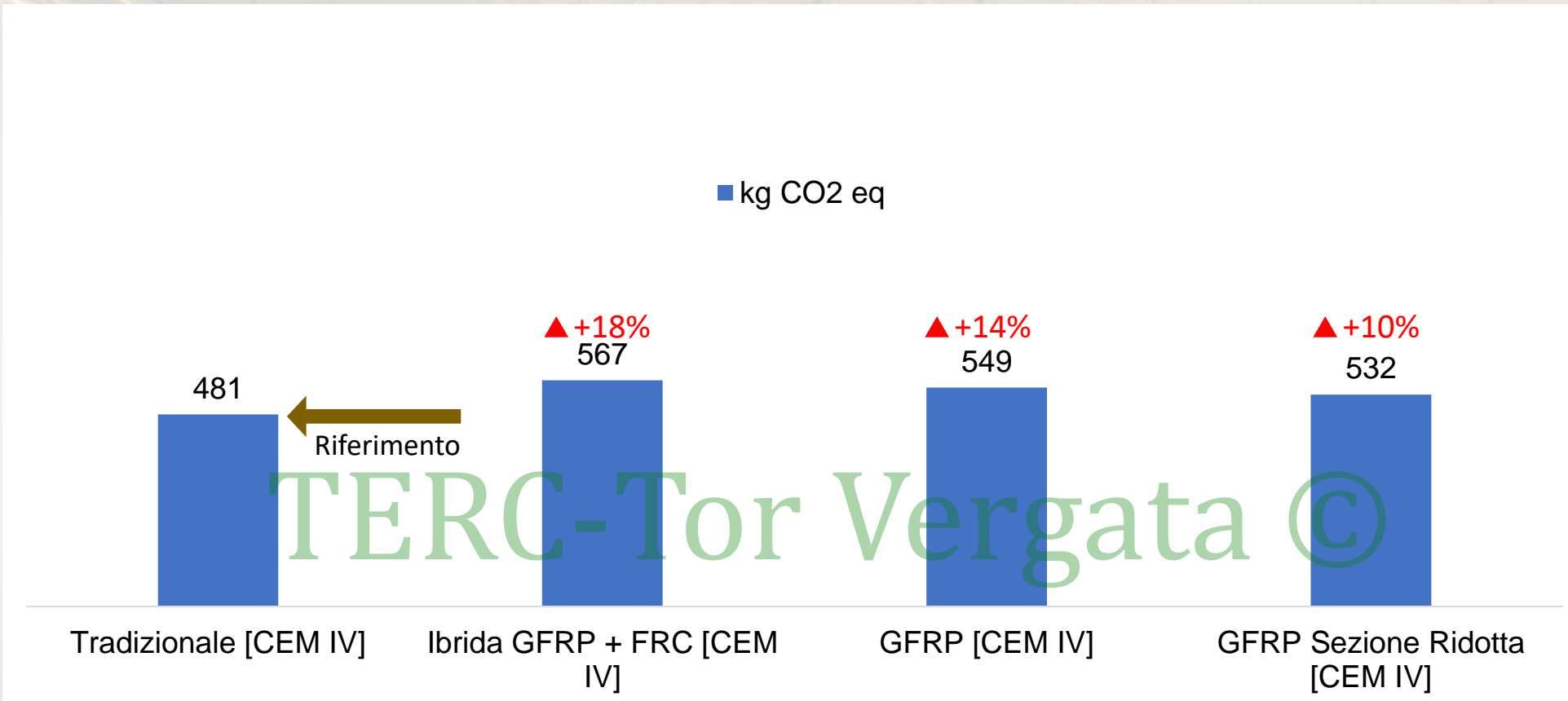


TOR VERGATA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

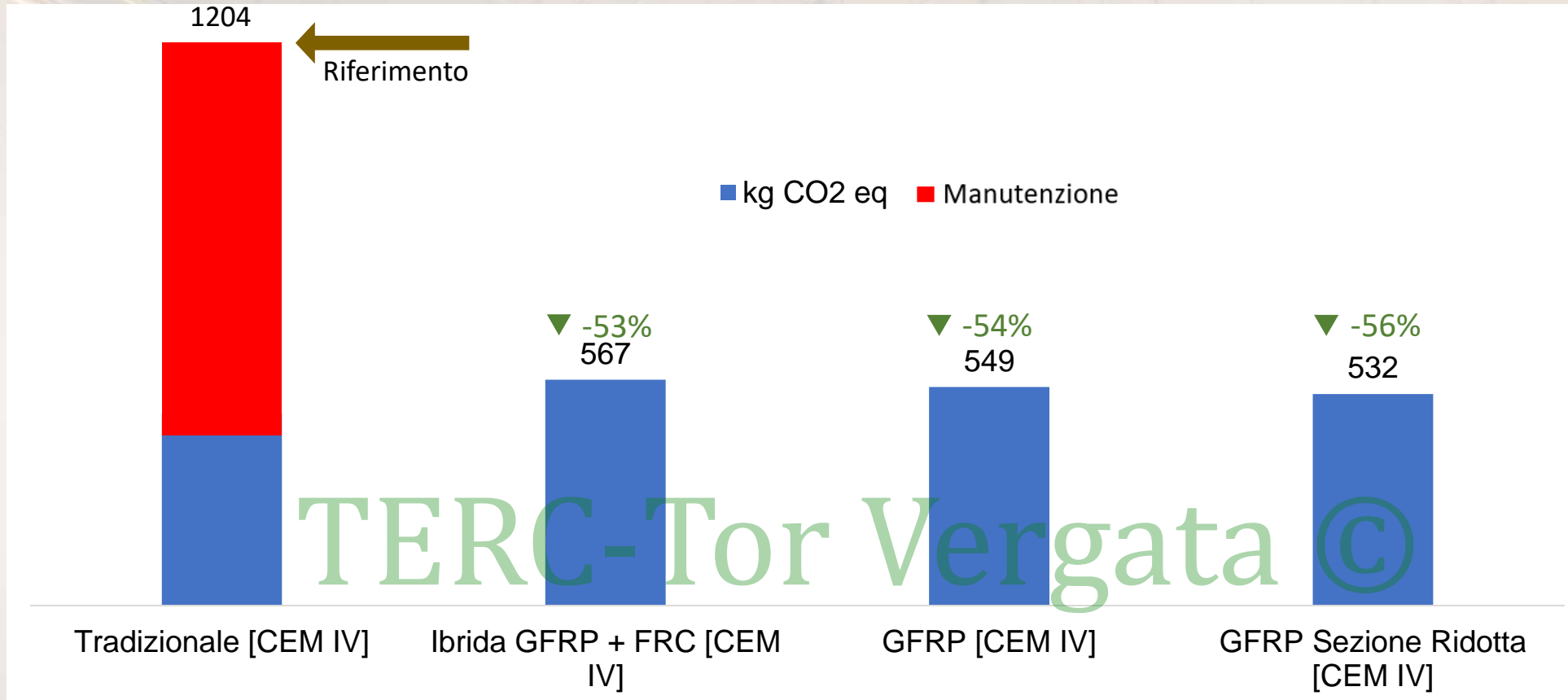


TERC  
Tunneling Engineering Research Centre

## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso Studio → USO e MANUTENZIONE



## 4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso Studio → USO e MANUTENZIONE



TERC-Tor Vergata ©



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

Grazie per l'attenzione  
[spagnuolo@ing.uniroma2.it](mailto:spagnuolo@ing.uniroma2.it)