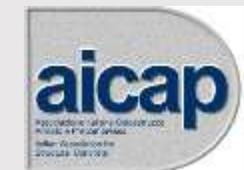


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITÀ

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:



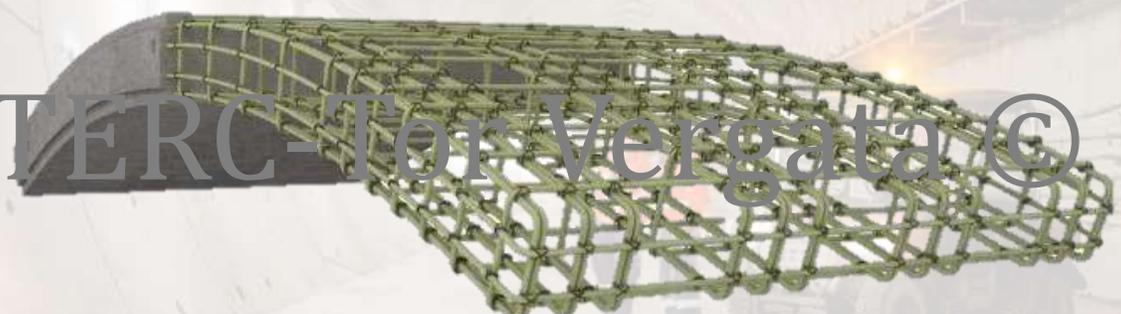
Media Partner:



Conci prefabbricati con barre in vetroresina

Focus su innovazione, implementazione tecnologica,
durabilità e sostenibilità

TERC-Tor Vergata ©



Relatore

Simone Spagnuolo

spagnuolo@ing.uniroma2.it



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 ©



1. Introduzione

Parti di galleria provvisionali: scavo a sezione piena

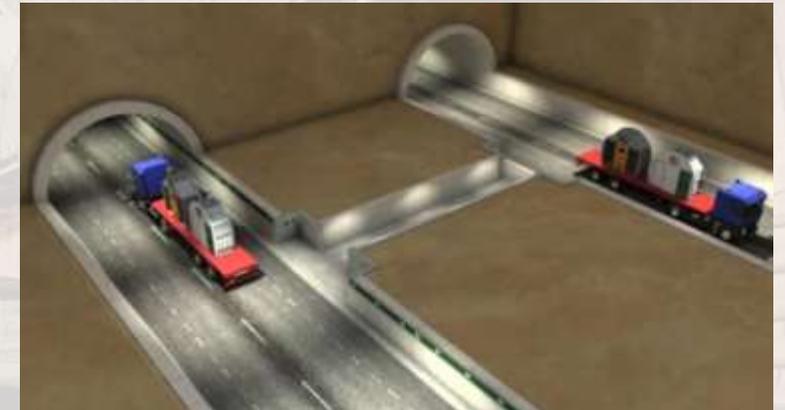
1. Stazioni metropolitane



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 conci 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



Vs



↓ Tempi di realizzazione ↓ Costi di trasporto



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



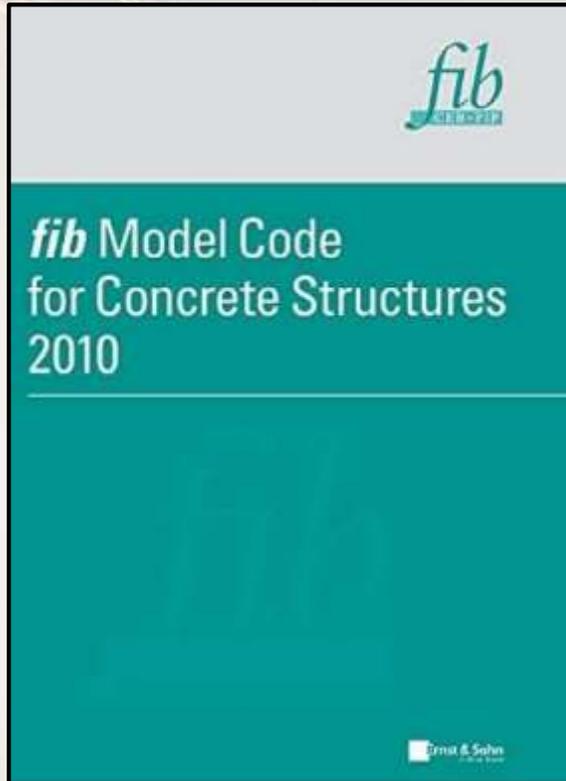
In uscita 2023

LG C.S.LL.PP.

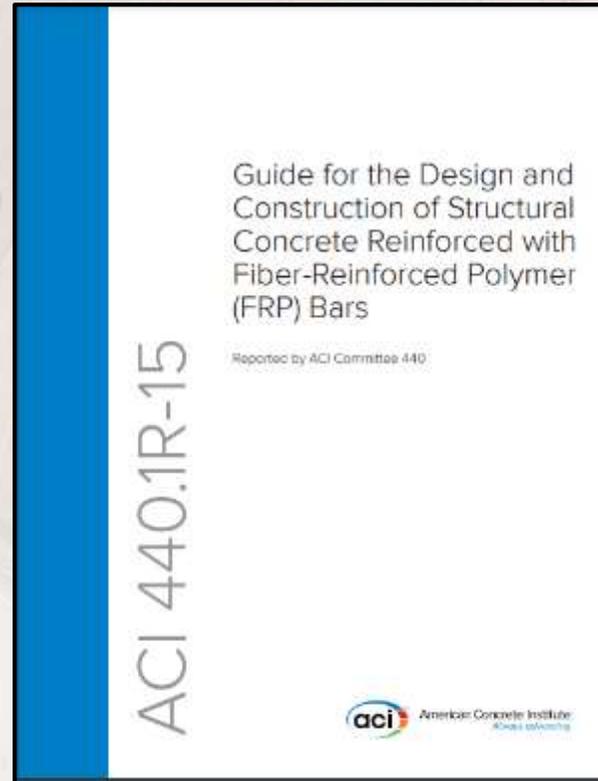
Progettazione

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

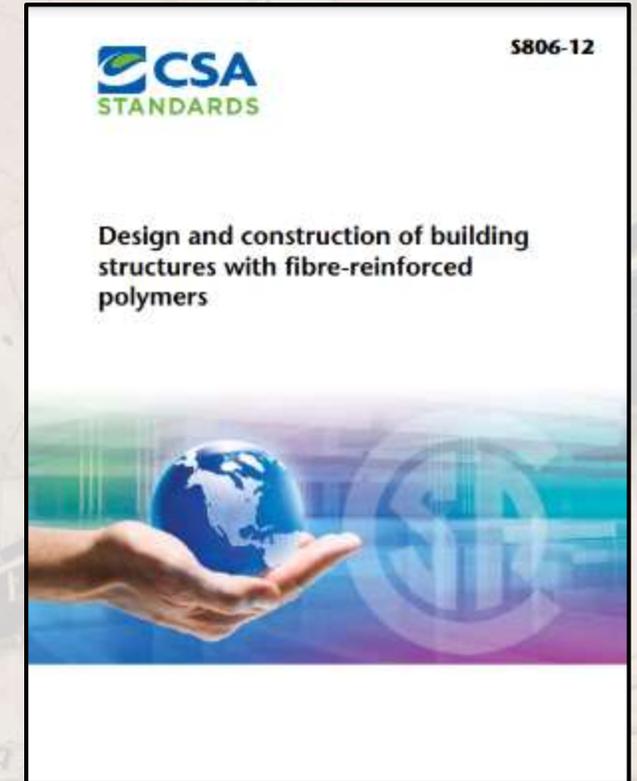
2. Inquadramento normativo: Codici internazionali



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



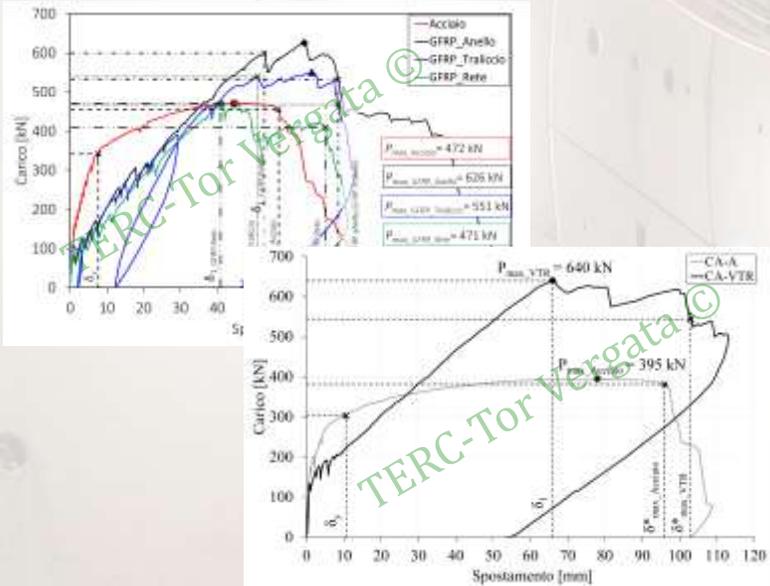
Gallerie autostradali





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

3. Implementazione tecnologica



Idrauliche

Metropolitane

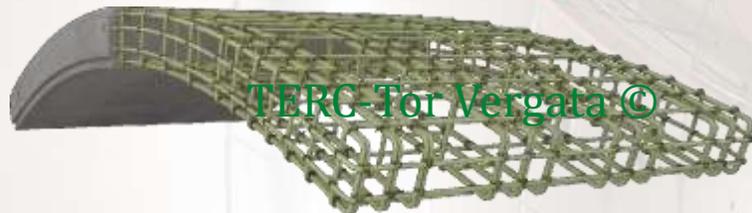
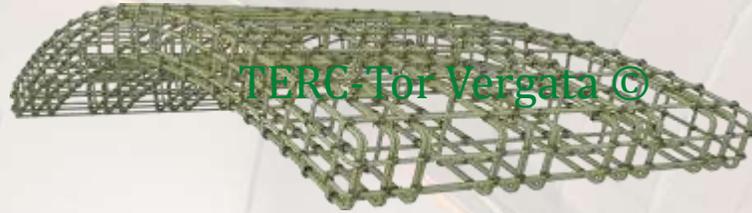
Ferrovie

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

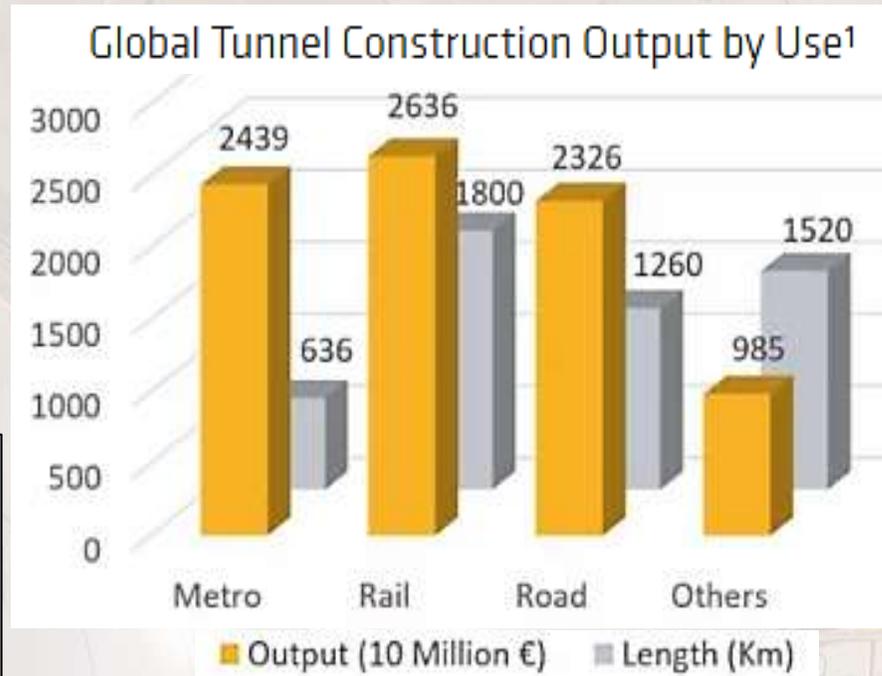


3. Implementazione tecnologica

Perché è necessario lavorare alla sostenibilità delle gallerie?

An average of over
5,000
kilometers
of tunnels are constructed each year
around the world.¹

Approximately
86 billion
Euros are spent per year in tunnel and
underground construction worldwide.¹



60 milioni m³/anno

150 milioni tonnellate_{CLS}/anno

24 milioni tonnellate_{Cemento}/anno

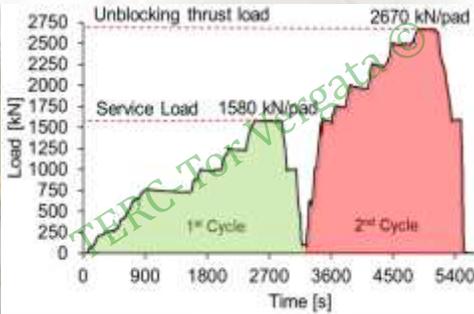
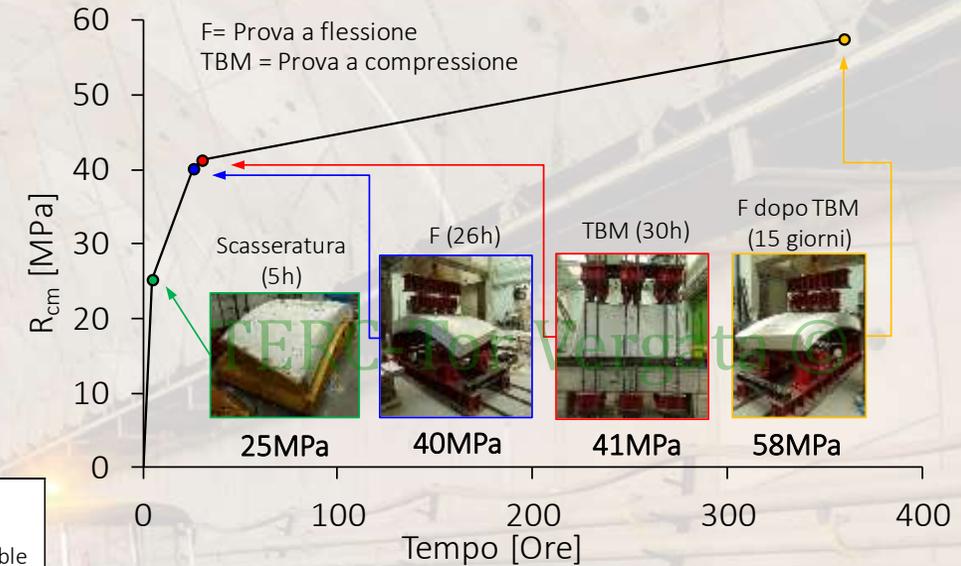
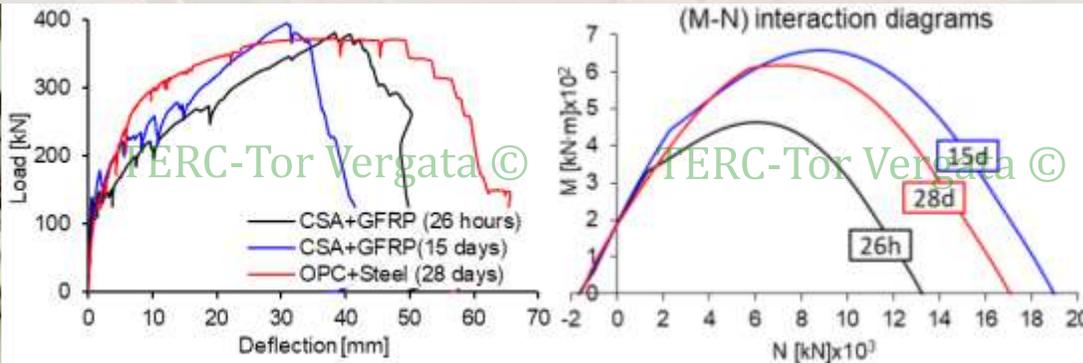
24 milioni tonnellate CO₂/anno
≈1% a livello mondiale

¹ 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

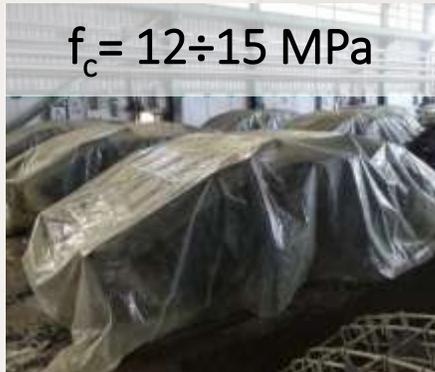


3. Implementazione tecnologica

→ 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)

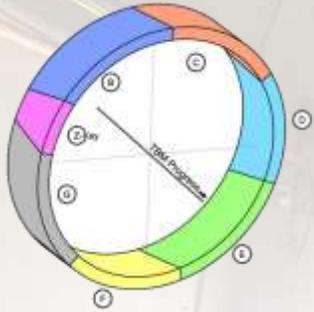
Incremento della produzione per turno di lavoro e rapido sgombero delle aree di stoccaggio

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

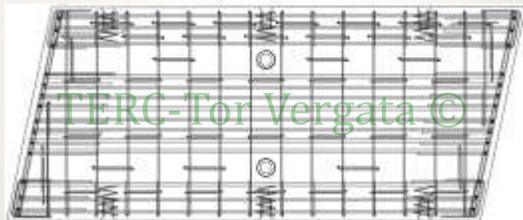
| | |
|---------------------|--------|
| Estensione galleria | 2.8 km |
| Diametro Esterno | 6.4 m |
| Profondità | 1.4 m |
| Spessore | 0.3 m |

CLS: C40/50

FRC: C40/50 4c

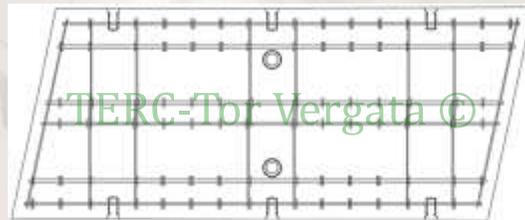


1. Tradizionale



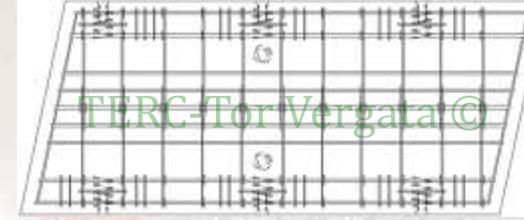
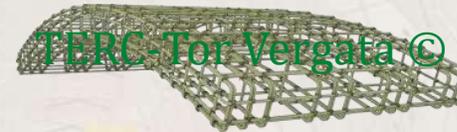
Incidenza acciaio: 120 kg/mc
 $M_{Rd} = 158 \text{ kNm}$

2. Ibrida: GFRP + FRC



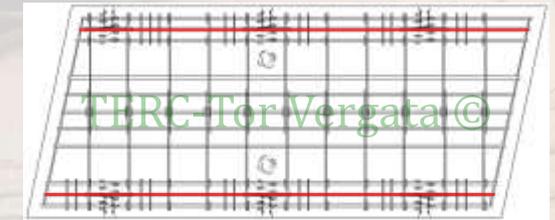
Incidenza GFRP: 16 kg/mc
Incidenza FRC: 40 kg/mc
 $M_{Rd} = 146 \text{ kNm}$

3. GFRP



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

4. GFRP Sezione Ridotta Spessore concio 27 cm



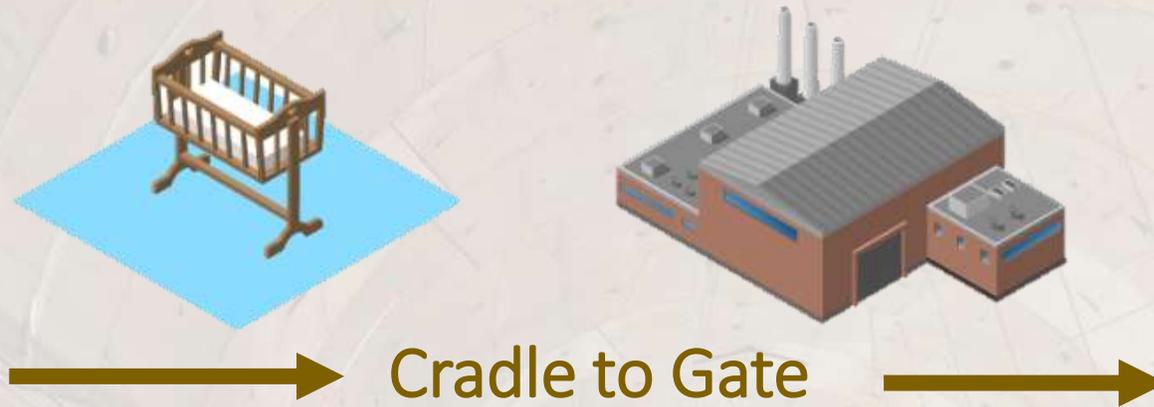
Incidenza GFRP: 57 kg/mc
 $M_{Rd} = 158 \text{ kNm}$



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+

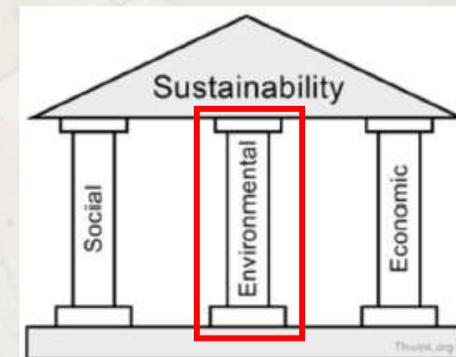
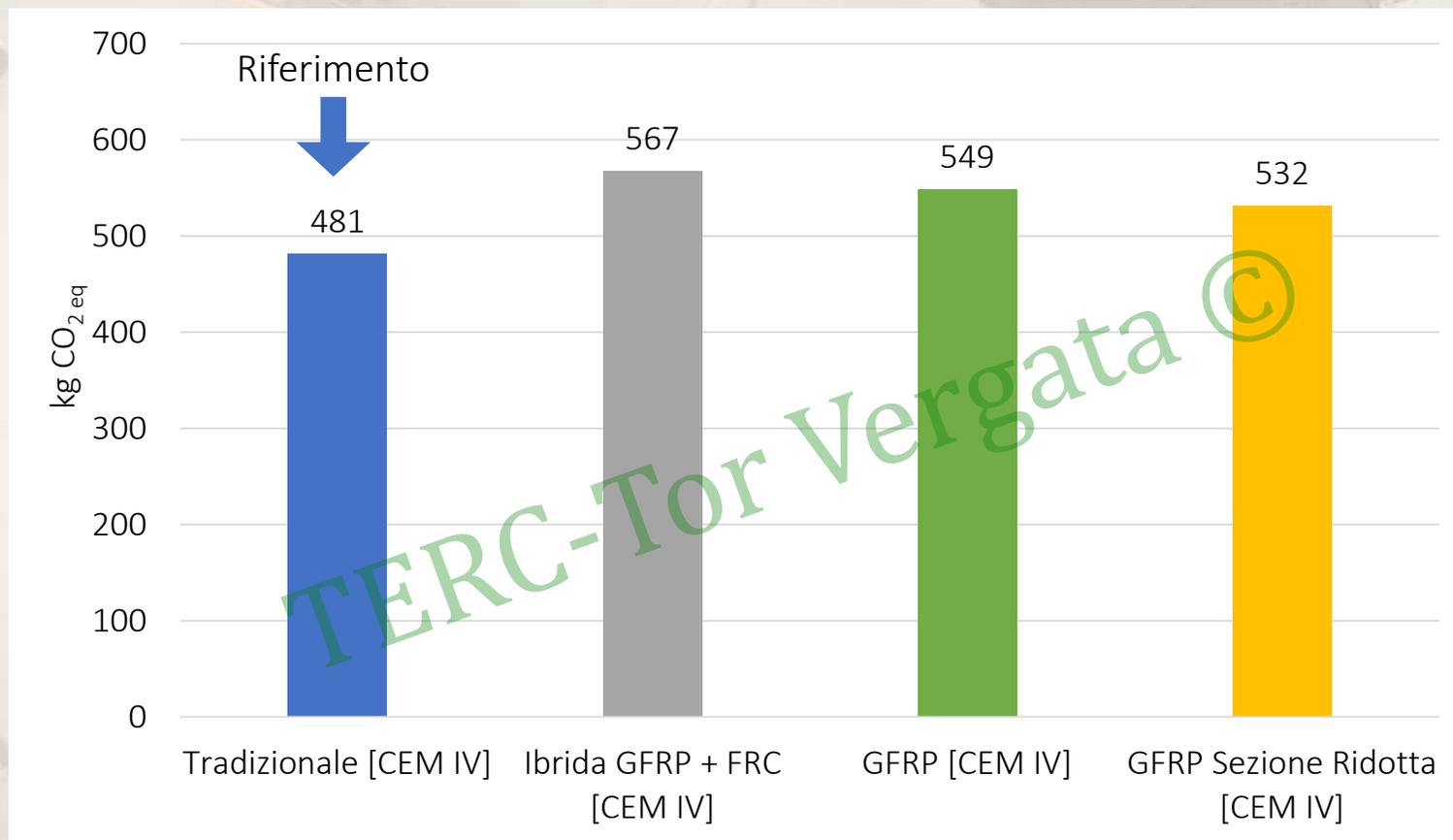
4. Analisi del ciclo di vita (LCA): Caso studio Linea C-T3 Roma

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 ₂ 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



Calcestruzzo:

- Cemento CEM IV (Pozzolanico).

Acciaio:

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

FRC:

- Fibre acciaio disperse in Acciaio **Primario**

GFRP:

- Prodotto tramite processo di **Pultrusione modificato**

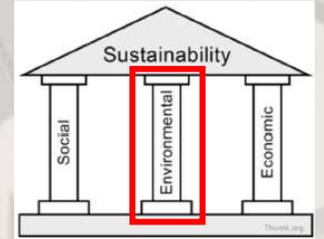
Resto del Mondo (RoW)

Calcestruzzo:

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

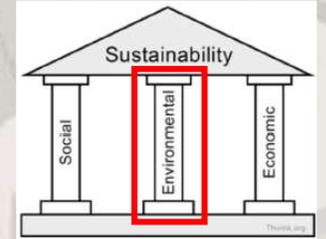
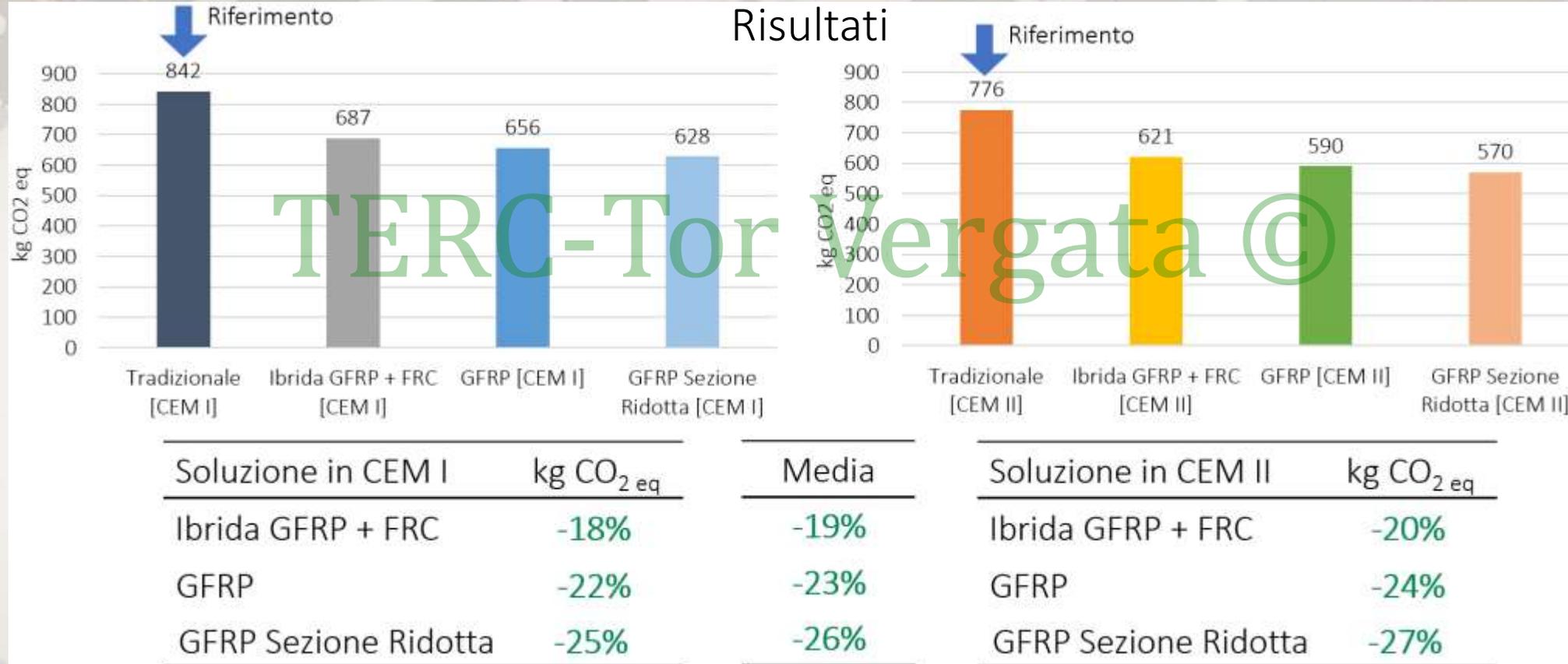
Acciaio:

- 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



Produzione
A1-A3

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



Costruzione
A4-A5

- A4: Distribuzione
- A5: Installazione



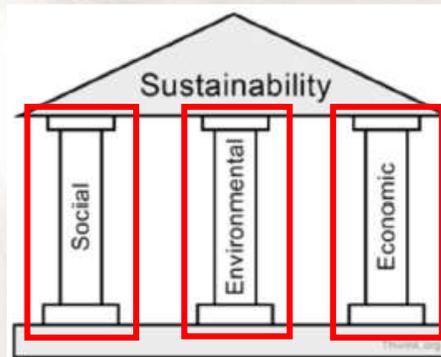
Uso
Manutenzione
B1-B5

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



Fine Vita
C1-C4

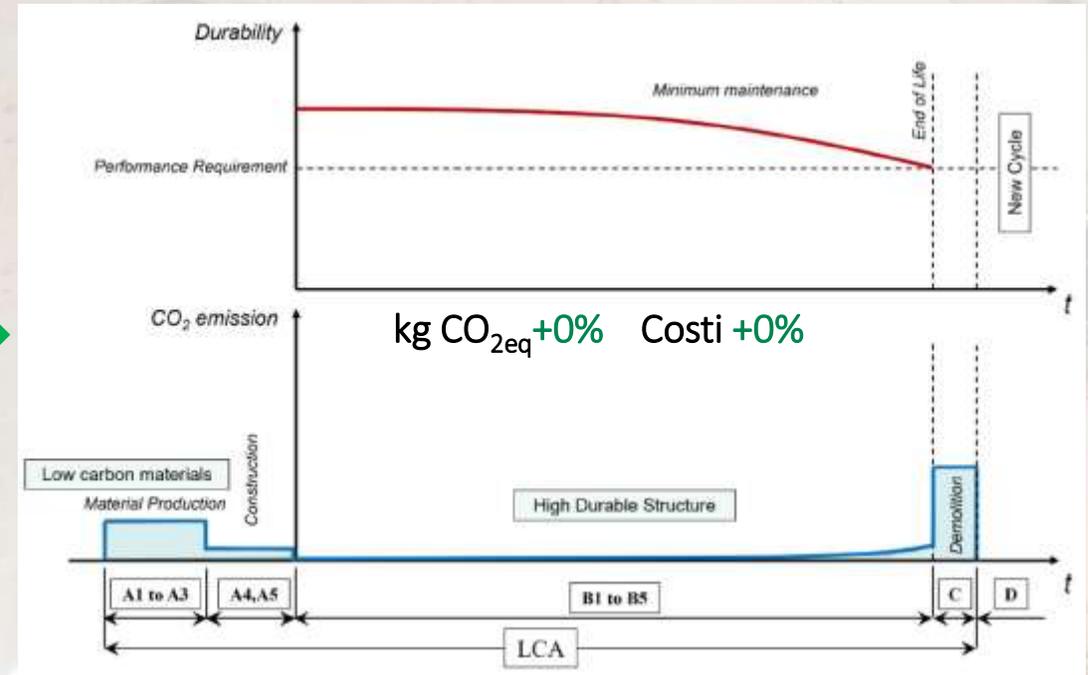
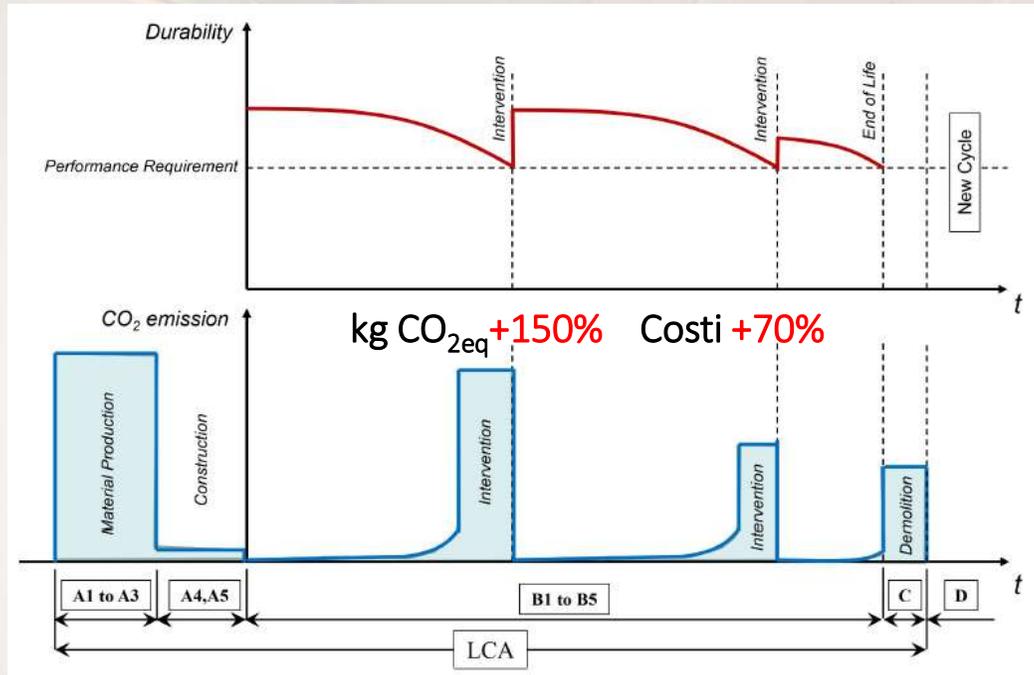
- C1: Demolizione
- C2: Trasporto
- C3: Trattamento rifiuti
- C4: Smaltimento



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

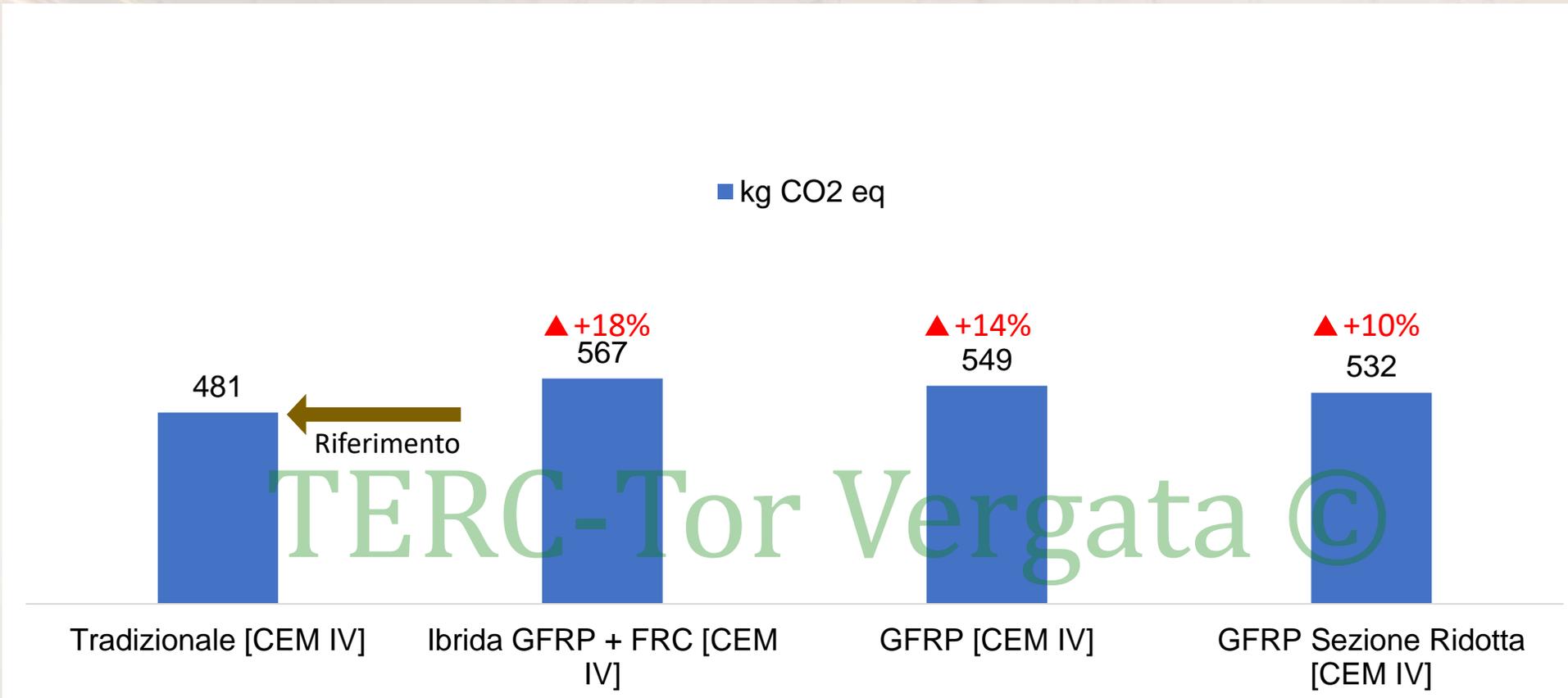


TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

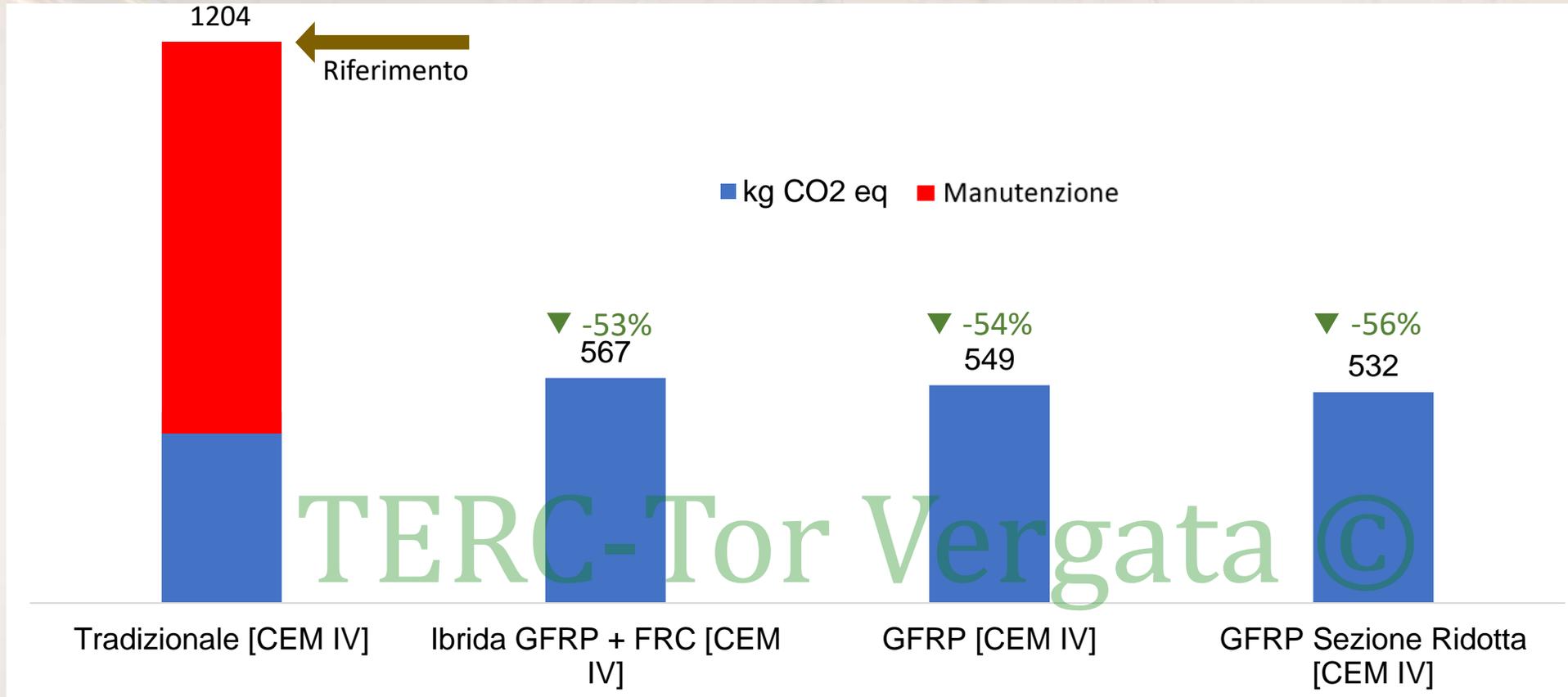


TERC
Tunneling Engineering Research Centre

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