

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'

BBT - Lotto Mules 2-3: Sostenibilità del processo di produzione industriale dei conci prefabbricati

Giacomo Zamolo, Matteo Lanconelli, Alessandro Benucci, Antonio Spaziani, Antonio Voza
Galleria di Base del Brennero – BBT-SE, Direzione Lavori Lotto Mules 2-3

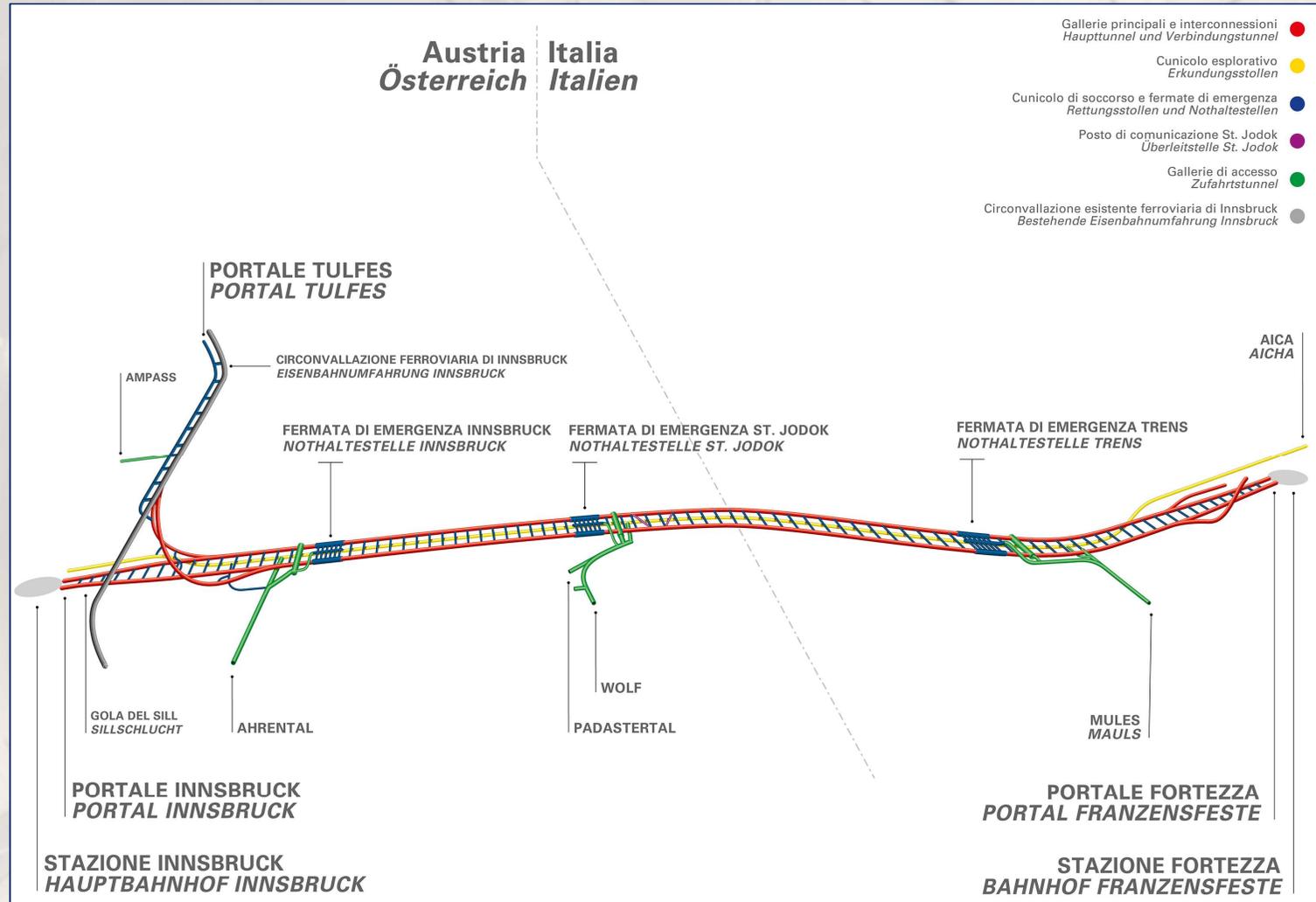
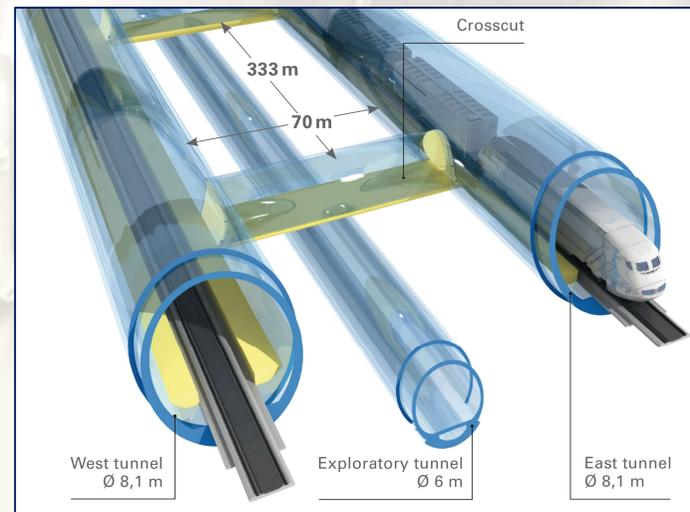
Speakers: Giacomo Zamolo, Matteo Lanconelli



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

BBT: INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO

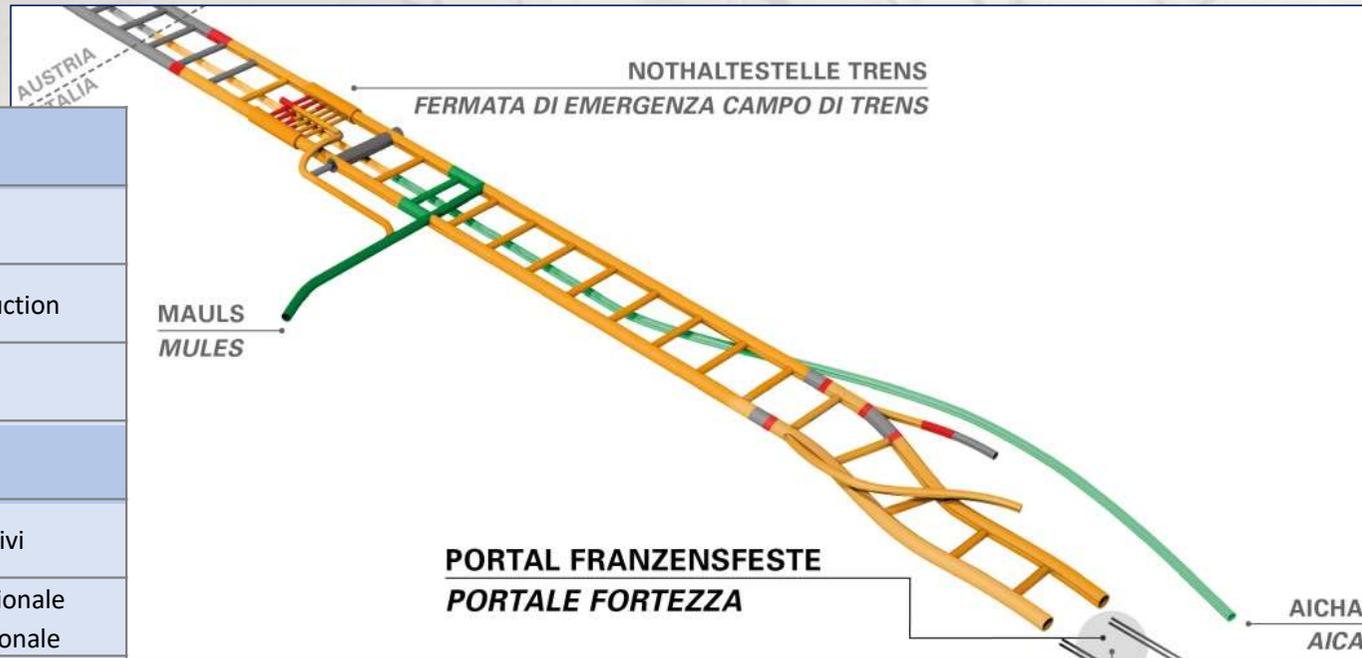
Fortezza-Innsbruck	ca 55 Km
Fortezza-Tulfes	ca 64 Km
Lungh. totale sistema gallerie	230 km
Metodo di scavo	30% tradizionale 70% TBM
Fermate di emergenza	Innsbruck, St. Jodok, Trens
Copertura media	1000 m
Massima copertura	1850 m





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

LOTTO MULES 2-3



Informazioni generali Lotto Mules 2-3

Inizio lavori	Settembre 2016
Impresa esecutrice	Consorzio BTC Brenner Tunnel Construction
Costo dell'opera	Ca. 1.067 mln € (valore aggiornato al 11.2023)

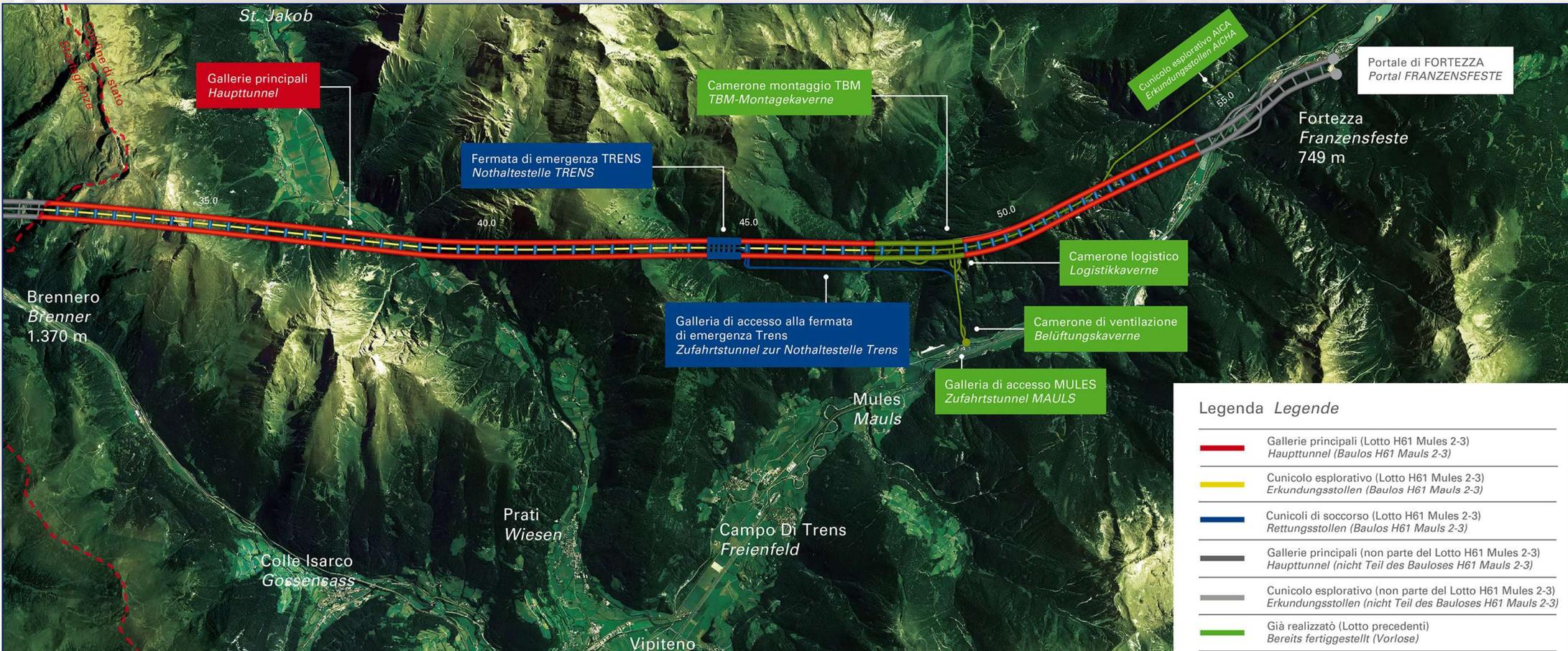
Stato avanzamento del Lotto Mules 2-3 (aggiornato al 15/11/2023)

Lunghezza complessiva scavo	Ca. 59,5 km (91 %) su 65 km complessivi
% Scavo gallerie di linea Sud	GLOS 100 % – Metodo di scavo: tradizionale GLES 100 % – Metodo di scavo: tradizionale
% Scavo gallerie di linea Nord	GLON 77 % – Metodo di scavo: TBM DS GLEN 100 % – Metodo di scavo: TBM DS
% Scavo cunicolo esplorativo	CE 100 % – Metodo di scavo: TBM DS
% Galleria di accesso di Trens	100 % – Metodo di scavo: Tradizionale
% Fermata Emergenza Trens	100 % – Metodo di scavo: Tradizionale



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

LOTTO MULES 2-3





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

CUNICOLO ESPLORATIVO

Caratteristiche	TBM 1054 "Serena"
Diametro Cutter Head	6,85 m
Spinta tot cilindri princ.	≈ 4300 ton
Spinta tot cilindri aus.	≈ 5700 ton
Peso totale macchina	1300 ton
Avvio scavi	05/2018
Lunghezza scavo	14,2 km
Produzione massima gg	33 m/gg
Fine scavi	11/2021

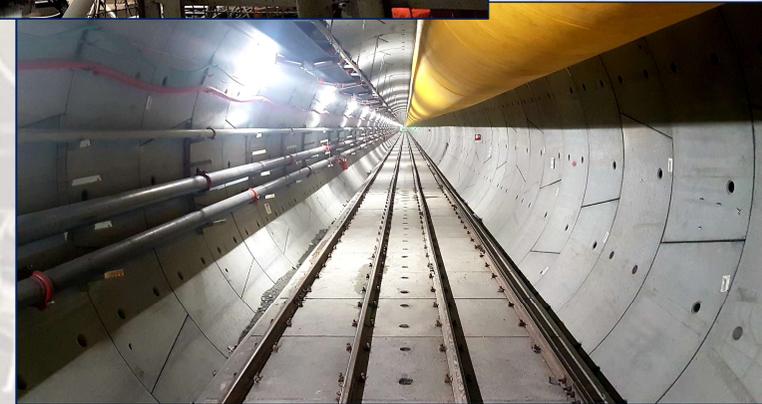
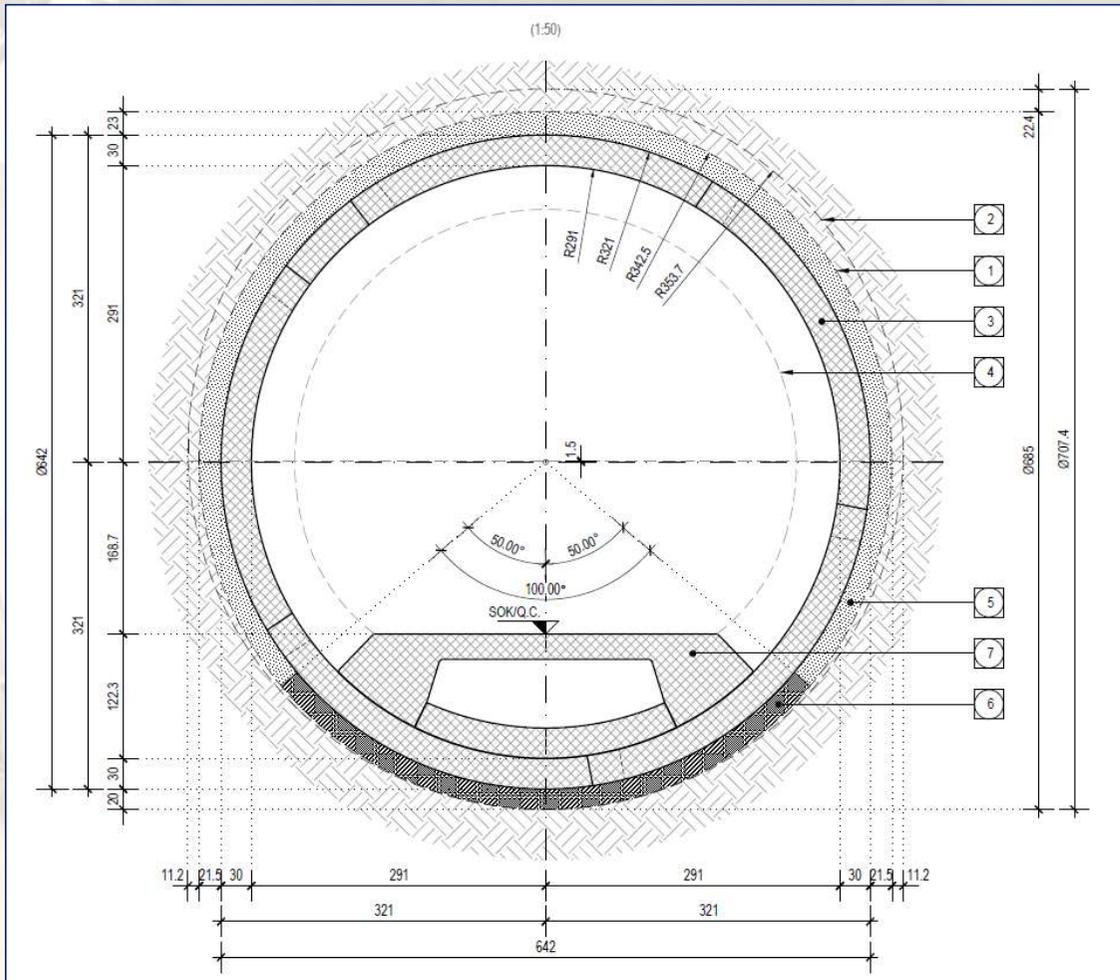
Tipologia anello	Universale
Diametro esterno anello	6,42 m
Diametro interno anello	5,82 m
Spessore anello	30 cm
Lunghezza anello	1,5 m
Design anello	5 + 1 concio chiave
Peso concio	4,05 ton + 1,35 ton
Gasket impermeabilizzazione	Singolo





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

CUNICOLO ESPLORATIVO



MATERIALEIGENSCHAFTEN UND TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN / CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E SPECIFICHE TECNICHE

1	Ausbruchrand TBM (ohne Überschnitt)	Contorno scavo TBM (senza extrascavo)
2	Ausbruchrand TBM mit Überschnitt	Contorno scavo TBM con extrascavo massimo
3	Tübbingring	Anello conchi
4	Innengewölbe aus Ortbeton	Rivestimento definitivo in calcestruzzo
5	Verfüllung Ringspalt mit Perlkies	Riempimento a tergo conchi con ghiaio
6	Verfüllung Ringspalt mit Mörtel	Riempimento a tergo conchi con malta
7	Vorfabrizierter Sohlstein aus bewehrtem Beton	Concio di base in c.a.



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

GALLERIE DI LINEA

Caratteristiche	TBM 1071 "Flavia" TBM 1072 "Virginia"
Diametro Cutter Head	10,71 m
Spinta tot cilindri princ.	≈ 9500 ton
Spinta tot cilindri aus.	≈ 11300 ton
Peso totale macchina	2800 ton
Avvio scavi	04/2019 – 06/2019
Lunghezza scavo	14,2 km
Produzione massima gg	35,00 mm/gg – 36,75 m/gg

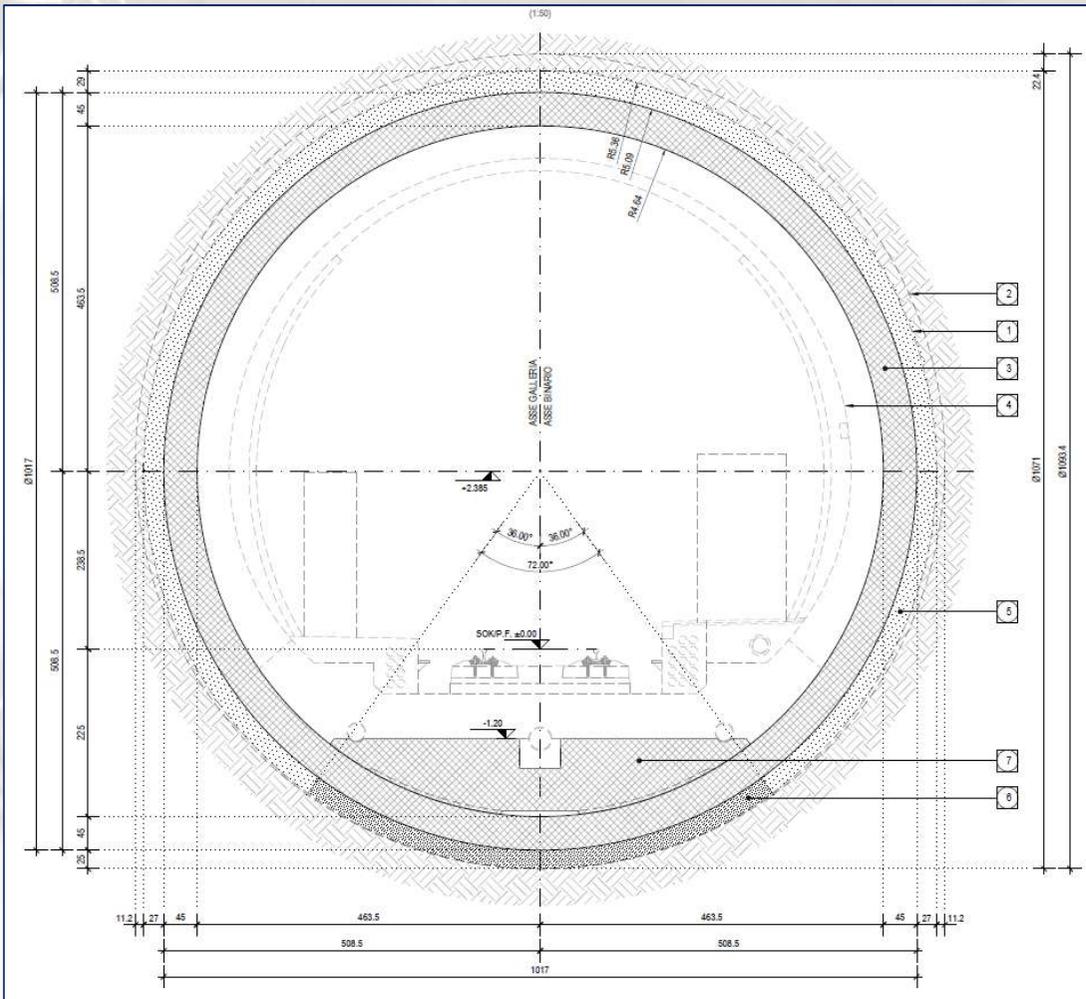
Tipologia anello	Universale
Diametro esterno anello	10,17
Diametro interno anello	9,27
Spessore anello	45 cm
Lunghezza anello	1,75 m
Design anello	6 + 1 concio chiave
Peso concio	9,4 ton + 3,1 ton
Gasket impermeabilizzazione	Doppio





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

GALLERIE DI LINEA



MATERIALEIGENSCHAFTEN UND TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN / CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E SPECIFICHE TECNICHE

①	Ausbruchsrund TBM (ohne Überschnitt)	Contorno scavo TBM (senza extrascavo)
②	Ausbruchsrund TBM mit Überschnitt maximum	Contorno scavo TBM con extrascavo massimo
③	Tübbingring	Anello conci
④	Innengewölbe aus Ortbeton	Rivestimento definitivo in calcestruzzo
⑤	Verfüllung Ringspalt mit Perlkies	Riempimento a tergo conci con ghiaio
⑥	Verfüllung Ringspalt mit Zweistoffgemisch	Riempimento a tergo con miscela bicomponente
⑦	Vorfabrizierter Sohlstein aus bewehrtem Beton	Concio di base in c.a.



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

LOGISTICA LOTTO MULES 23

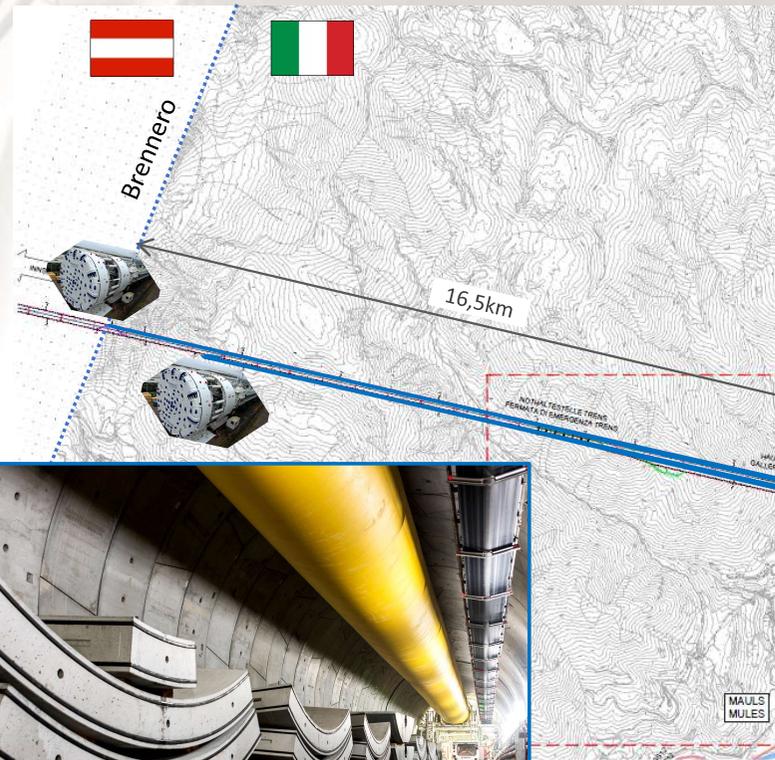


Area cantiere Hintergrigger

Area cantiere Hintergrigger



Nodo logistico – tramoggia collegamento GL con CE



Nodo logistico

12 km
Cunicolo esplorativo Aica-Mules

BEREICH FRANZENSFESTE
SETTORE FORTEZZA

FRANZENSFESTE
FORTEZZA



Nastri smarino CE



Trasporto conchi su via ferrata GL



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

LOGISTICA LOTTO MULES 23 (SOLUZIONI ALTERNATIVE)

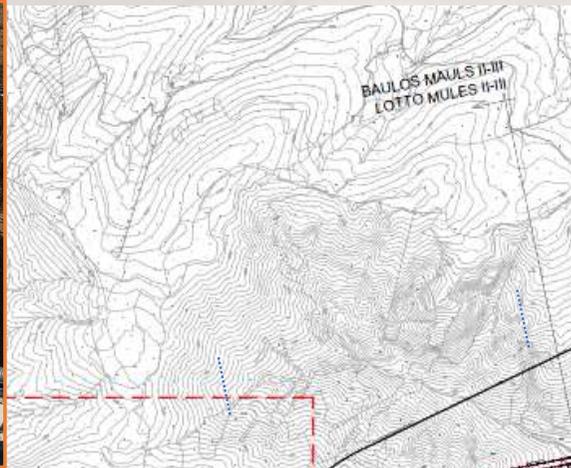
Imbocco Discenderia Mules -
Nastri smarino inerti CLS



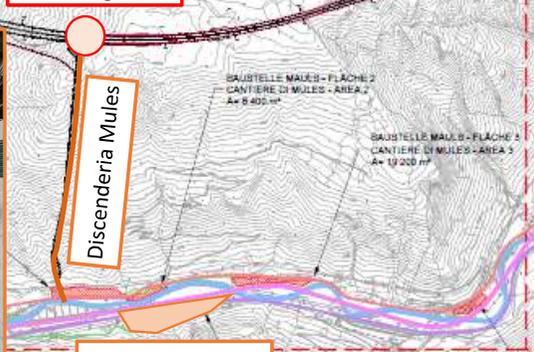
Sistema nastri imbocco - Genauen



Area cantiere
Hinterrigger



Nodo logistico



Deposito Genauen



ZULAUFSTRECKE SUD
LINEA DI ACCESSO SUD.



Impianto frantumazione Mules



Discenderia Mules

Area Genauen



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

HINTERRIGGER E STABILIMENTO CONCI



- Soluzione proposta in fase di offerta tecnica
- Estensione area cantiere Hinterrigger 220.000 mq
- Estensione stabilimento 30.000 mq
- Deposito smarino 6.386.000 mc
- Smarino riutilizzato 2.300.000 mc
- 130 operai / 2 turni lavorativi

16/11/2023



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

HINTERRIGGER E STABILIMENTO CONCI

Frantumazione smarino tipo A e produzione aggregati: processo di produzione inerti qualificato per marcatura CE (conforme a EN 12620).



Maturazione: Lisciatura estradosso dopo 30 min da fine getto. Scassero a 7 h da fine getto.



Assemblaggio armatura: acciaio B450C.
GL → 3,3 ton / anello, incidenza 130 kg/m³
CE → 1,6 ton / anello incidenza 140 kg/m³



Stoccaggio: 2 gg all'interno dello stabilimento (evitare sbalzi termici), 26 gg all'esterno.



Getto cls: 124 casseri vibranti statici, maturazione a vapore e T° controllata, ciclo termico monitorato, gradiente max 20°C / h, T° max 55° C.



Impianto betonaggio Isocell	
Marca	Simem
Bocche di carico	2
Produzione teorica	70 m ³ / ora a ciclo continuo
Produzione annuale (2021)	≈ 150.000 m ³
Produzione media (2021)	≈ 500 m ³ / gg
Produzione media anelli (2021)	≈ 7 anelli / gg CE ≈ 10 anelli / gg GL



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

STOCCAGGIO



- Estensione area stoccaggio 23.000 mq.
- Disposizione di stoccaggio conci: 6 unità (CE) e 7 unità (GL).
- Numero massimo anelli stoccati: 1100.



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

SPECIFICHE CALCESTRUZZO

Classe di resistenza (f_{ck} / R_{ck})	50/60
Classe di consistenza	S4
Classe di esposizione	XA3 – Altissima resistenza ai solfati
Diametro massimo aggregato	22 mm
Tipologia cemento	CEM I / SRO 42,5
Contenuto Alluminato tricalcico	Nulla
Fornitore cemento	Italcementi
Contenuto cemento	360 kg/m ³
Rapporto A/C	0,339 (max consentito 0,45)
Aggiunte - Ceneri volanti	80 kg/m ³ (General Admixtures)
Add. fluidificante – “Primium PC 191”	3 l/m ³ (General Admixtures)



CLS ad alte prestazioni: maggiori performance,
minor interventi manutentivi in fase d'esercizio =
maggior sostenibilità dell'investimento





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

SOSTENIBILITA' CALCESTRUZZO

Aggiunte - Ceneri volanti	80 kg/m ³ (General Admixtures)
Volume totale cls conci	440 000 m ³
Totale quantità ceneri volanti utilizzate	35 440 ton
ton CO2 risparmiate (rispetto CEM I)	32 200 ton
Litri H2O non consumati in fase di produzione (rispetto CEM I)	1 595 000 litri
kWh non consumati in fase di produzione (rispetto CEM I)	42 035 000 kWh

Tabella 1
Emissioni di CO₂ associate alla produzione dei costituenti principali del calcestruzzo

COSTITUENTE	Kg CO ₂ / ton
CEM I ⁽¹⁾	913
Genere volante MICRO-POZZ PFA	4
Aggregati ⁽²⁾	10
Acqua	0

Valori tratti da MPA (Mineral Product Association) – The Concrete Center www.concretecenter.com

Tabella 2
Consumo di acqua associato alla produzione dei costituenti principali del calcestruzzo

COSTITUENTE	Litri / ton
CEM I ⁽¹⁾	45
Genere volante MICRO-POZZ PFA	0
Aggregati	48
Additivo	0,65 (Litri/kg)

Tabella 3
Consumo di energia associato alla produzione dei costituenti principali del calcestruzzo

COSTITUENTE	kWh / ton
CEM I ⁽¹⁾	1195
Genere volante MICRO-POZZ PFA	9
Aggregati	13
Additivo	2,5 (kWh/kg)

Valori tratti da MPA (Mineral Product Association) – The Concrete Industry Sustainability Performance Report. 1st report, The Concrete Center 2009, p.24.

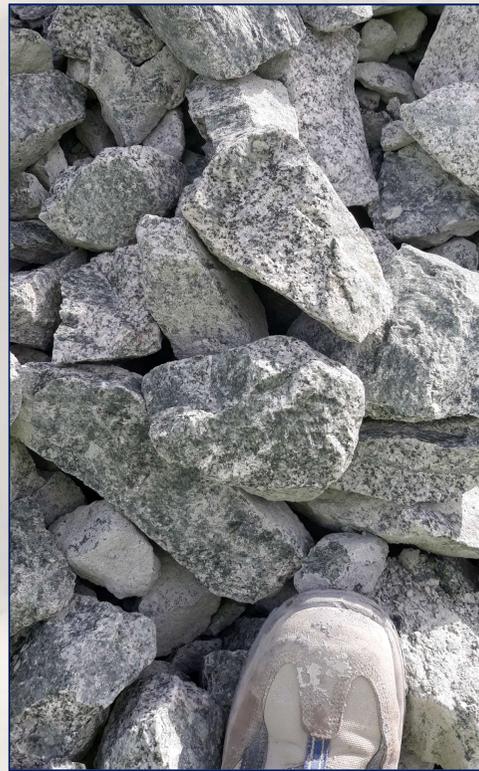


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

RIUTILIZZO ROCCE DA SCAVO

- GRANITO DI BRESSANONE
- GNEISS

- 10 km circa di tracciato GL Sud tradizionale attraverso granito di Bressanone.
- 1 170 000 mc di granito scavato complessivamente.



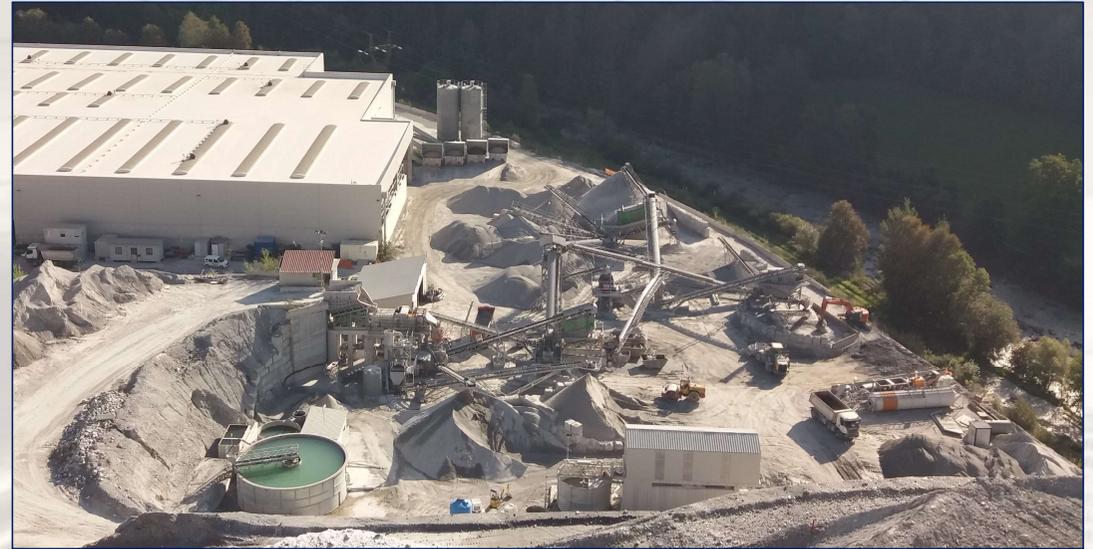


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

RIUTILIZZO ROCCE DA SCAVO

- GRANITO DI BRESSANONE
- GNEISS

- 10 km circa di tracciato meccanizzato (2GL+CE) attraverso gneiss centrale.
- 1 100 000 mc di gneiss scavato complessivamente.





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

RIUTILIZZO ROCCE DA SCAVO

- GRANITO DI BRESSANONE
- GNEISS

Complessivamente il riutilizzo di materiale da scavo per la produzione di conci prefabbricati è stata (al 01/2023):

GLEN e GLON MECCANIZZATO	
Volume totale aggregati CLS GLON+GLEN	425 483 mc
CE MECCANIZZATO	
Volume totale aggregati CLS CE	117 293 mc
TOTALE CE+GL	
Volume totale aggregati CLS	542 776mc

Inoltre sono stati riutilizzati 140.500 mc di materiale sottoforma di pea gravel d'intasamento gap anulare.

16/11/2023



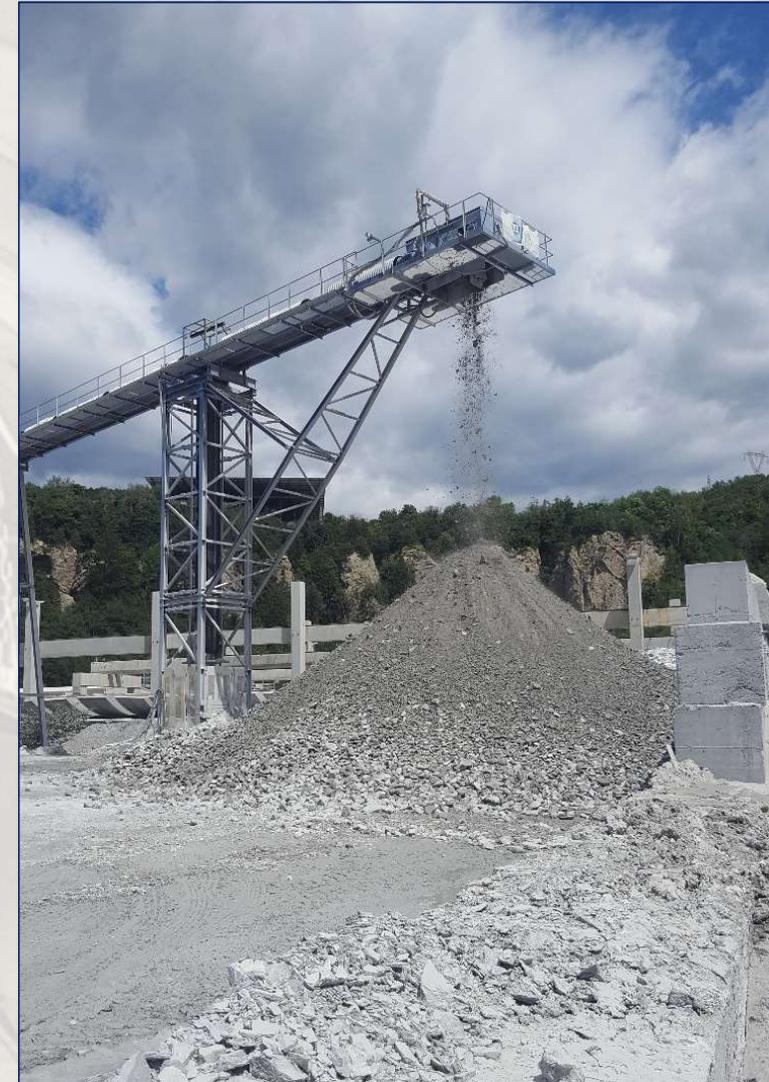


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

- TRASPORTO SMARINO – SISTEMA NASTRI
- COLLEGAMENTO TRENO STABILIMENTO CONCI - TBM

- 78 km circa di sistema nastri nel momento di massima estensione.
- 45 numero di motori\return station\booster nel momento di massima estensione.
- Velocità nastri 2,5 km/h.



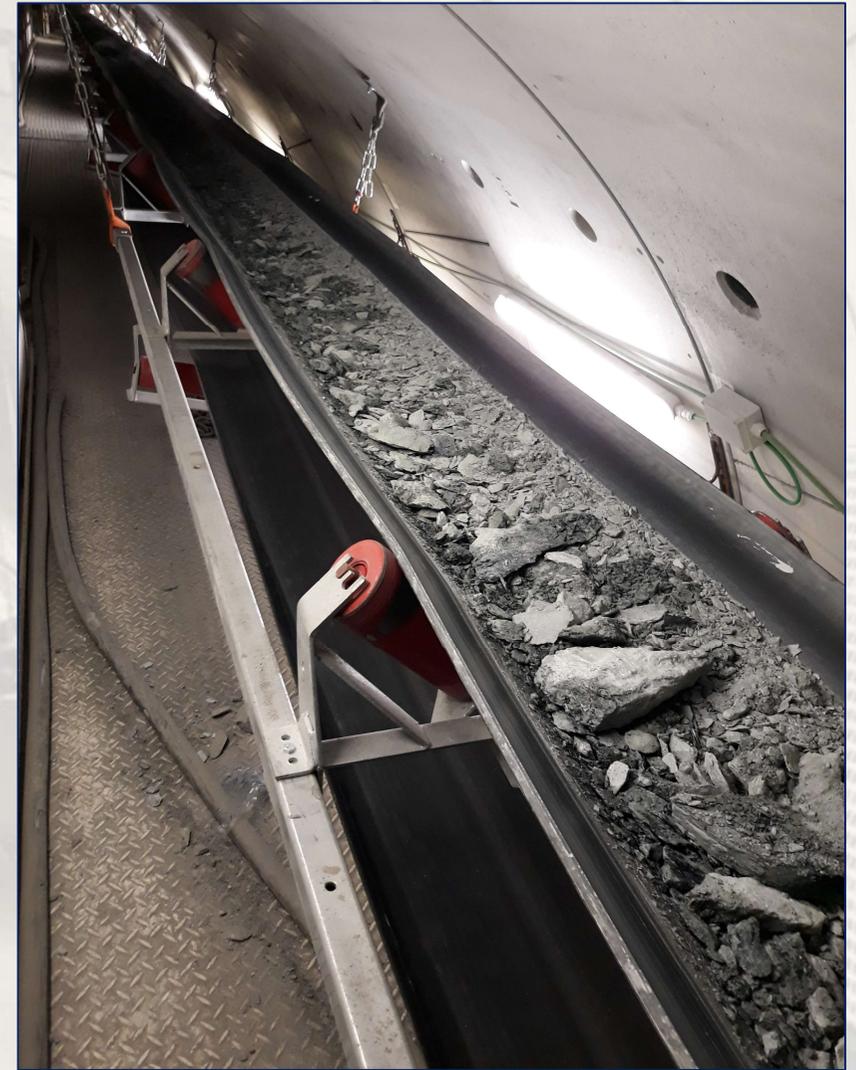


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

- TRASPORTO SMARINO – SISTEMA NASTRI
- COLLEGAMENTO TRENO STABILIMENTO CONCI - TBM

- 78 km circa di sistema nastri nel momento di massima estensione.
- 45 numero di motori\return station\booster nel momento di massima estensione.
- Velocità nastri 2,5 km/h.

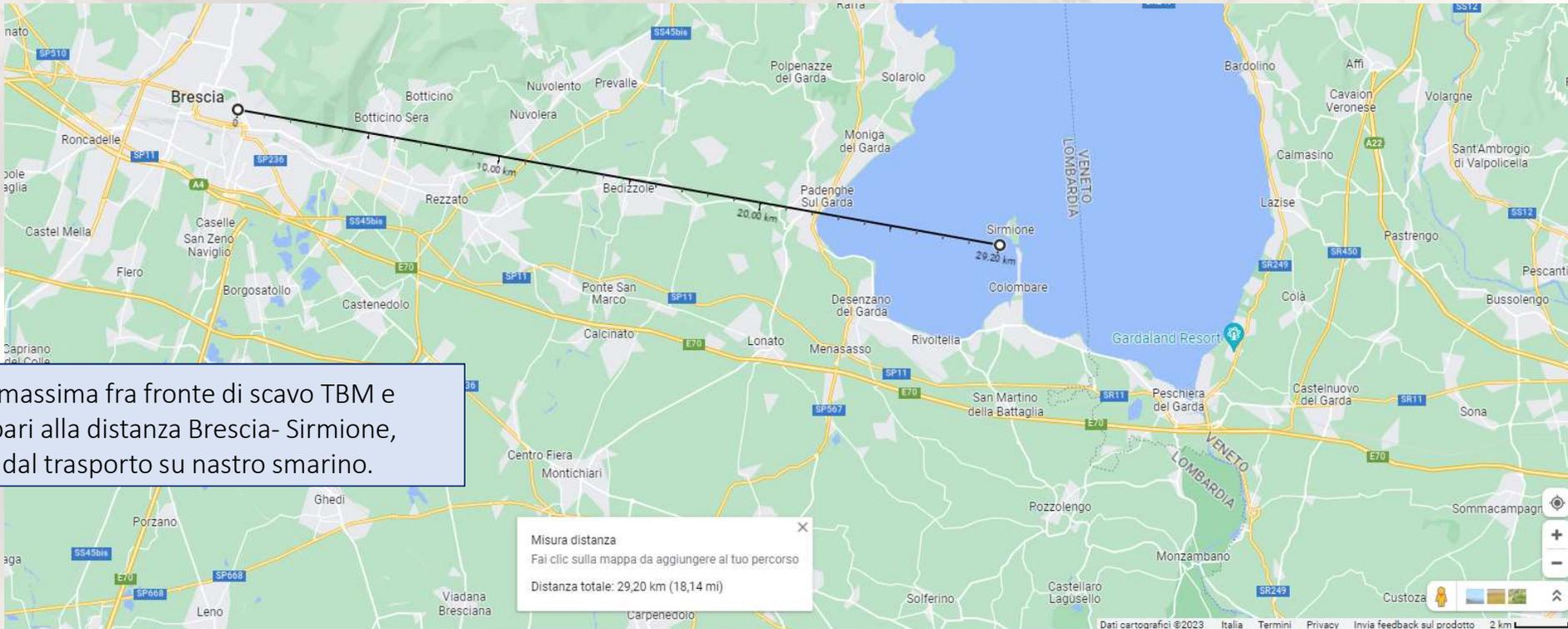




RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

- TRASPORTO SMARINO – SISTEMA NASTRI
- COLLEGAMENTO TRENO STABILIMENTO CONCI - TBM



16/11/2023



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

OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

- TRASPORTO SMARINO – SISTEMA NASTRI
- COLLEGAMENTO TRENO STABILIMENTO CONCI - TBM



- 105 km circa di linea ferroviaria.
- Circa 13.000 trasporti stabilimento TBM (2 anelli completi ogni singolo viaggio) equivalenti a circa 26.000 trasporti camion per approvvigionamento conci in cantiere.





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

OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

- TRASPORTO SMARINO – SISTEMA NASTRI
- COLLEGAMENTO TRENO STABILIMENTO CONCI - TBM

- Numero locomotori complessivo: 41 locomotori.
- Numero convogli di «produzione»: 10 (2 locomotori + vagoni peagravel e bicomponente + piattine porta concii).
- Nell'intero lotto numero complessivo mezzi ferroviari (vagoni, piattine, parigine, gru, ...): circa 265 componenti.

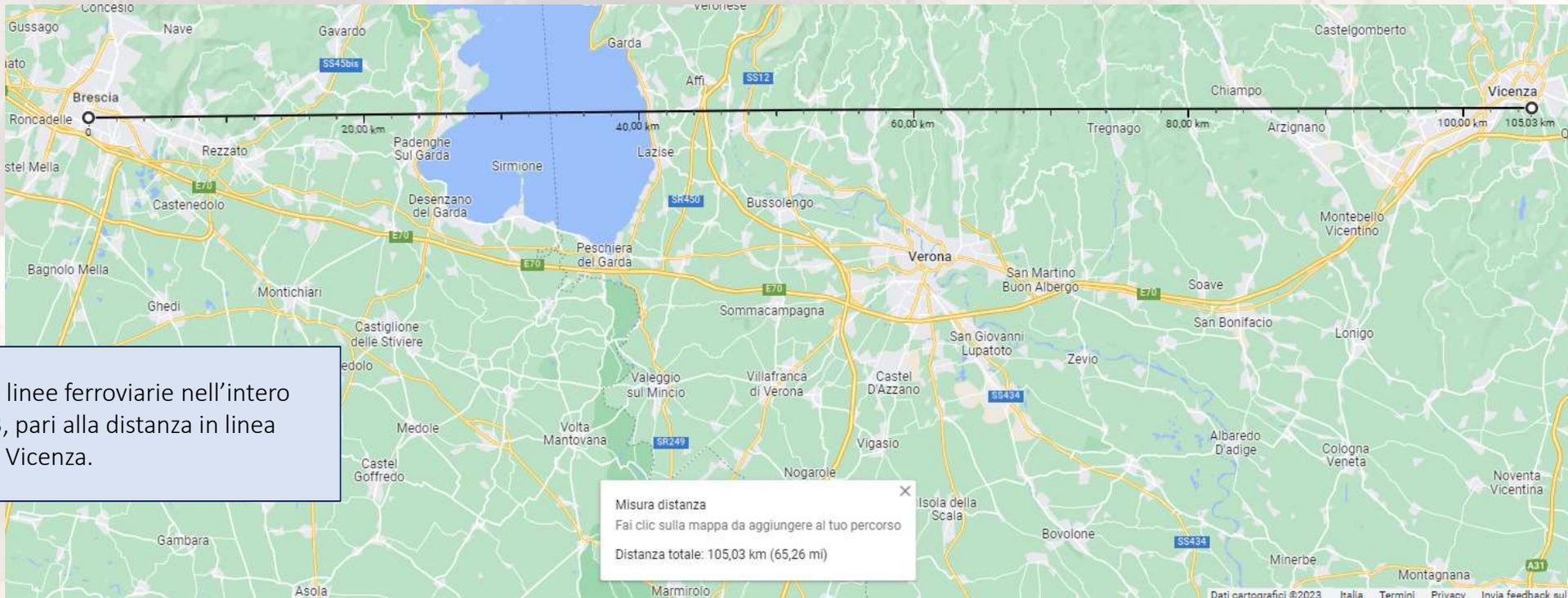




RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

- TRASPORTO SMARINO – SISTEMA NASTRI
- COLLEGAMENTO TRENO STABILIMENTO CONCI - TBM



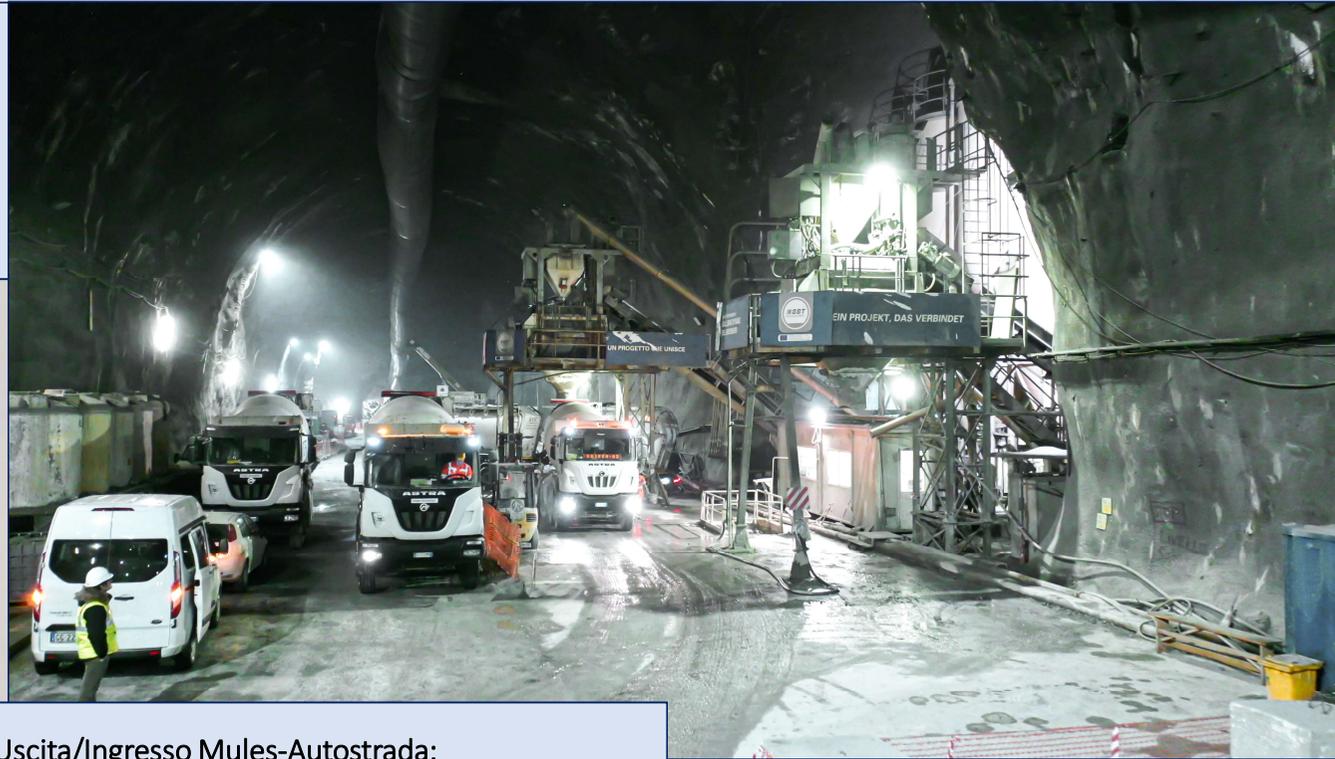


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

ULTERIORI ELEMENTI DI SOSTENIBILITA'

Impianto di betonaggio interno in galleria:

- 350.000 mc CLS (strutturale, spritz beton, magrone)
- Filiera diretta fra produzione CLS e luogo getto
- Limitazione delle percorrenze delle betoniere
- Inquinamento acustico limitato



Uscita/Ingresso Mules-Autostrada:

- Alleggerimento traffico mezzi pesanti
- Velocità approvvigionamento materiali
- Inquinamento acustico azzerato



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



...il tema della sostenibilità è
intrinseco al progetto BBT...

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

16/11/2023

