

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:



Case History significativi di prefabbricazione in proprio per una gestione industrializzata e sostenibile del processo di produzione dei conci:

Metro Tolosa e TELT C05

Relatore:

Nicola Pupa



Eiffage è uno dei leader europei nel settore delle costruzioni e delle concessioni, con un fatturato di 20,3 miliardi di euro nel 2022 e con 76.300 dipendenti di cui l'80% Azionista

Più di un secolo e mezzo di storia e di memoria collettiva, dal 1844, il gruppo accompagna questi cantieri che cambiano la vita degli uomini e che danno corpo a realizzazioni spesso emblematiche

1844 creazione di Fougierolle

1889 inaugurazione della Tour Eiffel

1927 inizio dei primi lavori del porto di Dakar (Sénégal)

1973 Opéra de Sydney (Australia)

1989 Pyramide du Louvre a Parigi

1990 SAE partecipa alla costruzione del tunnel della Manica

1992 nascita di Eiffage (dall'unione di Fougierolle e SAE)

2000 realizzazione del tracciato del TGV Méditerranée

2000 inaugurazione di Meteor (la linea 14 della Metro di Parigi)

2002 Eiffage è il costruttore e concessionario del viadotto di Millau

2006 contratto di concessione dell'autostrada A65 tra Langon e Pau

2010 Dakar-Diamniadio in Senegal, realizzata da Eiffage nell'ambito di un contratto di concessione per un periodo di 30 anni



Viaduc de Millau-Eiffage/CEVM/Foster&Partners/Daniel Jamme



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

FOCUS LAVORI SOTTERRANEI DAL 2010



Collecteur VL8

Lot 02 - Ile-de-France

Métro de Toulouse

Toulouse

Ligne 14

Lot GC03 - Ile-de-France

Ligne 15

Lot T2B - Ile-de-France

Ligne 16

Ligne 16 - Lot 1 - Ile-de-France

RER E Eole

RER E - Ile-de-France



Galerie des Janots

Paca

Tunnel Euralpin Lyon Turin (Telt)

Auvergne Rhône-Alpes

Tunnel du Perthus

France - Espagne

Ligne 12

Ile-de-France

Tunnel du Violay

Auvergne Rhône-Alpes

Tunnel Prado Sud

Paca

Il **Gruppo EIFFAGE** ha una forte ambizione: contribuire attivamente a costruire un'Europa più sobria e più sostenibile, a basse emissioni di carbonio, sovrana sul piano energetico e industriale.

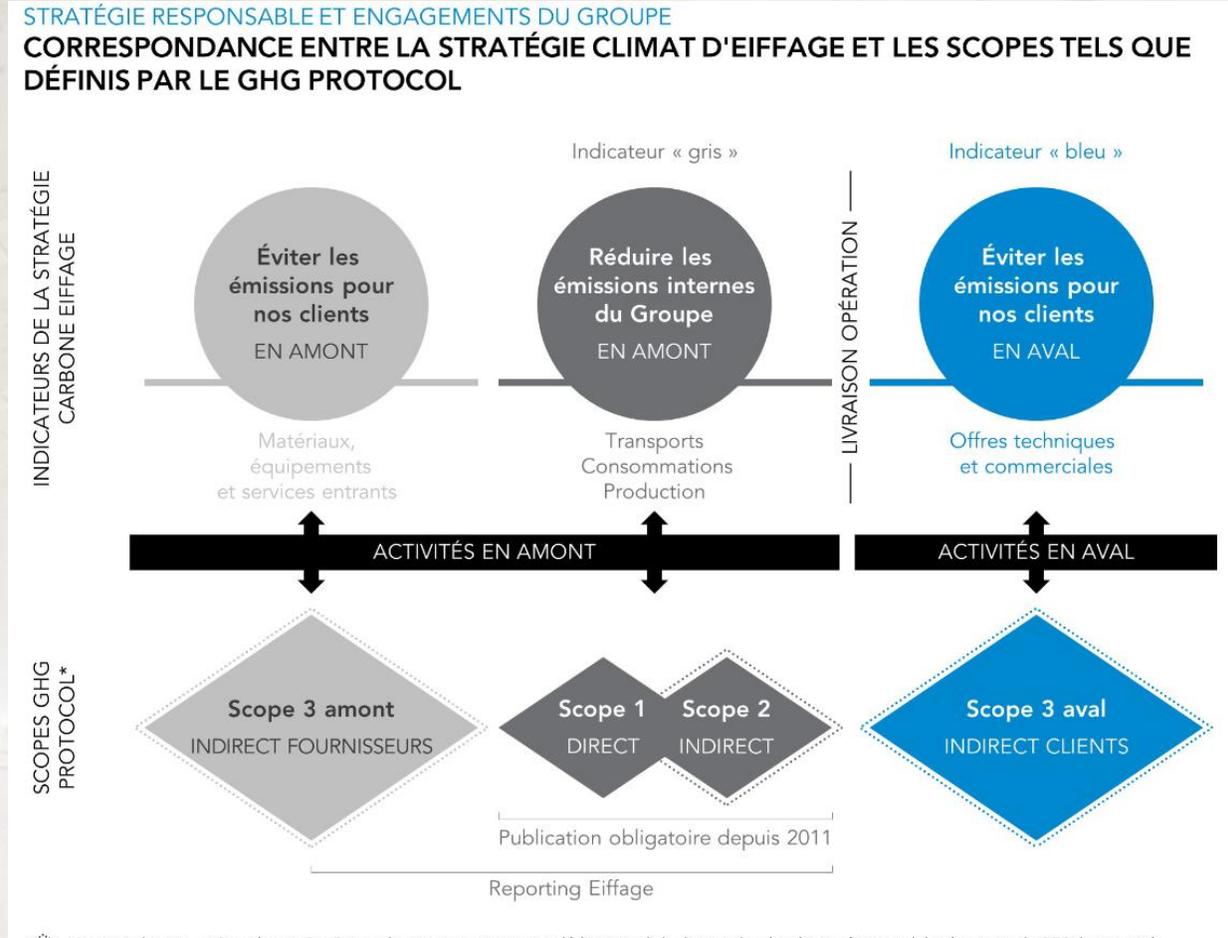
Gli obiettivi di riduzione dei gas serra :

Sono stati presi come parte della scelta di allinearci sulla traiettoria 1,5° C e questo per tutte le attività

Per le emissioni dirette e indirette (legate alla produzione di energia): riduzione del **46%** delle emissioni entro il 2030

Riduzione del **30%** delle emissioni entro il 2030 nell'ambito dell'emissioni indirette a monte (trasporti, gestione rifiuti..) e a valle delle nostre attività (vita del progetto alla fine del cantiere)

Neutralità Carbonica entro il 2050

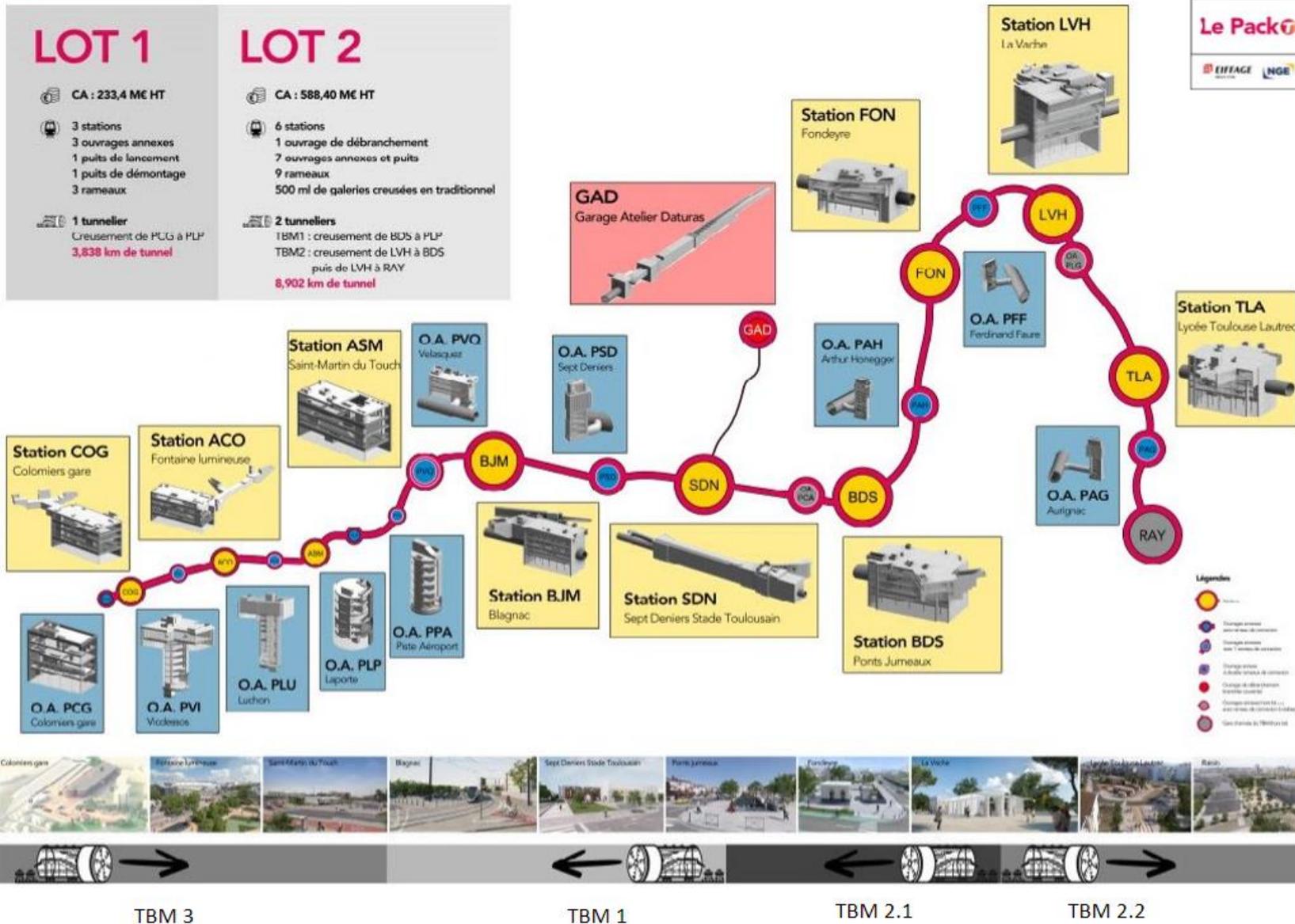




RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

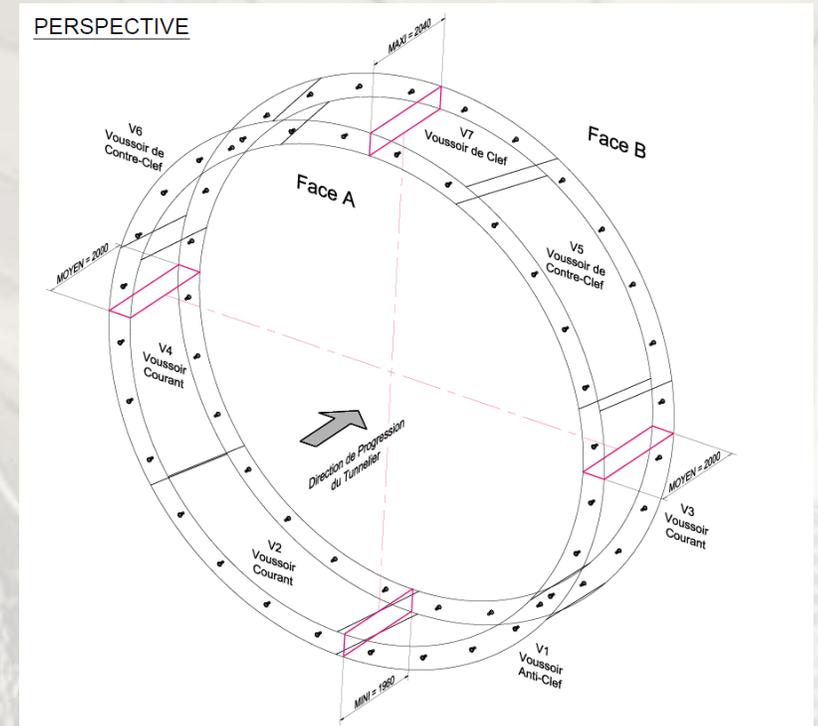
METRO TOULOUSE Linea 3

Le Pack^T



Lunghezza Tunnel 12 km
Diametro interno 8.5 ml
Diametro esterno 9.3 ml
Anello nr 7 conci
Lunghezze 2 e 1,5 ml
Spessore 40 cm
Volume 22,4 e 16,8 m³
Calcestruzzo Totale 135 000 m³

	LOT 1	LOT 2	TOTAL	%
Numero di anelli CA	77	188	265	4,2%
Numero di anelli C FibroRinforzato	1822	4187	6009	95,8%
Numero di anelli 2 ml	1711	3709	5420	86,4%
Numero di anelli 1,5 ml	188	666	854	13,6%

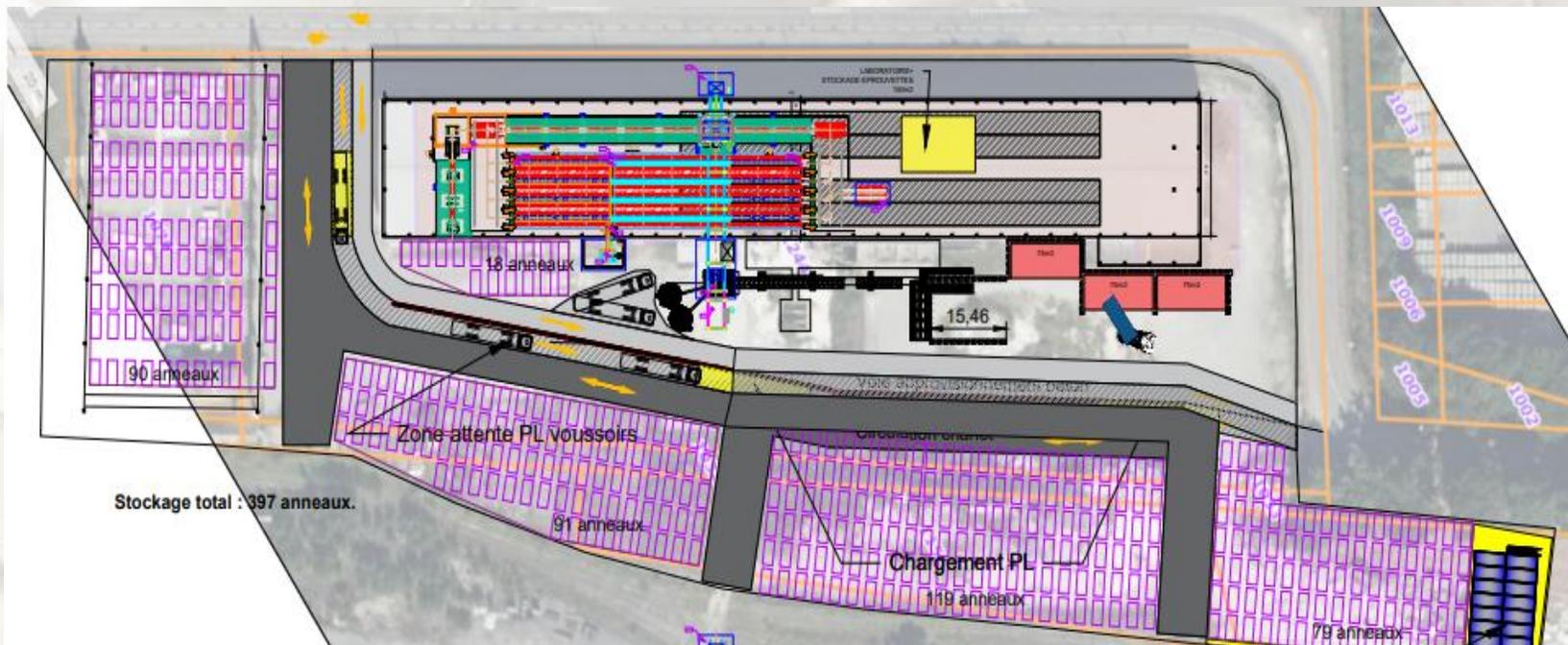
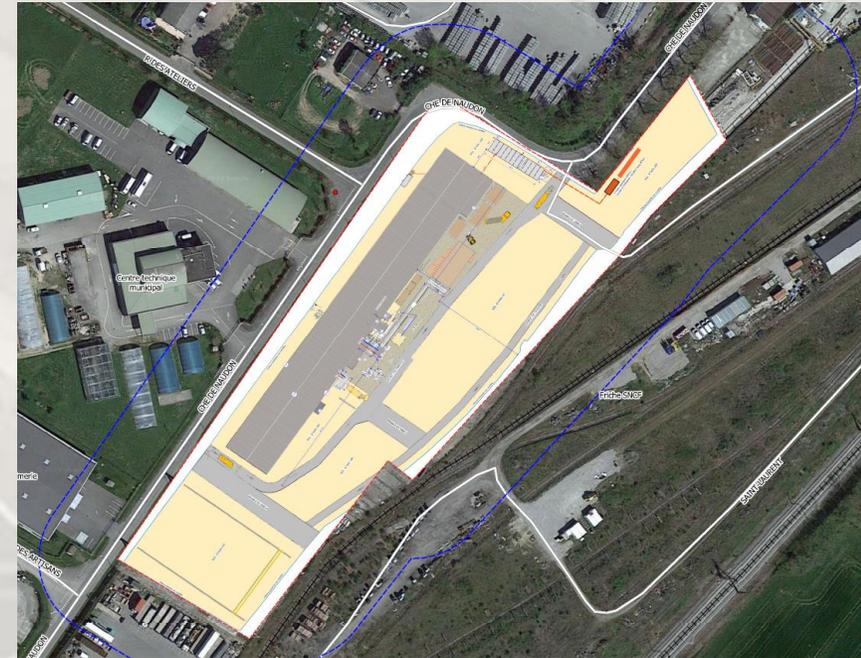


Armature 83 kg/ m³
Fibre Acciaio 40 kg/ m³
Fibre Polipropilene 0,9 kg/ m³

SCELTA STRATEGICA DI PRODURRE IN HOUSE I CONCI IN UNA FABBRICA A 40 KM DAL CANTIERE

Capannone industriale di 4 000 m²

Area di stoccaggio di circa 20 000 m²



**RIDUZIONE
COSTI TRASPORTI
e
EMISSIONI GAS SERRA**

Produzione tramite carosello

Pulizia dei casseri

Posizionamento degli inserti e guarnizioni

Posa della gabbia d'armatura

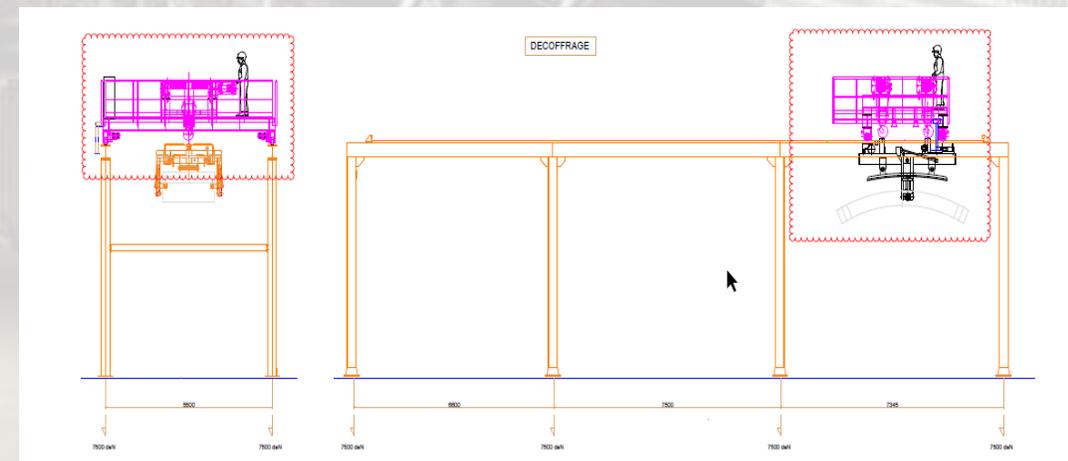
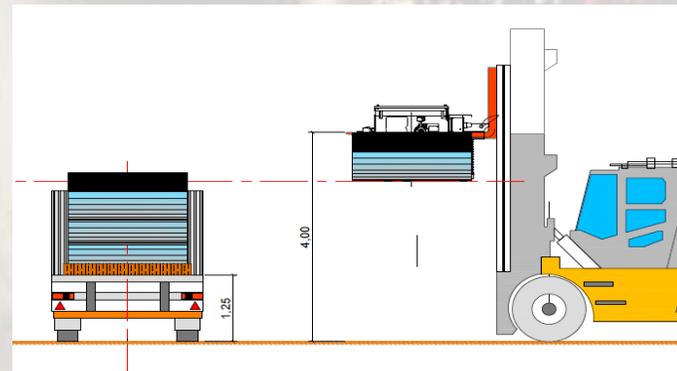
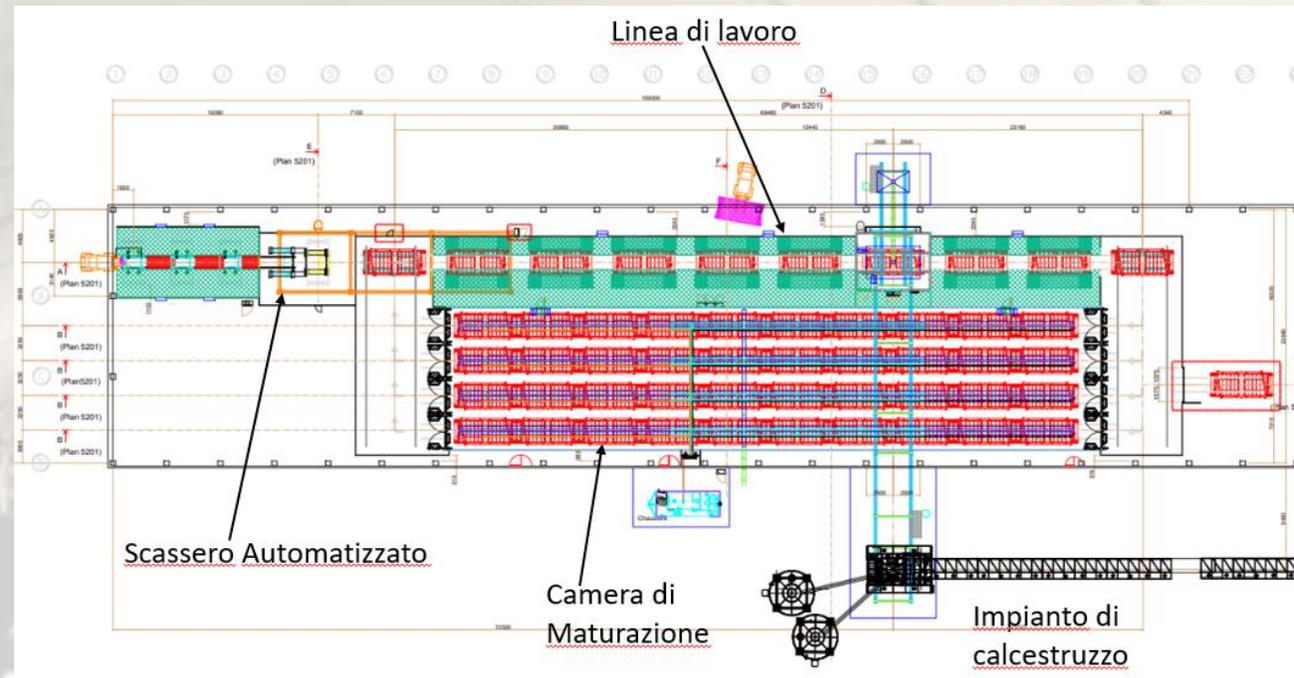
Betonaggio in cabina insonorizzata

Lisciatura estradosso dei conci

Maturazione a vapore dei conci

Scasseratura automatica dei conci e linea di evacuazione dei conci verso lo stoccaggio

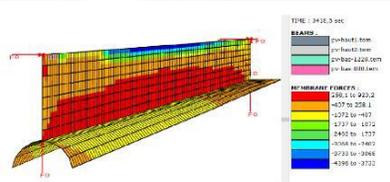
Trasporto verso lo stoccaggio tramite carrelli con ventose





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

Prove propedeutiche all'inizio produzione



Prove di resistenza al fuoco concetti fibrorinforzati (curva ISO 834)



Montaggio di due anelli sovrapposti



Variante: Calcestruzzo Fibrorinforzato

VANTAGGI ATTESI

- Migliore controllo della fessurazione da ritiro
- Minore sensibilità alla corrosione
- Minori problemi legati al copriferro
- Resistenza multidirezionale
- Duttilità Calcestruzzo fibroso +del CA
- Guadagno ambientale
- Miglioramento ciclo produttivo

SVANTAGGI ATTESI

- Fissurazione localizzata nelle zone con meno fibre
- Sensibilità alle pressioni localizzate come i martinetti della TBM
- Controllo della omogenità

REX Lotto 1 Linea 16

- Esperienza positiva: conci Fibrorinforzati posati su 12 km sur 18,7 km del progetto L16-1
- Mantenimento della progettazione di conci in CA in termini di:
 - *Numero di Conci/ Anello*
 - *Lunghezza dei Conci*
 - *Potenza delle TBM (Forza Martinetti)*
- Stesso livello di fessurazione in % del CA:
 - *Dimensioni delle fessure comparabili*
 - *Fessure che si richiudono*
- Il risultato è una migliore resistenza alla corrosione e quindi una maggiore durata del rivestimento in calcestruzzo fibrorinforzato
- Risparmio ambientale (minor consumo di materia prima, fabbricazione delle fibre meno inquinante di quella delle armature, risparmio del trasporto delle fibre)

Formulazione del Calcestruzzo

Mix design

Bulletin 83

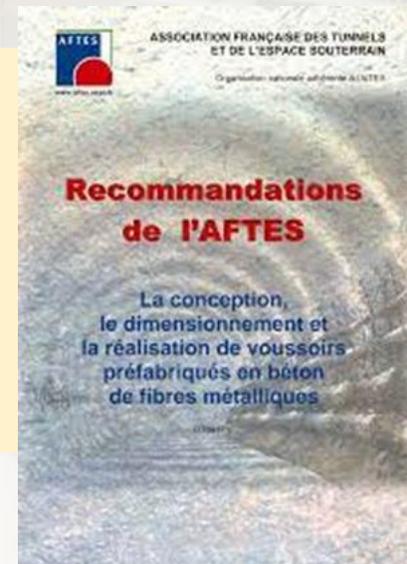
Type de béton	Spécifications particulières	RSI
<p>Désignation normalisée BPS C40/50 XA2 D22,4 CEM III/B 42,5 N LH/SR PM S1 CL0.65 40 kg fibres métalliques Appellation commerciale CEMEX CXB Génie Civil C40/50 XA2 G3 CEM III FM40 S1</p>	<p>DPU 30 mn Consistance : S1 (Cible Vébé : 10s) Classification selon MC2010 : 4c – 4d</p>	<p>Ds 0,40m</p>

CONTROLLI IN PRODUZIONE

- ⇒ Tests che glissano su 15 giorni di produzione
- ⇒ Correzione del valore medio con il valore caratteristico

$$\text{cioé : } Fr3k < fr3m - 1,48$$

Precast tunnel segments in
fibre-reinforced concrete



Prove Qualificazione Calcestruzzo Fibrorinforzato

Studio di
formulazione
della miscela



Prove di pressione
dei martinetti TBM

NICOLA PUPA

Prove di flessione



Università Tor Vergata

Test di pull out sui connettori



Studio MIX DESIGN

In laboratorio, sono state realizzati differenti impasti di calcestruzzo:

- 4 impasti di CLS della formula nominale (di cui uno con trattamento termico)
- 8 impasti di CLS derivati

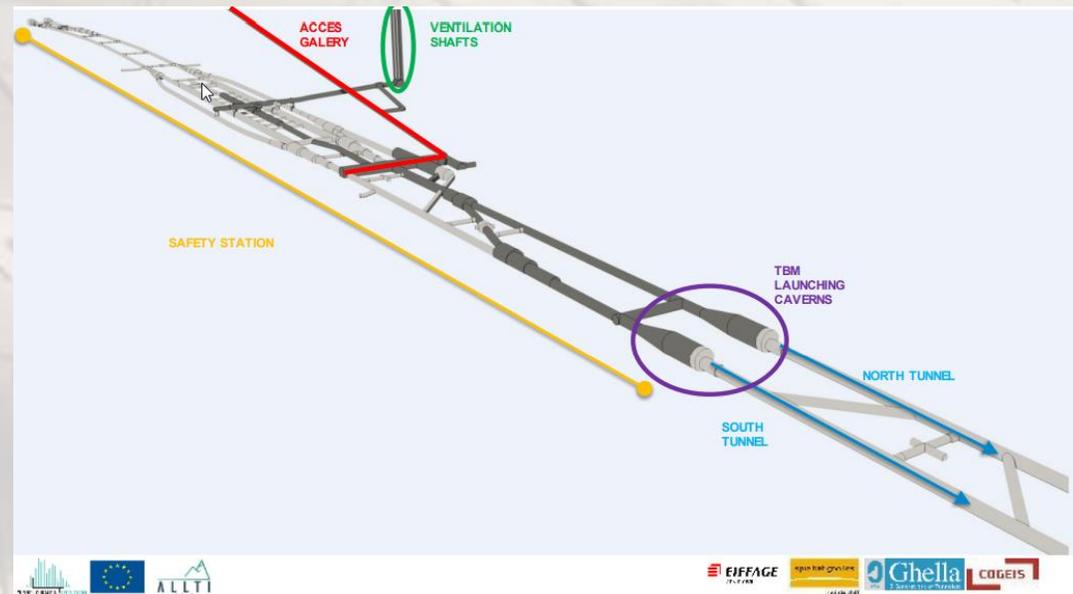
Résultats en valeurs moyennes							
Gâchée	Résistance à la compression – valeurs moyennes sur cylindres 15 x 30 cm (MPa)		Essais de traction par flexion à 28 j : LOP et Résistances résiduelles à la traction par flexion – valeurs moyennes (MPa)				
	À 7 j	À 28 j	LOP (ou $f_{ct,t}$)	f_{R1}	f_{R2}	f_{R3}	f_{R4}
NOM 1	39,3	54,0	7,3	6,6	8,2	8,2	7,6
NOM 2	39,6	53,2	7,3	6,3	8,0	7,8	7,1
NOM 3	38,9	52,0	7,3	5,9	7,0	6,9	6,6
NOM TT (ép. sans TT)	41,3	53,3	/	/	/	/	/
NOM TT (ép. avec TT)	39,9	50,3	7,2	6,0	7,6	8,1	7,7
E+	31,4	42,5	6,0	5,6	7,1	7,5	7,2
E-	44,0	53,6	7,5	5,7	6,4	6,5	6,0
C+	40,7	51,1	7,2	5,8	7,3	7,5	7,1
C-	37,6	50,1	6,7	6,3	8,2	8,6	8,0
$\frac{S}{(S+G)}$ +	41,0	51,9	6,7	5,5	6,9	7,4	6,9
$\frac{S}{(S+G)}$ -	39,9	52,4	7,1	6,7	8,2	8,4	7,6
F+	42,5	58,2	7,6	7,1	8,0	7,5	7,0
F-	40,0	52,1	6,7	5,5	7,2	7,5	7,2

	Formule nominale sans TT (NOM1, NOM2, NOM3)	Formule nominale avec traitement thermique (TT) : NOMTT	E+	E-	C+	C-	$\frac{S}{(S+G)}$ +	$\frac{S}{(S+G)}$ -	F+	F-
Ciment - CEM III/B 42,5 N CE PM NF - Lafarge – usine de Martres (kg)	400	400	400	400	415	385	400	400	400	400
Sable - 0/4 mm SR - CEMEX - Salles S/Garonne (kg) (= « S »)	790	790	790	790	790	790	869,0	711	790	790
Gravillon - 4/16 mm RL - CEMEX - Salles S/Garonne (kg) (= « G1 »)	325	325	325	325	325	325	300,9	349,1	325	325
Gravillon - 11,2/22,4 RL - CEMEX - Salles S/Garonne (kg) (= « G2 »)	740	740	740	740	740	740	685,1	794,9	740	740
Fibres métalliques - DRAMIX 3D 80/60 BGP- BEKAERT (kg)	40	40	40	40	40	40	40	40	36	44
Fibres polypropylène - MTEC 12 (12 mm) - CHRYSO (kg)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Superplastifiant - TERA 490 - CHRYSO (kg)***	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
soit quantité de Superplastifiant - TERA 490 - CHRYSO (% _{ciment})***	0,50	0,50	0,50	0,50	0,48	0,52	0,50	0,50	0,50	0,50
Eau totale (litres)	166	166	173	159	166	157	166	166	166	166
Eau efficace (litres)	142	142	149	135	142	142	142	142	142	142
soit E_{em}/C	0,355	0,355	0,373	0,338	0,342	0,369	0,355	0,355	0,355	0,355
Rapport S / (S+G1+G2)****	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,468	0,383	0,426	0,426
Lot de ciment utilisé	Lot 1	Lot 2	Lot 2	Lot 2	Lot 1	Lot 2	Lot 2	Lot 2	Lot 2	Lot 1



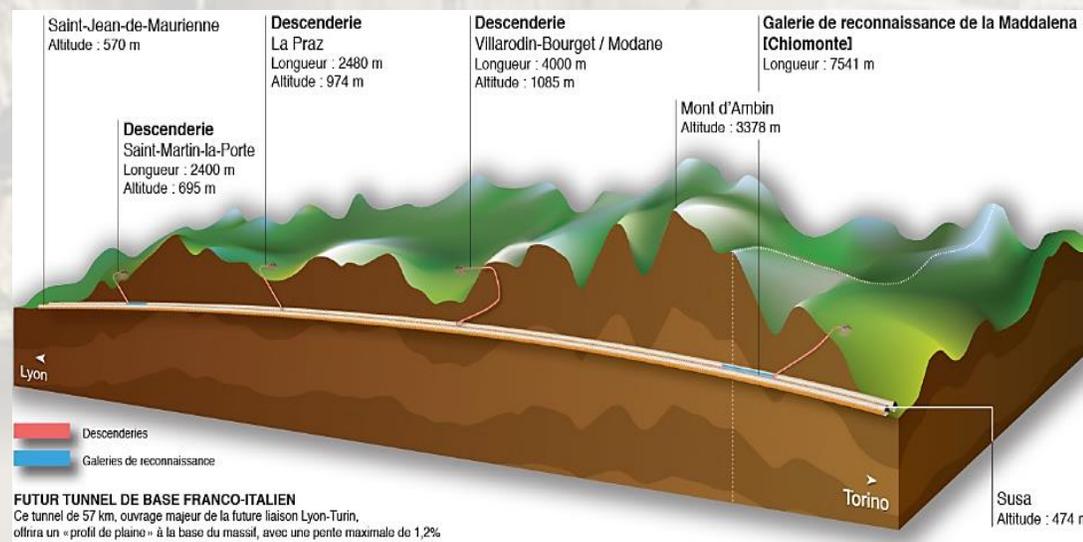
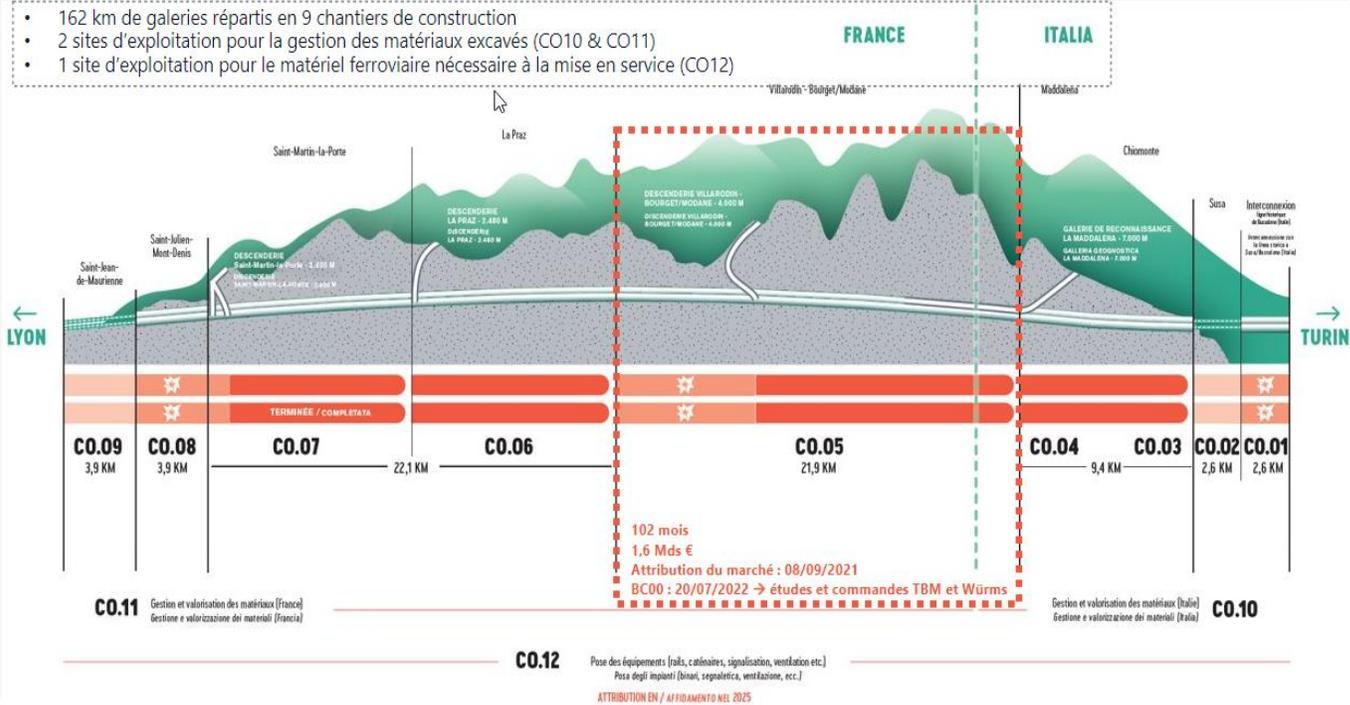
RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

TELT C05

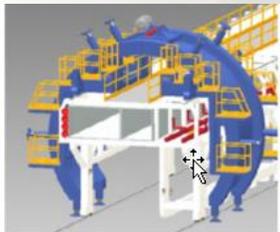
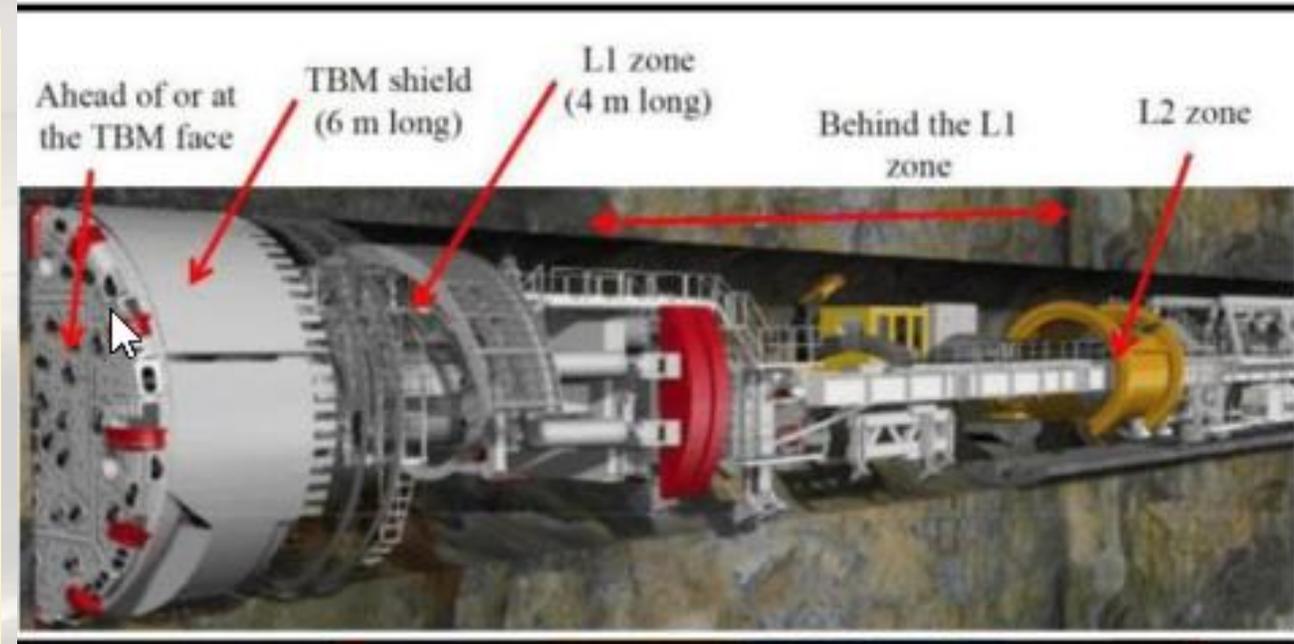


Lyon-Turin ferroviare : 162 km de galeries

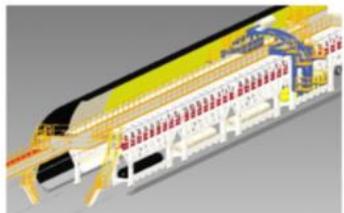
- 162 km de galeries répartis en 9 chantiers de construction
- 2 sites d'exploitation pour la gestion des matériaux excavés (CO10 & CO11)
- 1 site d'exploitation pour le matériel ferroviaire nécessaire à la mise en service (CO12)



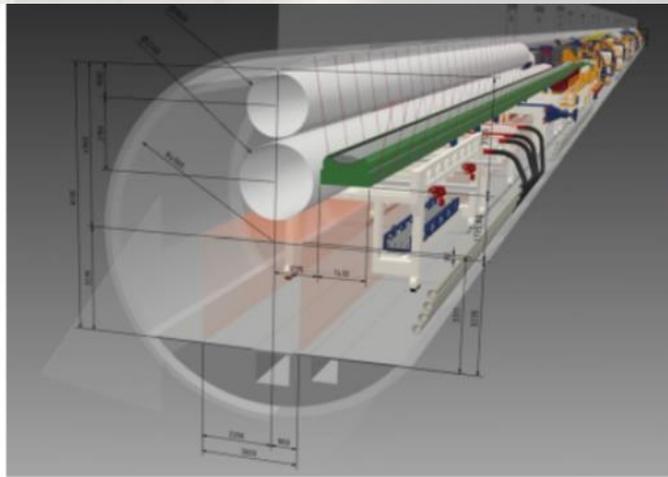
- 2 TBM con Gripper di diam. 10,40
- 2 camere di lancio
- 36 Km scavo meccanizzato
- 2 Wurm (650 mt ciascuno) per rivestimento secondario
- 14 km scavo tradizionale (90% l'esplosivo)
- 50 km di nastri trasportatori
- 11,5 milioni di Ton di roccia scavata
- Riutilizzo dei materiali di scavo



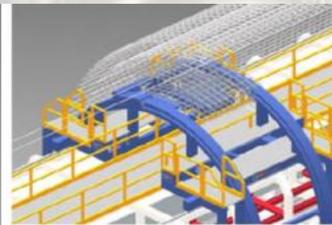
Portique de reprofilage



Portique d'étanchéité



Vue face avant du MSE



Atelier ferrailage route



Portique de cure



Coffrage a géométrie variable

- 1 800 persone al picco d'attività
- 1,8 milioni di m³ di CIs
- 2 200 mt di copertura
- 45° C previsti in galleria

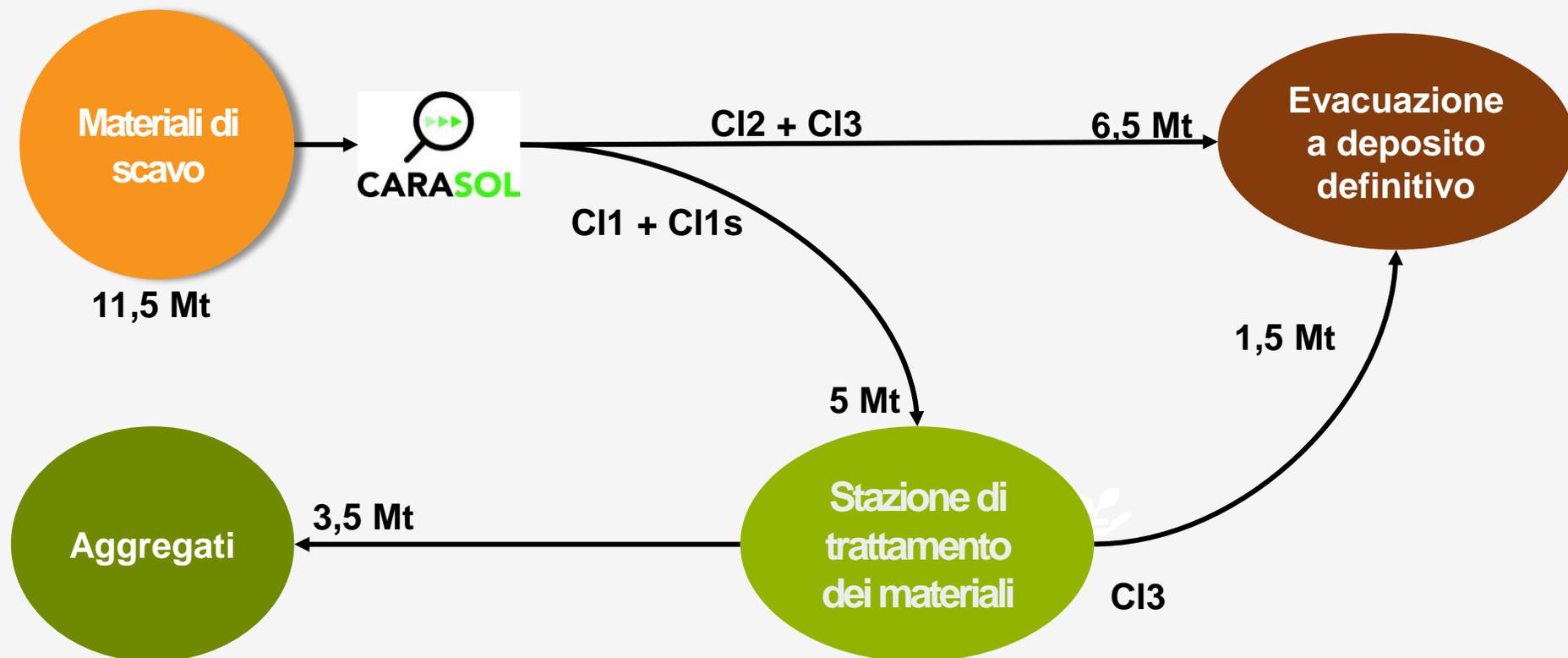
La scelta di riutilizzare materiali di scavo

Durante lo scavo vengono individuati 3 tipi di materiali

CL1 → valorizzabile per essere utilizzato come aggregato nel calcestruzzo **75%**

CL2 → Materiale per riempimenti e sottofondi **10%**

CL3 → Discarica definitiva **15%**



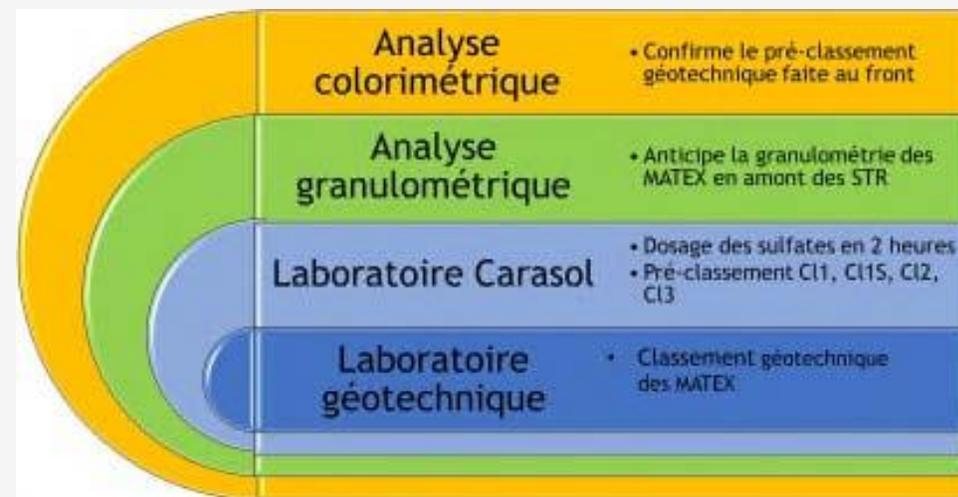
Analisi dei Materiali e Impatto Ecologico

Del **75%** dei materiali **Cl1**, il **57%** sono valorizzabili come aggregati per CLS ma il **18% Cl1S** (solfati) non é considerato utilizzabile in quanto rischia di causare un rigonfiamento nel tempo del CLS.

Il **Laboratorio Carasol** permette di classificare i materiali quasi in tempo reale; é stato accreditato dal comitato francese secondo la norma **17.025** tramite i criteri di **imparzialità, competenza e validità dei risultati**

Sono previsti di essere installati:

- 2 laboratori : uno su ciascuna TBM
- 1 laboratorio per lo scavo tradizionale



RIUTILIZZAZIONE DEI MATERIALI DI SCAVO

**150 000 Trasporti di camion in –
riduzione di emissione di CO2**

Utilizzo di aggregati con solfati

Il capitolato prevede una produzione di aggregati a partire da materiali con solfati

SO_3 : 0,2% et < 4%

Obiettivo : ottenere dei CLS durabili rispetto alla RSI (Reazione Solfatica Interne) et TSA (Thaumasite Solfatico Attacco) utilizzando degli aggregati con fino a 4% de SO_3

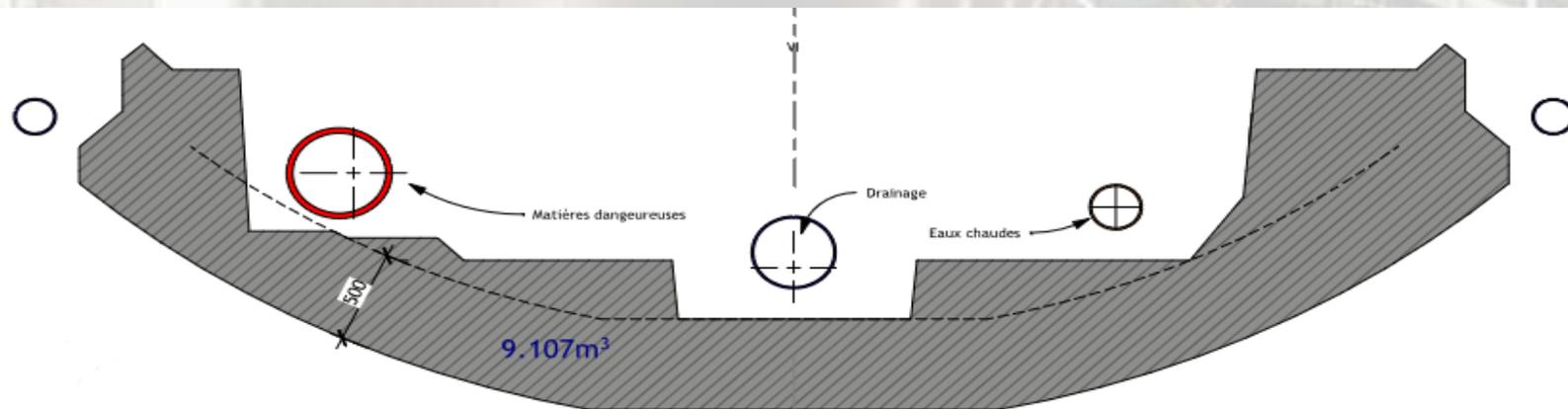
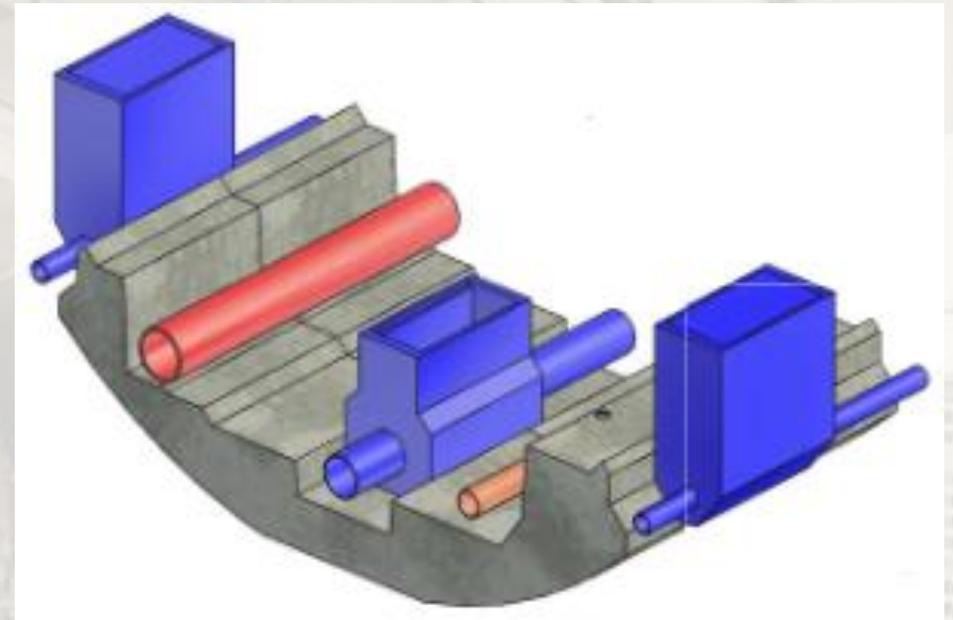
L'utilizzo di aggregati solfatici (CLIs) prevede uno studio preliminare.

Le provette di calcestruzzo sono sottoposte alla prova dopo 3 mesi di cura.

La durata della prova è di 12 mesi e può essere estesa a 18 mesi in base ai risultati ottenuti alla scadenza di 12 mesi

Radier Prefabbricato:

	U	Total
Lunghezza dello scavo	ml	36 000
Lunghezza del radier Prefabbricato	ml	1,80
Numero di radier		20 000
Volume di un radier	m ³	9
Volume Totale Calcestruzzo	m ³	180 000
Tasso medio di armatura	kg/m ³	65
Total Armatura	T	11 700



**1 Radier
22,5 Ton**

L'impianto di prefabbricazione

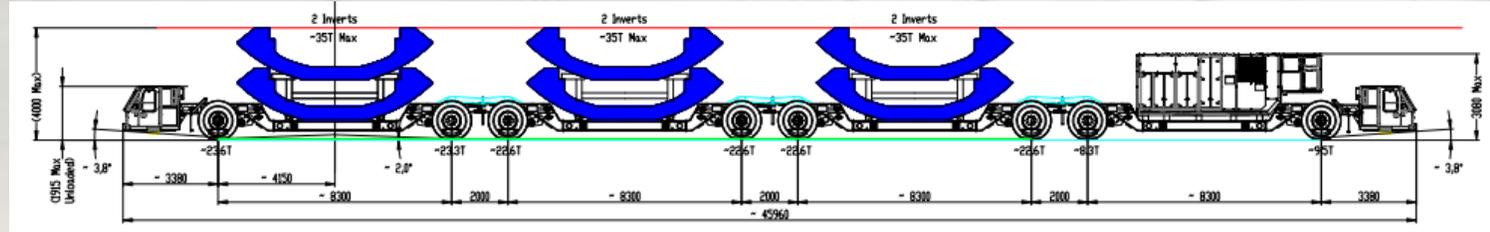
- Fabbrica di 3 600 m²
- Area di stoccaggio di 24 000 m²
- Situato a Modane (1 km dal cantiere)



- Impianto di betonaggio in situ
- Area dedicata all'assemblaggio delle gabbie d'armature
- Inserzione personale locale

PRODUZIONE

- Durata: 5 anni
- Produzione di 180 m³ giorno
- Lavoro 5 giorni su 7 su 2 posti
- Personale previsto 60 persone



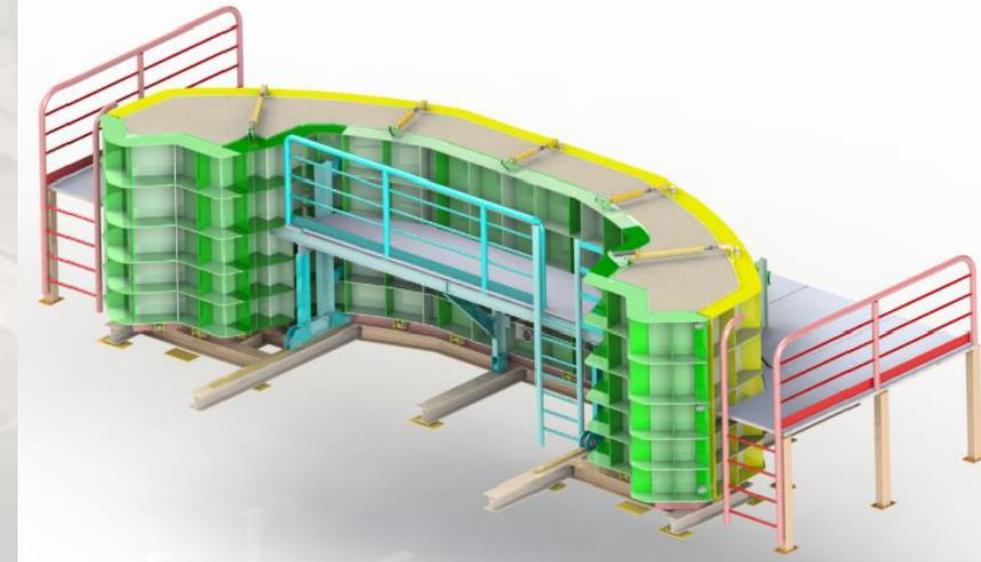
LOGISTICA

- Nr 1 Gru a torre 50 Ton
- Nr 2 Carrelli elevatori 40 Ton
- Trasporto in cantiere direttamente su TSP

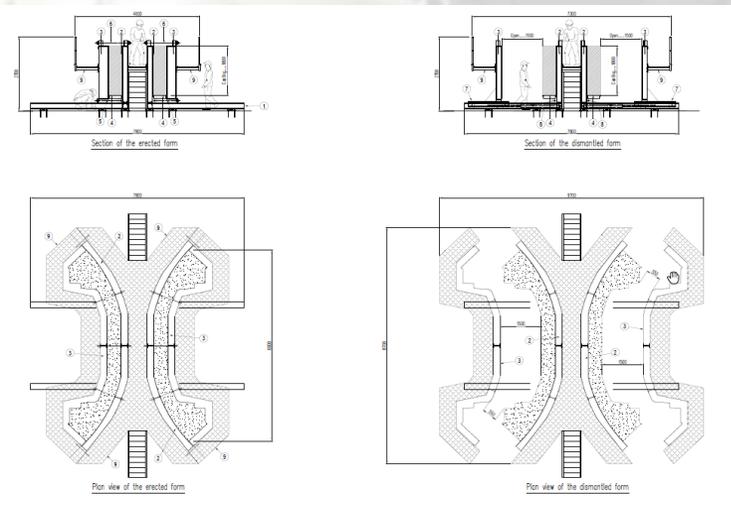


CASSERI

Nr 20 casseri fissi (no carosello)



Getto sul lato del Radier

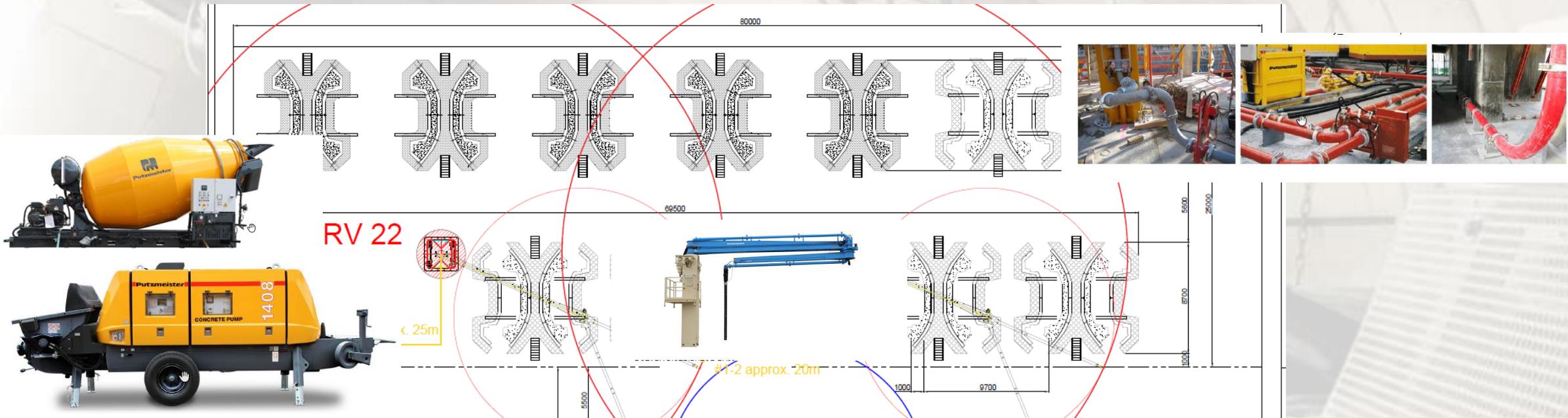


Scassero tramite
carroponte da 40 ton

Trattamento termico con serpentine integrate alle sponde del cassero

DISTRIBUZIONE DEL CALCESTRUZZO

Utilizzo di un CLS fluido S5 pompabile



Visto l'impossibilità di utilizzare un carosello a causa di una geometria differente rispetto ai conci classici e al peso molto elevato dei manufatti, si è cercato di trovare soluzioni volte a agevolare il ciclo produttivo e il benessere degli operatori evitando lisciature molto impegnative e studiando casseri altamenti performanti

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**