

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Ordine degli Ingegneri
della Provincia
di Roma



Convegno:

Ricerca e Innovazione per lo sviluppo di opere di ingegneria in sotterraneo

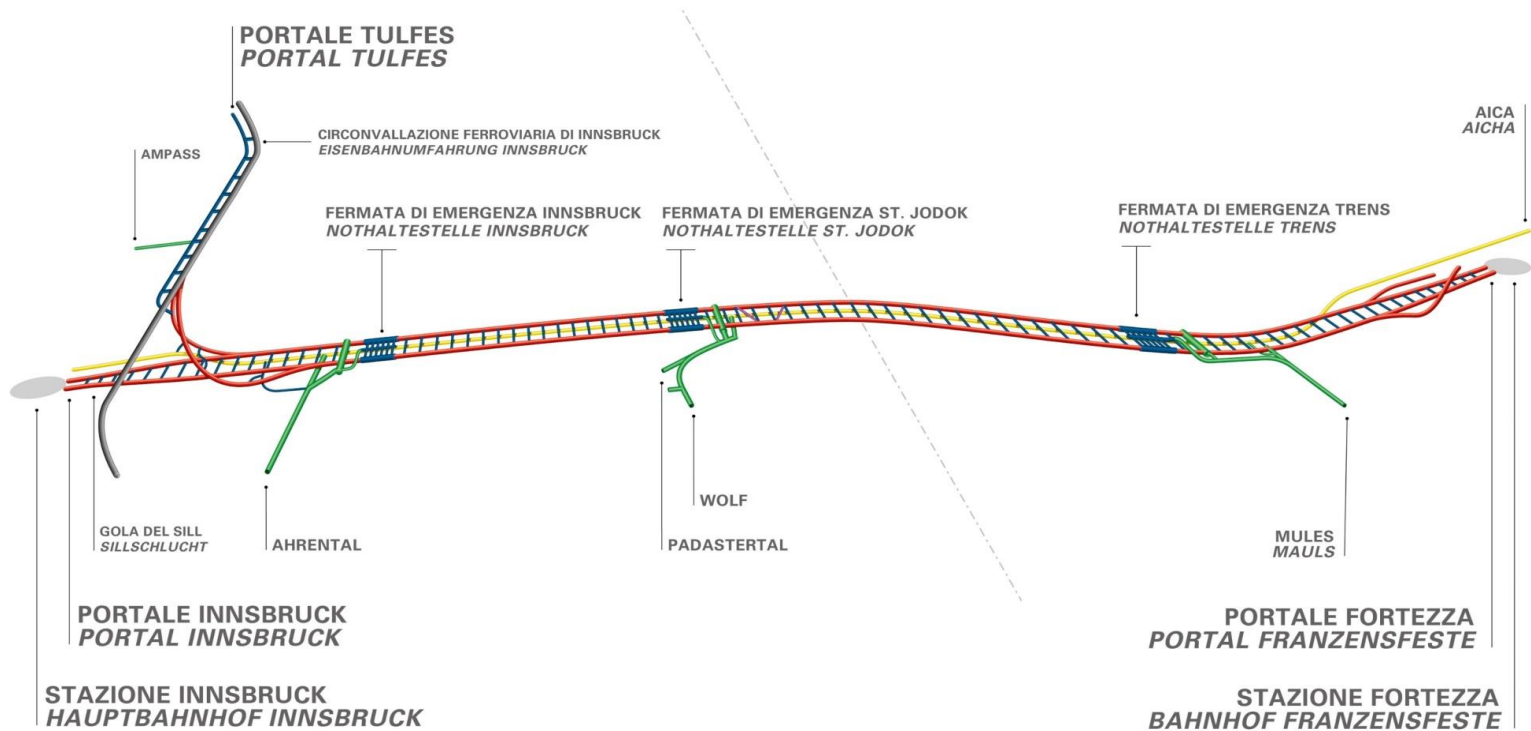
Roma, 29 febbraio 2024 - Aula del Chiostro - San Pietro in Vincoli - Via Eudossiana 18, Roma



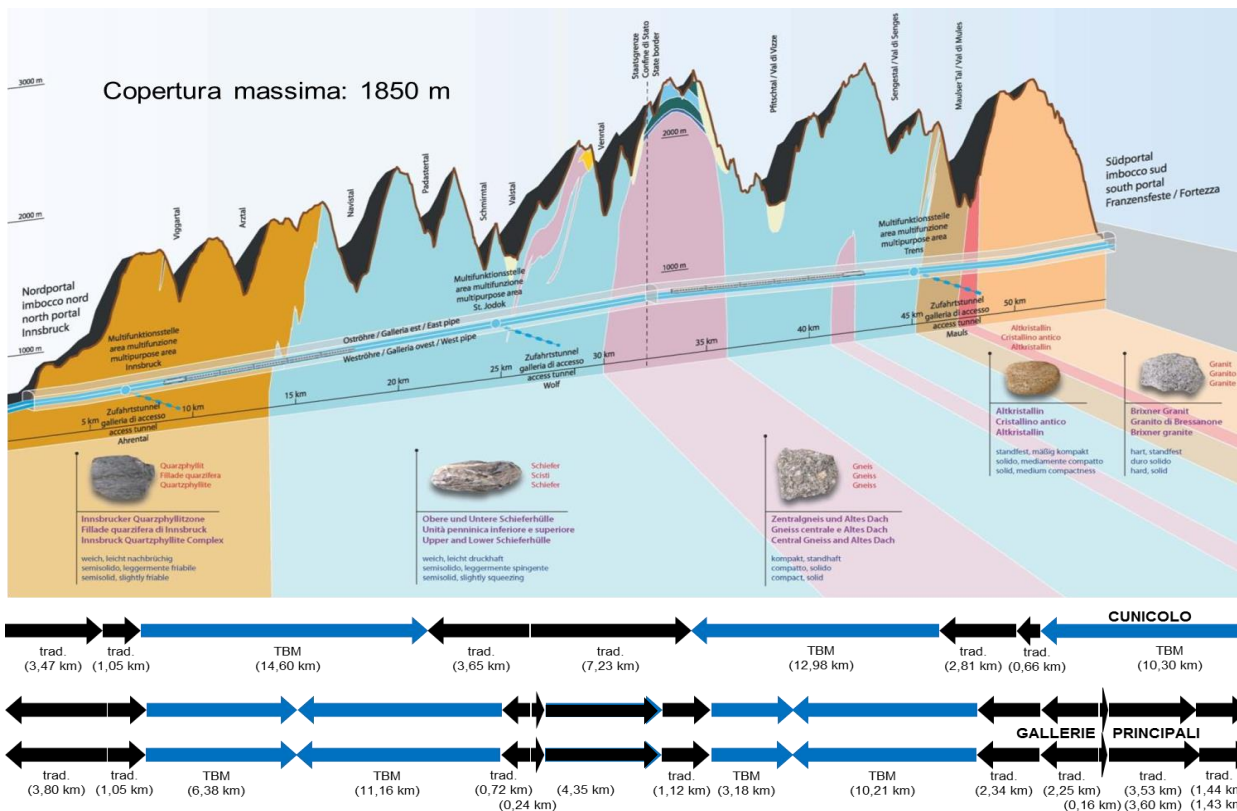
Ing. D. Marini
BBT

*La Galleria di Base del Brennero: dalla progettazione al Tunnel
Information Modeling*

Galleria di Base del Brennero La Progettazione



Scelta del metodo di scavo



Durabilità dell'opera

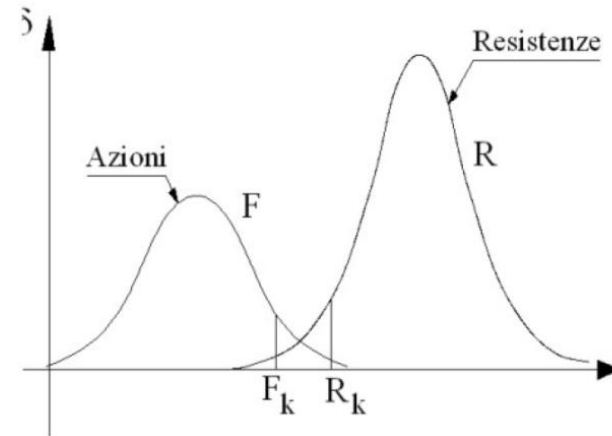
*I coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze sono stati, quindi, stimati secondo il principio semiprobabilistico di accadimento, prolungando la **durabilità** della struttura a **200 anni**.*

Calcestruzzo armato

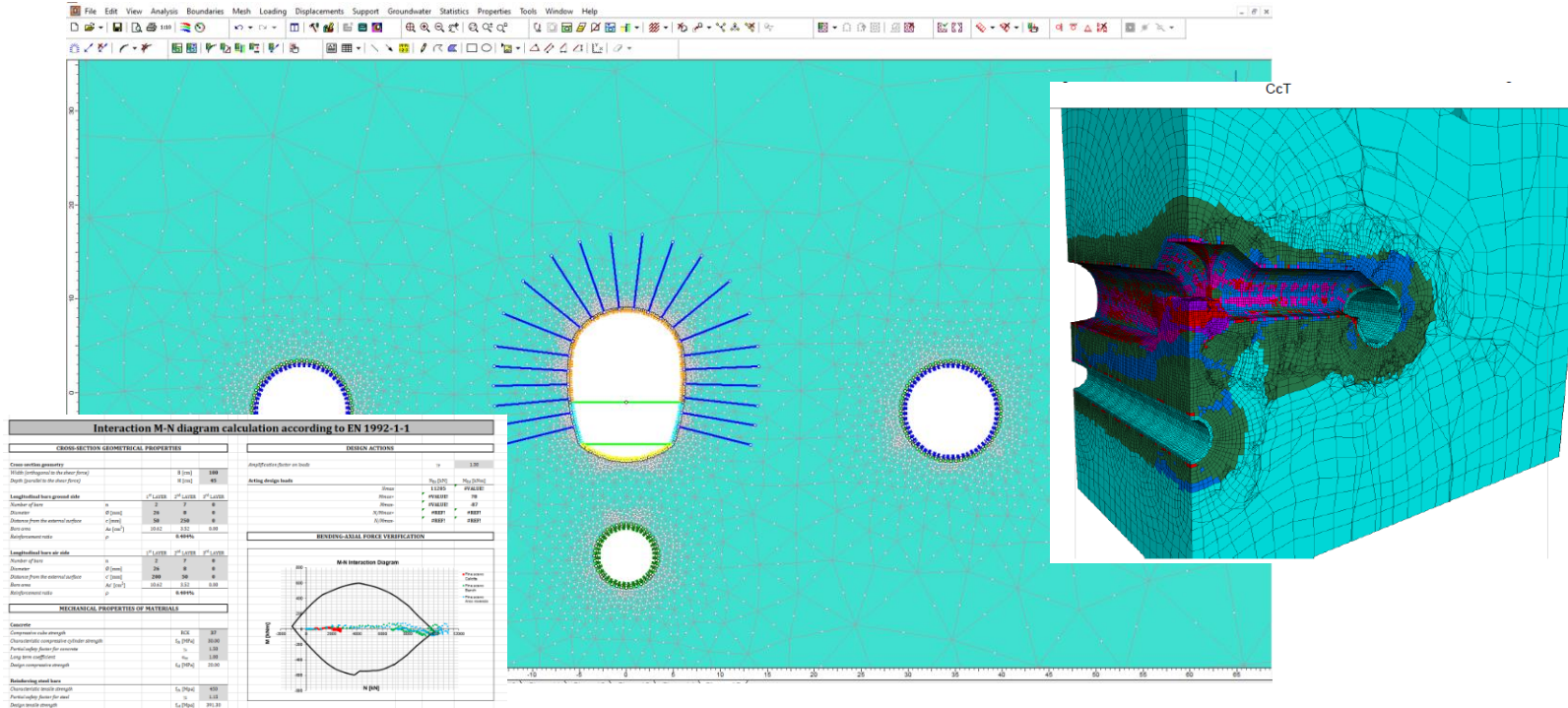
- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo $\gamma_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione del calcestruzzo di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0,85$
- Coefficiente parziale di sicurezza g_s per la resistenza dell'acciaio $\gamma_s = 1,20$

Calcestruzzo non armato

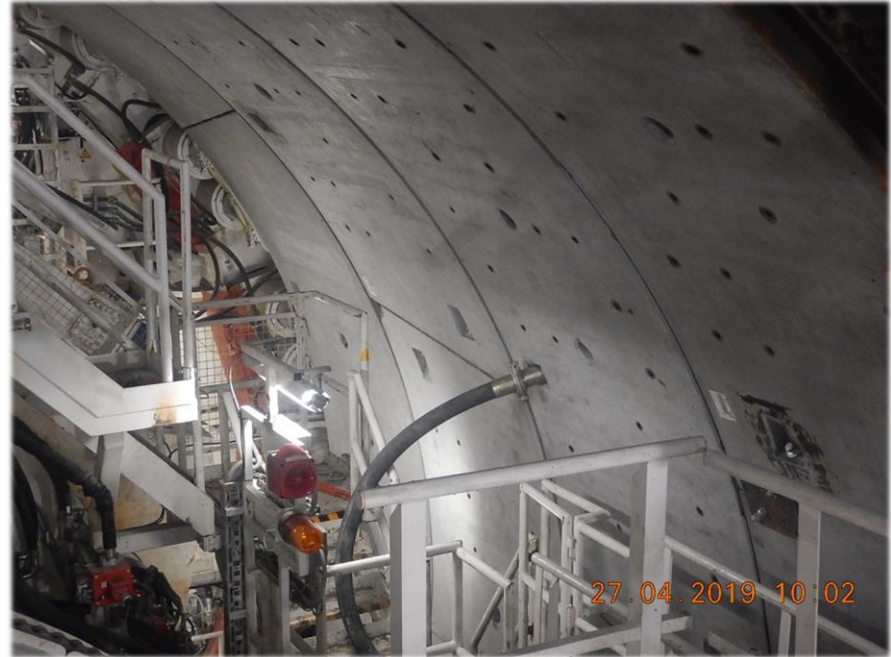
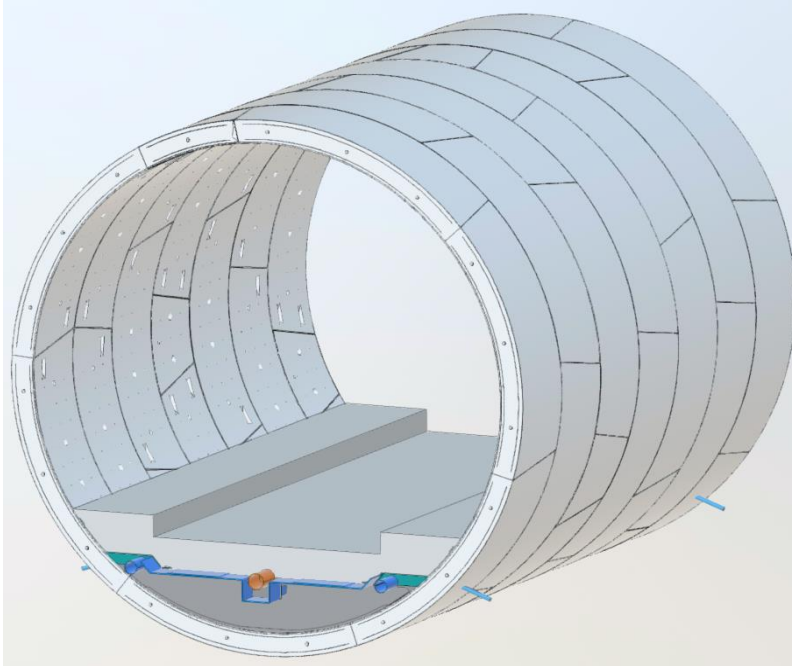
- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo $\gamma_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione del calcestruzzo di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0,80$



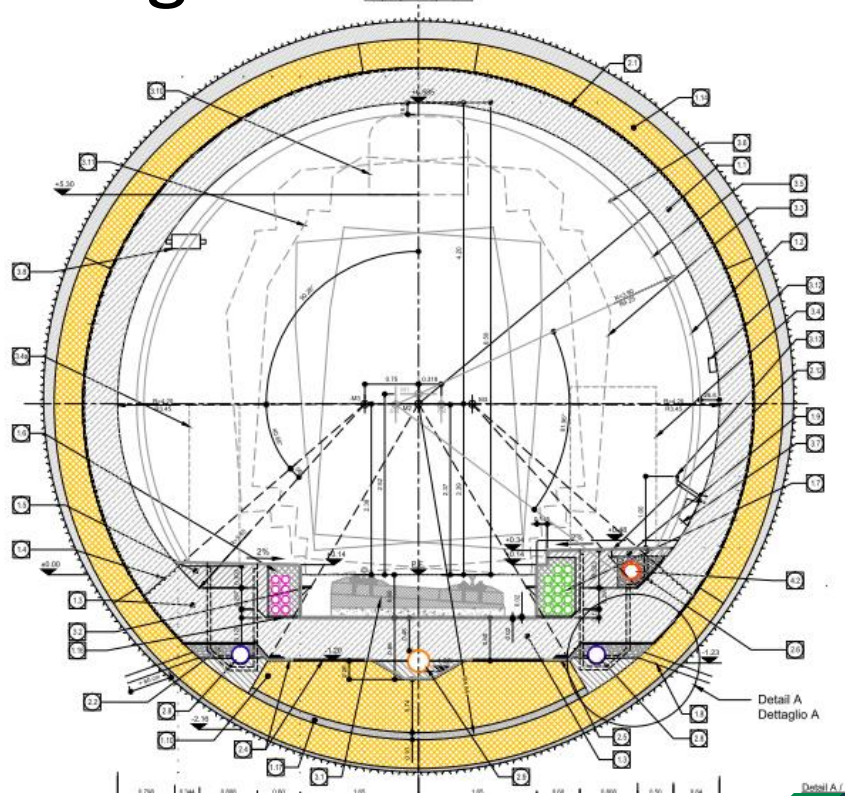
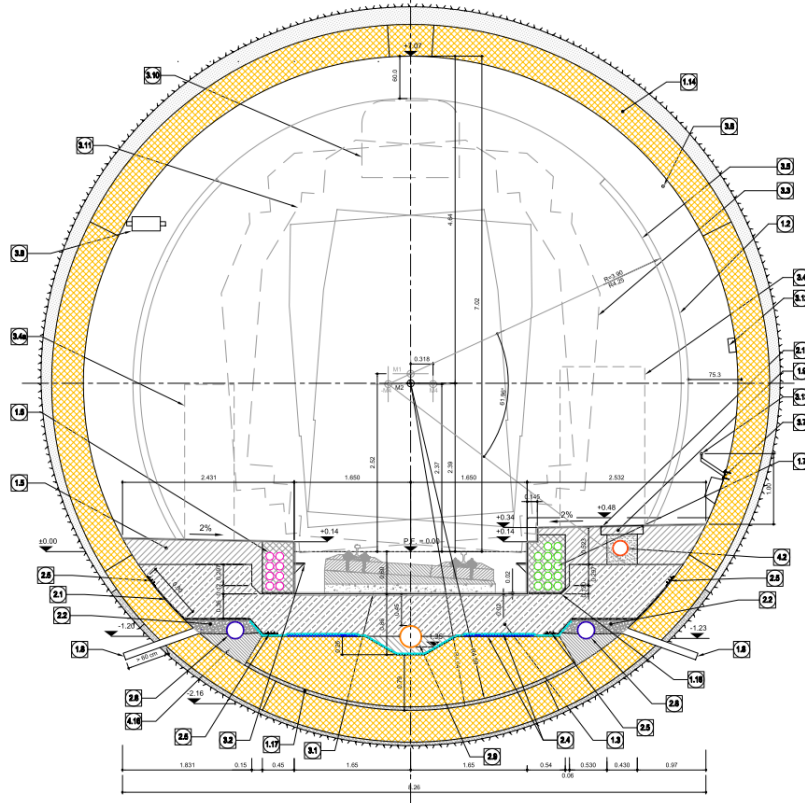
Modellazione ad elementi finiti



Rivestimento a conci delle gallerie di linea



Rivestimento a conci delle gallerie di linea



Scavo meccanizzato: scelta della TBM



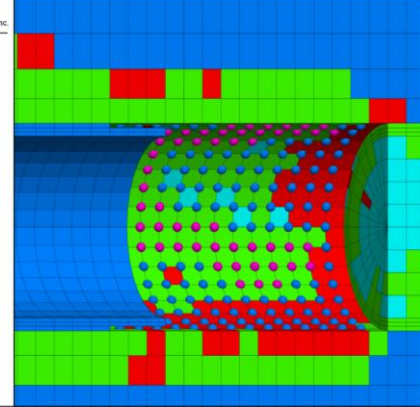
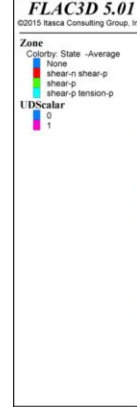
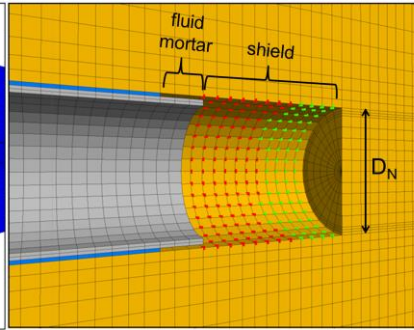
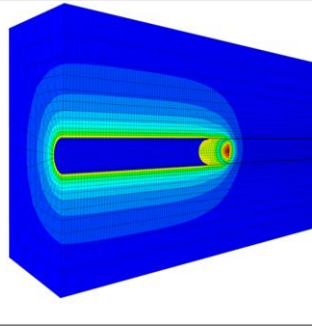
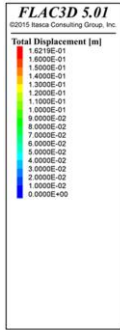
Lotto 61: TBM a doppio scudo S-1072 Virginia



Lotto 41: TBM Monoscudo Lilia



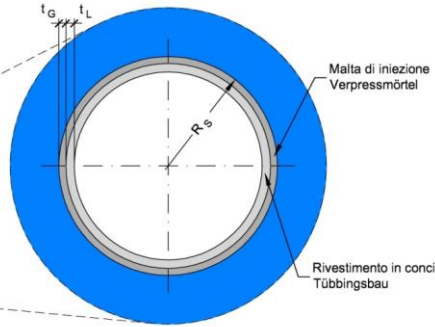
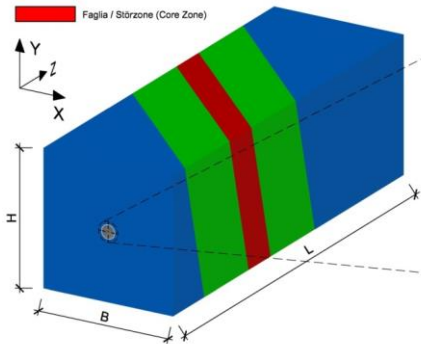
Scavo meccanizzato: simulazioni numeriche



Legenda / Legende:

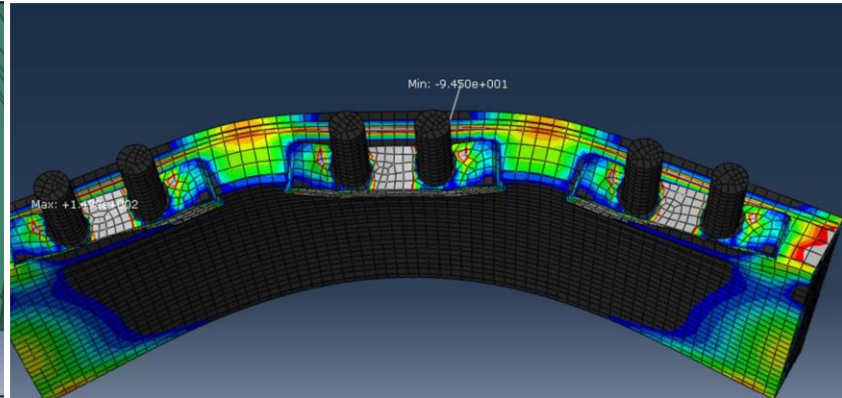
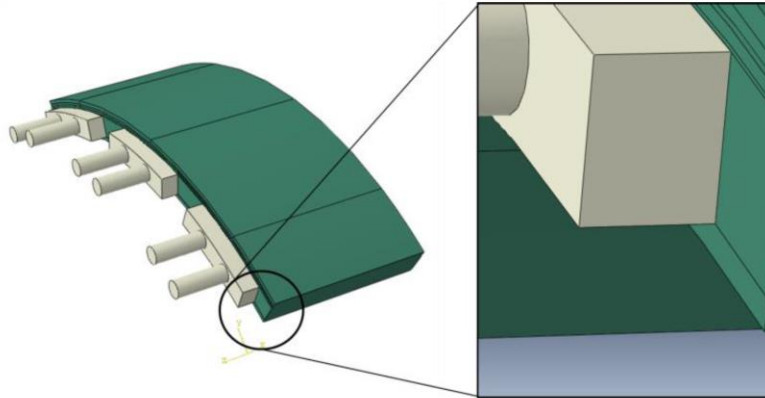
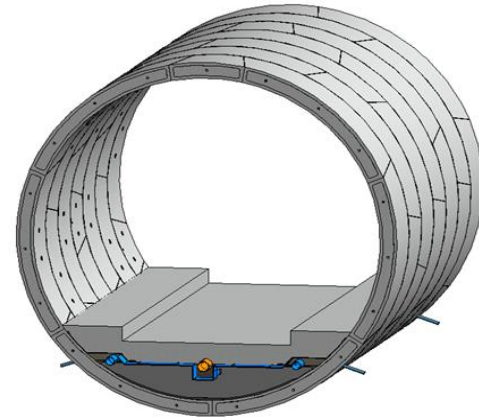
- Ammasso roccioso / Gebirge
- Faglia / Störzone (Damaged Zone)
- Faglia / Störzone (Core Zone)

Vista 3D
3D Ansicht



Conci prefabbricati

L'anello delle Gallerie di Linea, di tipo universale, è costituito da 6 conci ordinari più 1 chiave in Italia e da 6 conci ordinari in Austria; la lunghezza nel senso longitudinale dei conci varia da 1.75 m a 1.95 m e lo spessore da 40 cm a 45 cm.

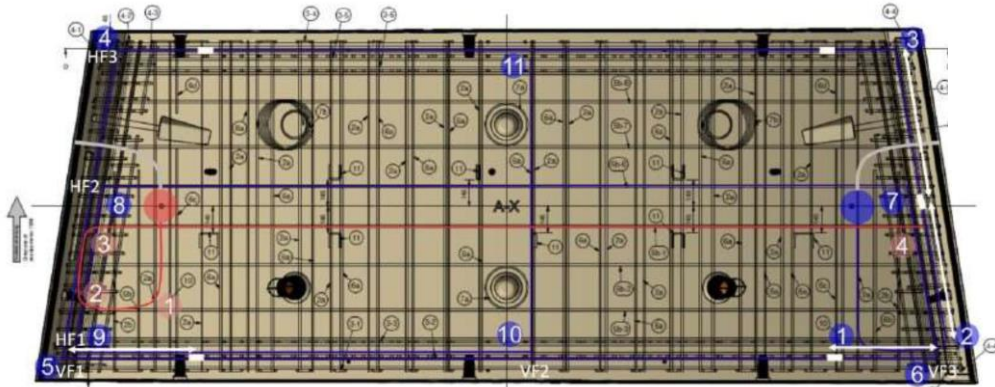


Conci prefabbricati: rinforzo angolare in vetroresina

Per i conci che assolvono la funzione di rivestimento singolo, in corrispondenza degli spigoli, viene applicato su tratte un rinforzo angolare in vetroresina

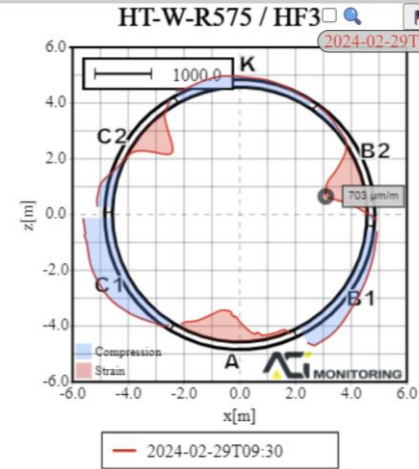


Conci prefabbricati: Monitoraggio a fibra ottica



HT-W-R575 / HF3

THU 29 FEB 2024 09 :30



Tunnel Information Modeling

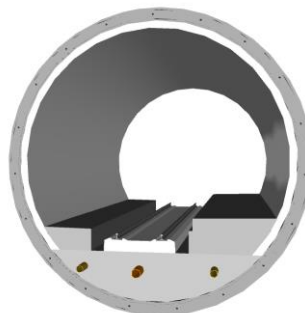
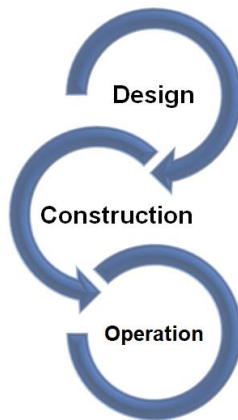
LIFE CYCLE BIM

→ modellazione digitale del ciclo di vita della Galleria di Base del Brennero

L
i
f
e

C
y
c
l
e

B
I
M



→ Fase di esercizio



Livello di fabbisogno informativo

INFORMATION MANAGEMENT

Norme di riferimento:

- UNI EN ISO 19650:2019
- UNI 11337
- UNI EN 17412-1:2021

→ INDIVIDUAZIONE DEGLI SCOPI

1. Dettaglio geometrico
2. Set informativo
3. Set documentale

Set documentale:

- RICHIESTE DI MODIFICA TECNICA
- NON CONFORMITÀ

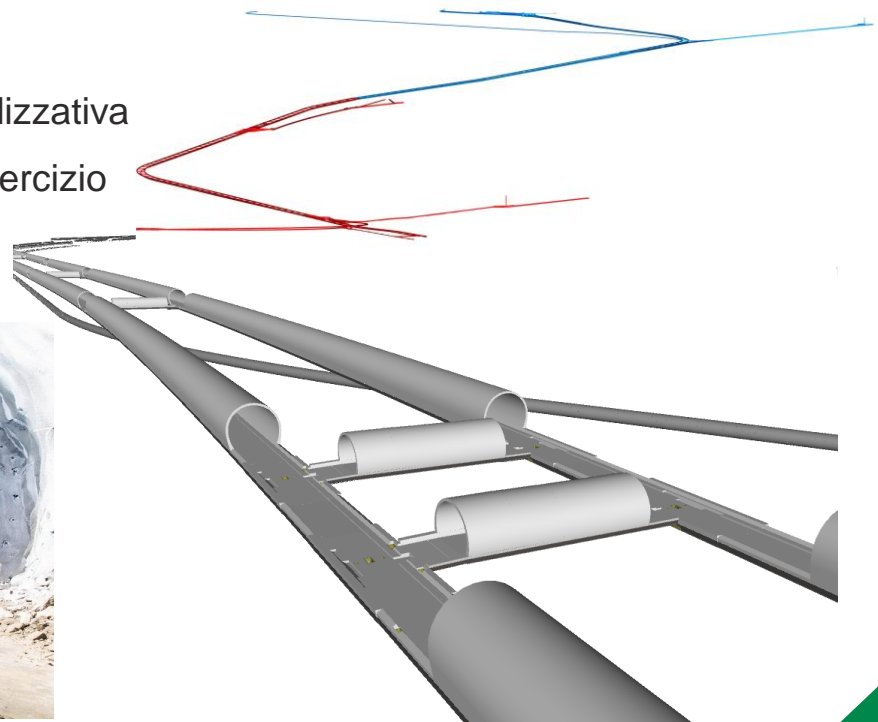
- RILIEVI DEL FRONTE
- BARRETTE ESTENSIMETRICHE
- CELLE DI CARICO
- CHIODI STRUMENTATI
- CONVERGENZE
- PERFORAZIONI IN AVANZAMENTO



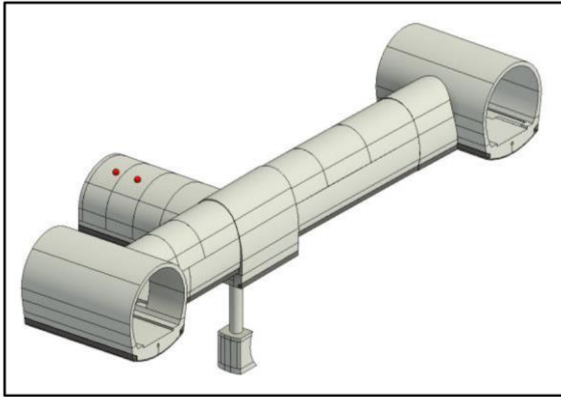
Tunnel Information Modeling

SCOPO

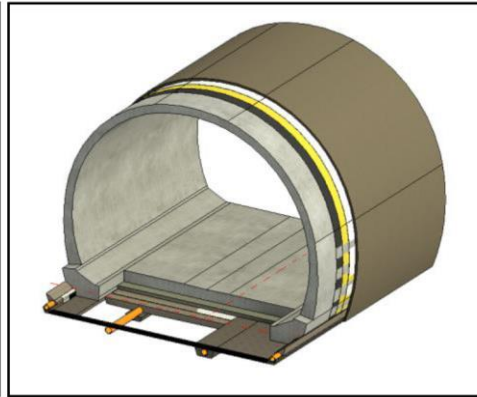
- Project Information Model per la fase realizzativa
- Asset Information Model per la fase in esercizio



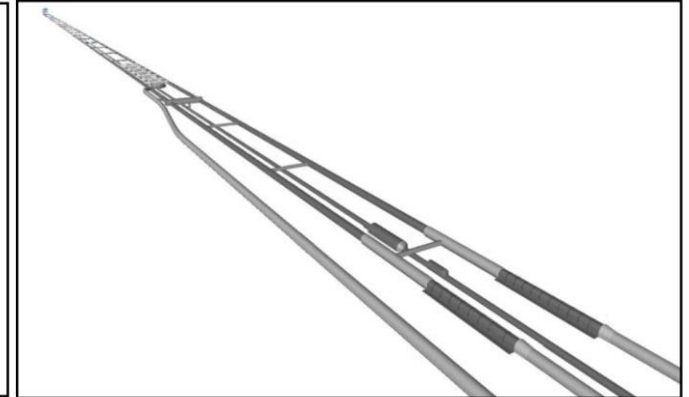
Modelli BIM



Modello globale



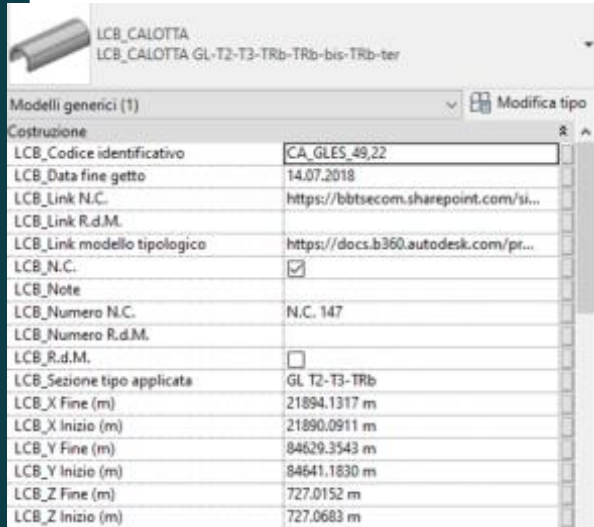
Modello tipologico



Modello federato



Metodologia BIM – tratte in tradizionale

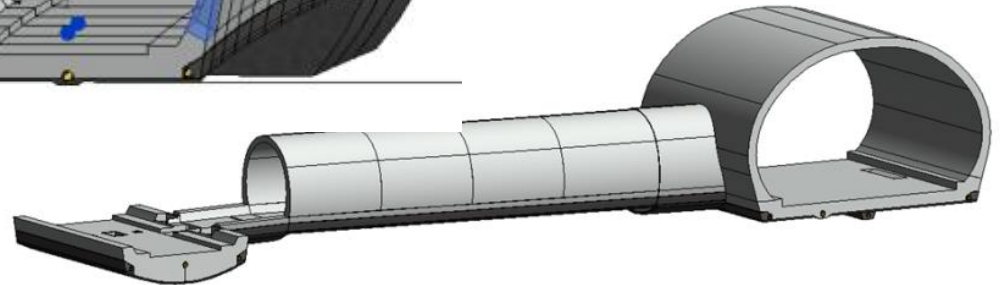
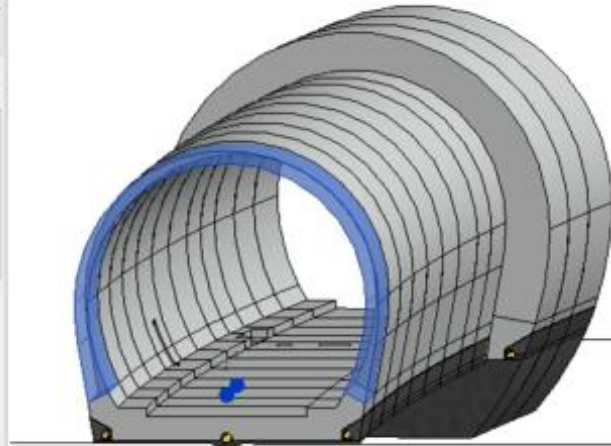


LCB_CALOTTA
LCB_CALOTTA GL-T2-T3-TRb-TRb-bis-TRb-ter

Modelli generici (1) Modifica tipo

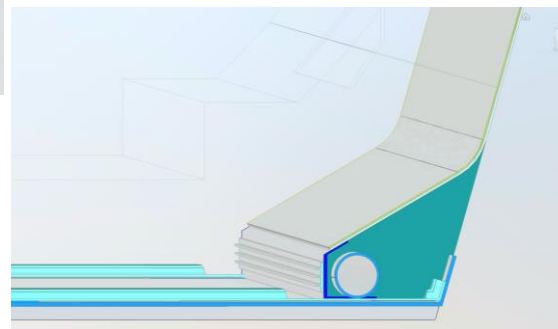
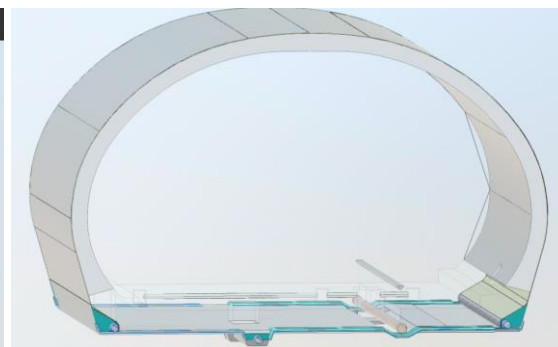
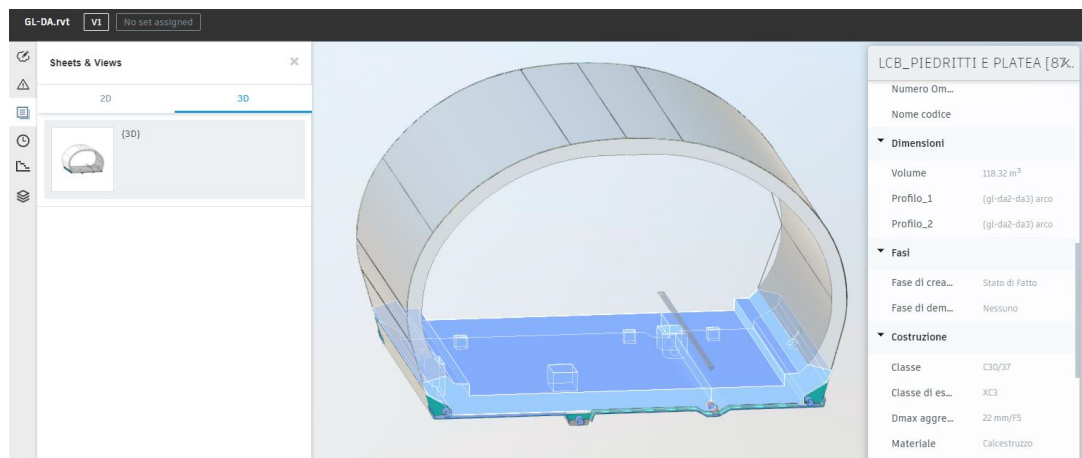
Costruzione

LCB_Codice identificativo	CA_GLES_49,22
LCB_Data fine getto	14.07.2018
LCB_Link N.C.	https://bbtsecom.sharepoint.com/si...
LCB_Link R.d.M.	
LCB_Link modello tipologico	https://docs.b360.autodesk.com/pr...
LCB_N.C.	<input checked="" type="checkbox"/>
LCB_Note	
LCB_Numero N.C.	N.C. 147
LCB_Numero R.d.M.	
LCB_R.d.M.	<input type="checkbox"/>
LCB_Sezione tipo applicata	GL T2- T3- TRb
LCB_X Fine (m)	21894.1317 m
LCB_X Inizio (m)	21890.0911 m
LCB_Y Fine (m)	84629.3543 m
LCB_Y Inizio (m)	84641.1830 m
LCB_Z Fine (m)	727.0152 m
LCB_Z Inizio (m)	727.0683 m



Scavo in tradizionale

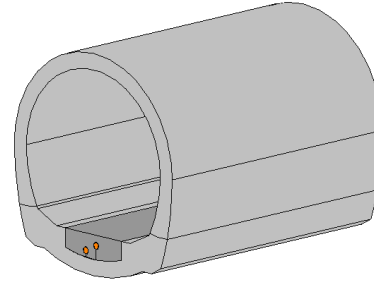
→ SEZIONE TIPOLOGICA DA PED



Dati chiave per modelli as-built per tratti scavati in tradizionale

Dati chiave per il modello informativo:

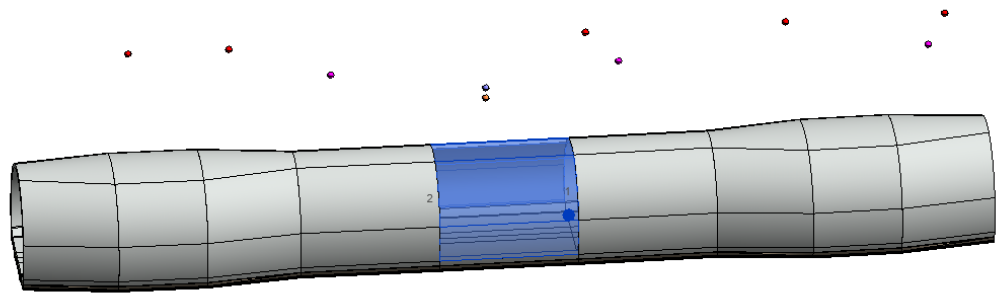
- **date di getto** per tratte di scavo in tradizionale
- **lunghezze effettive di getto** con progressive chilometriche
- **date di installazione** conci di anelli TBM per tratte di scavo in meccanizzato e **PK**
- **georeferenziazione** delle opere



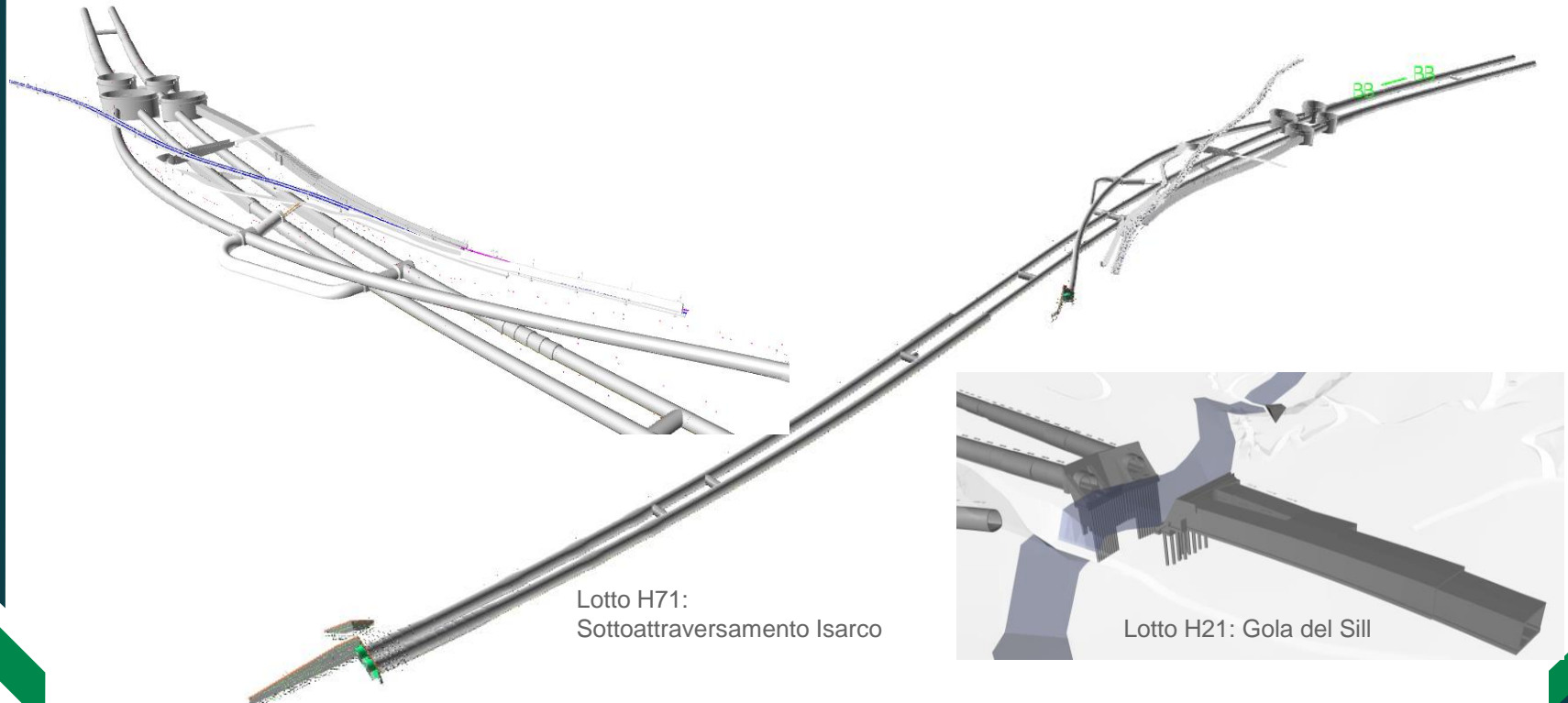
Aggiornamento geometrico

Tracciamento galleria

Posizione e lunghezza calotte



Diverse metodologie di scavo: Tratto Sottoattraversamento Isarco e zona della Gola del Sill

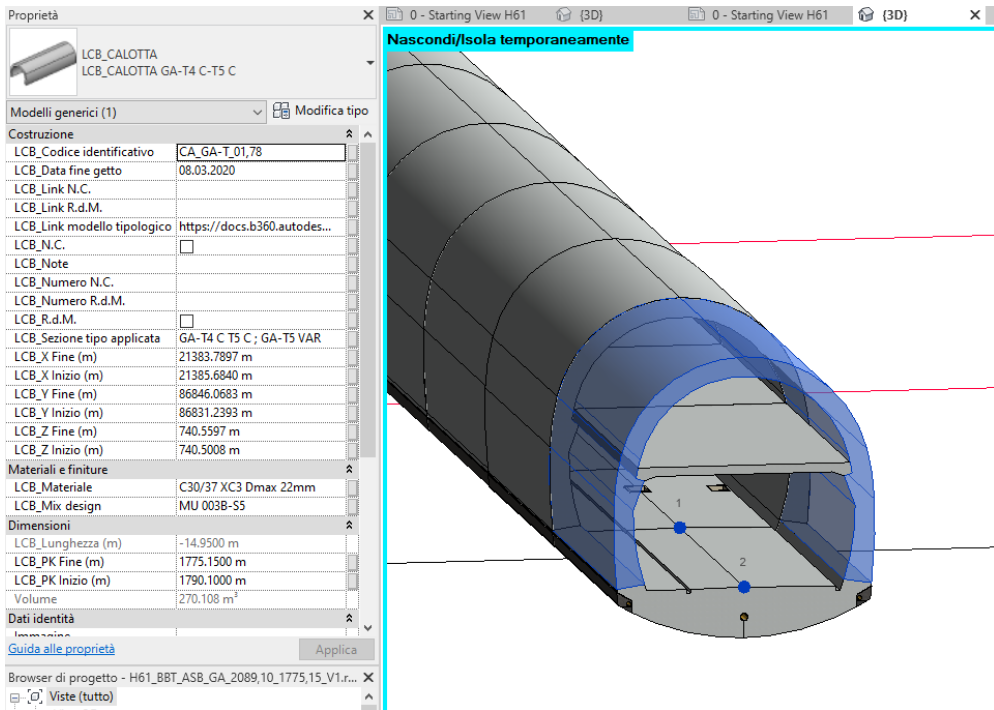


Lotto H71:
Sottoattraversamento Isarco

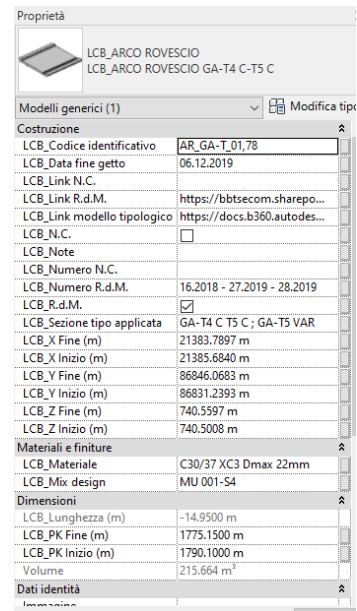
Lotto H21: Gola del Sill




Scavo in tradizionale: Modellazione as-built


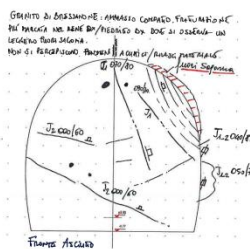


SET INFORMATIVO



Scavo in tradizionale: Rilievo del fronte

		Galleria di Accesso Trens GA -T / Avanz. contr. 1	Zugangstunnel Trens GA-T / Gegenvortrieb 1	DL / ÖBA
Documentazione geologica Relazione rilievo		Baugelogeische Dokumentation Abschlagsbericht		
N° Documento / Dokumentnr.: Progressiva / Station m: 406,82 Riliev. n° / Aufnahme Nr.: 112 Data / Datum: 31.05.2017 Ora / Zeit: 07:30 Operatore / Bearbeiter: Toro				
Progress. prog. / Proj. km: 3398,70 Tipo avanz. / Vortriebsart: Esplosivo/Sprengen		Lunghezza / Abtschlagsl.: 3,00 [m] Sez. tipo / Regelprofil: GA-T2-T3-TRb		Copertura / Überlag.: 936,0 [m]
Descrizione litologia / Gesteinsbeschreibung: Granito di Bressanone				
Descrizione ammasso roccioso / Gebirgsbeschreibung: Ammasso granitico compatto con sporadici xenoliti ed una zona alterata in corrispondenza del rene destro, dove si osserva un leggero sovrascavo.				
Condizioni idriche / Bergwasser: Ammasso asciutto.				
Comport. dell'ammasso roccioso - stabilità / Gebirgsverhalten - Standfestigkeit: Ammasso stabile. Non si percepiscono fenomeni acustici e non si osservano rilasci durante il rilievo.				
Rischio potenziale - Potenzielles Risiko: Con rif. alla SRP n.13-Rock burst, alla luce del livello di rischio da basso a moderato ad oggi riscontrato, si ritiene che i provvedimenti di attenuazione adottati siano adeguati e sufficienti.				
Descrizione di discontinuità / Beschreibung von Trennflächen: Presenza di due set di discontinuità principali: - J1_1 immergente a ENE con inclinazione alta, ad alta persistenza e media spaziatura, è in parte caratterizzata da una debole alterazione in clorite. - J1_2 immergente a NE con inclinazione media, ad alta persistenza e bassa spaziatura, mediamente alterato. Presenza di un ulteriore set subordinato a media persistenza (J2).				

		Galleria di Accesso Trens GA -T / Avanz. contr. 1		Zugangstunnel Trens GA-T / Gegenvortrieb 1	
Documentazione geologica Relazione rilievo		Baugelogeische Dokumentation Abschlagsbericht			
N° Documento / Dokumentnr.: Progressiva / Station m: 406,82 Riliev. n° / Aufnahme Nr.: 112 Data / Datum: 31.05.2017 Ora / Zeit: 07:30 Operatore / Bearbeiter: Toro		Tipo avanz. / Vortriebsart: Esplosivo/Sprengen Lunghezza / Abtschlagsl.: 3,00 [m]		Sez. tipo / Regelprofil: GA-T2-T3-TRb	
Direzione / Richtung T3-357					
Descrizione di discontinuità / Beschreibung von Trennflächen: Nel tunnel sul lato destro / Rechts im Tunnel ist ein Bereich mit einem leichten Übergraben. Zwei Discontinuitäten sind zu beobachten: - J1_1 immergent / einfallend - J1_2 immergent / einfallend - J2 subparallel / subparallel					
					

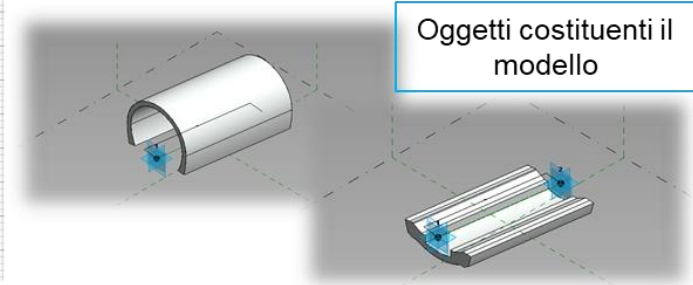
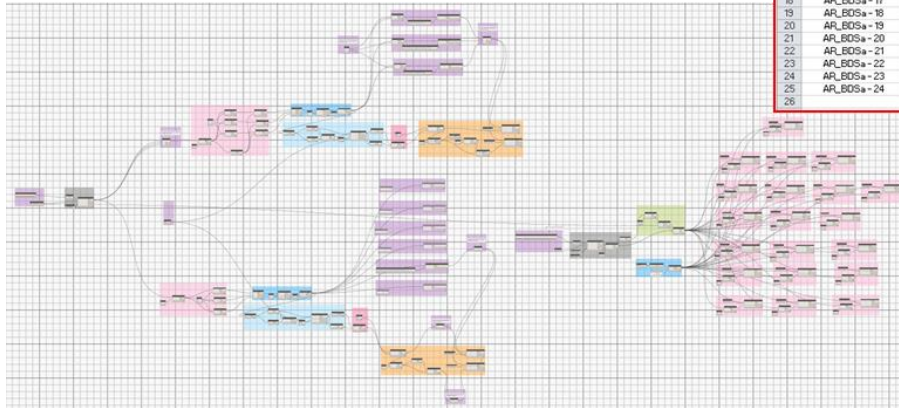


Classificazione / Klassifizierung RMR					
Parameter/Parameter	Range dei valori / Wertebereich				
Resistenza roccia	Point load test	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa
Gesteinsfestigkeit	UCS	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa
		15	7	4	2
RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%
		20	17	13	8
Spaz.disc./Tr. abst.		> 2 m	0,6 - 2 m	200-600 mm	60-200 mm
		20	15	10	8
Condizione delle discontinuità / Trennflächeneigenschaften	Persistenza	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m
	Durchgängigk.	6	4	2	1
	Apertura	serrata / keine	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm
	Öffnung	6	5	4	1
	Scabrezza	mo.rug. / s.rauh	Rugoso / rauh	po.rug./wenig r.	Liscia / glatt
	Rauhgigkeit	6	5	3	1
Riempimento	assente / keine	duro/hart<5mm	duro/hart-5mm	plast./weich<5	
Füllung	6	4	2	2	
Alterazione	assent./unverw.	scarsa/schwa.	moder./mäßig	elavata / stark	
Verwitterung	6	5	3	1	
Acqua / Wasser	Co.gen./Allg.B.	assente/trock.	umido/feucht	bagnato/nass	sillicidi/tropf.
	Q 10m Gal./Tun.	0 l/min	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min
		15	10	7	4
Orient.giunt.-gall. / Orient.Klüfte-Tunn.		molto favorev. /	favorevole /	discreta /	sfavorevole /
		sehr begünst.	begünstigend	mäßig	ungünstig
		0	-2	-5	-10
RMR - Indice / Index:					73
Classe amm. rocc. / Gebirgsklasse:					II



Scavo in tradizionale: programmazione

	A	B	C	D	E	F	G	H
	00_LCB_Codice identificativo "ARCO"	01_LCB_Codice identificativo "CALOTTA"	02_LCB_WBS	NUMERO BLOCCO	04_LCB_PK Inizio (m)	05_LCB_X Inizio (m)	06_LCB_Y Inizio (m)	07_LCB_Z Inizio (m)
1								
2	AR_BDSa-1	CA_BDSa-1	GN-BDSA	BDSa-1	54700,77	24828,32	80022,71	758,31
3	AR_BDSa-2	CA_BDSa-2	GN-BDSA	BDSa-2	54704,00	24830,35	80020,19	758,28
4	AR_BDSa-3	CA_BDSa-3	GN-BDSA	BDSa-3	54713,00	24836,60	80013,19	758,22
5	AR_BDSa-4	CA_BDSa-4	GN-BDSA	BDSa-4	54725,50	24844,50	80003,50	758,12
6	AR_BDSa-5	CA_BDSa-5	GN-BDSA	BDSa-5	54738,00	24852,45	79993,85	758,03
7	AR_BDSa-6	CA_BDSa-6	GN-BDSA	BDSa-6	54750,50	24860,44	79984,24	757,94
8	AR_BDSa-7	CA_BDSa-7	GN-BDSA	BDSa-7	54763,00	24868,46	79974,68	757,85
9	AR_BDSa-8	CA_BDSa-8	GN-BDSA	BDSa-8	54775,50	24876,58	79965,15	757,75
10	AR_BDSa-9	CA_BDSa-9	GN-BDSA	BDSa-9	54788,00	24884,71	79955,66	757,66
11	AR_BDSa-10	CA_BDSa-10	GN-BDSA	BDSa-10	54800,50	24892,90	79946,22	757,57
12	AR_BDSa-11	CA_BDSa-11	GN-BDSA	BDSa-11	54813,00	24901,13	79936,81	757,48
13	AR_BDSa-12	CA_BDSa-12	GN-BDSA	BDSa-12	54825,50	24909,41	79927,45	757,38
14	AR_BDSa-13	CA_BDSa-13	GN-BDSA	BDSa-13	54838,00	24917,74	79918,13	757,29
15	AR_BDSa-14	CA_BDSa-14	GN-BDSA	BDSa-14	54850,50	24926,12	79908,85	757,20
16	AR_BDSa-15	CA_BDSa-15	GN-BDSA	BDSa-15	54863,00	24934,54	79899,61	757,11
17	AR_BDSa-16	CA_BDSa-16	GN-BDSA	BDSa-16	54875,50	24943,00	79890,41	757,01
18	AR_BDSa-17	CA_BDSa-17	GN-BDSA	BDSa-17	54888,00	24951,52	79881,26	756,92
19	AR_BDSa-18	CA_BDSa-18	GN-BDSA	BDSa-18	54900,50	24960,08	79872,15	756,83
20	AR_BDSa-19	CA_BDSa-19	GN-BDSA	BDSa-19	54913,00	24968,68	79863,08	756,74
21	AR_BDSa-20	CA_BDSa-20	GN-BDSA	BDSa-20	54925,50	24977,33	79854,06	756,64
22	AR_BDSa-21	CA_BDSa-21	GN-BDSA	BDSa-21	54938,00	24986,03	79845,08	756,55
23	AR_BDSa-22	CA_BDSa-22	GN-BDSA	BDSa-22	54950,50	24993,01	79837,33	756,48
24	AR_BDSa-23	CA_BDSa-23	GN-BDSA	BDSa-23	54958,00	25000,03	79830,81	756,40
25	AR_BDSa-24	CA_BDSa-24	GN-BDSA	BDSa-24	54967,00	25006,37	79824,42	756,33
26					54970,00	25008,49	79822,29	756,30

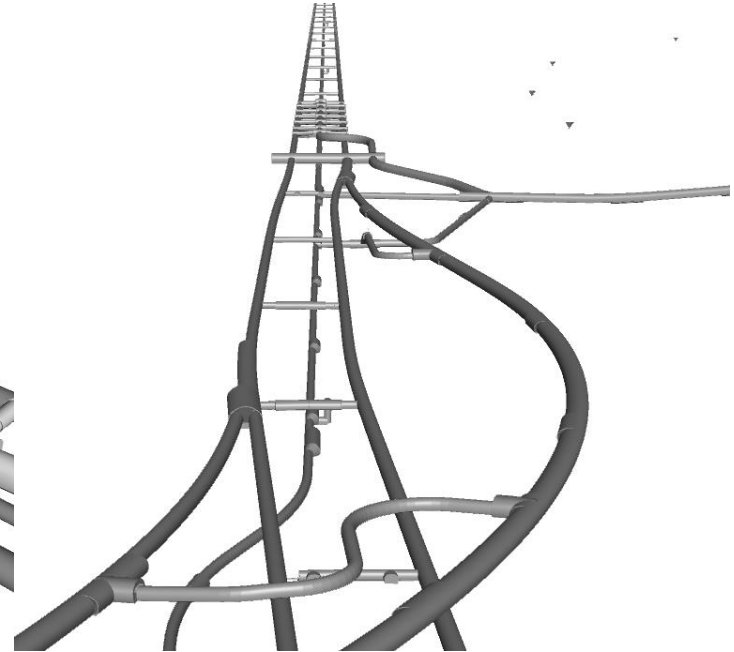
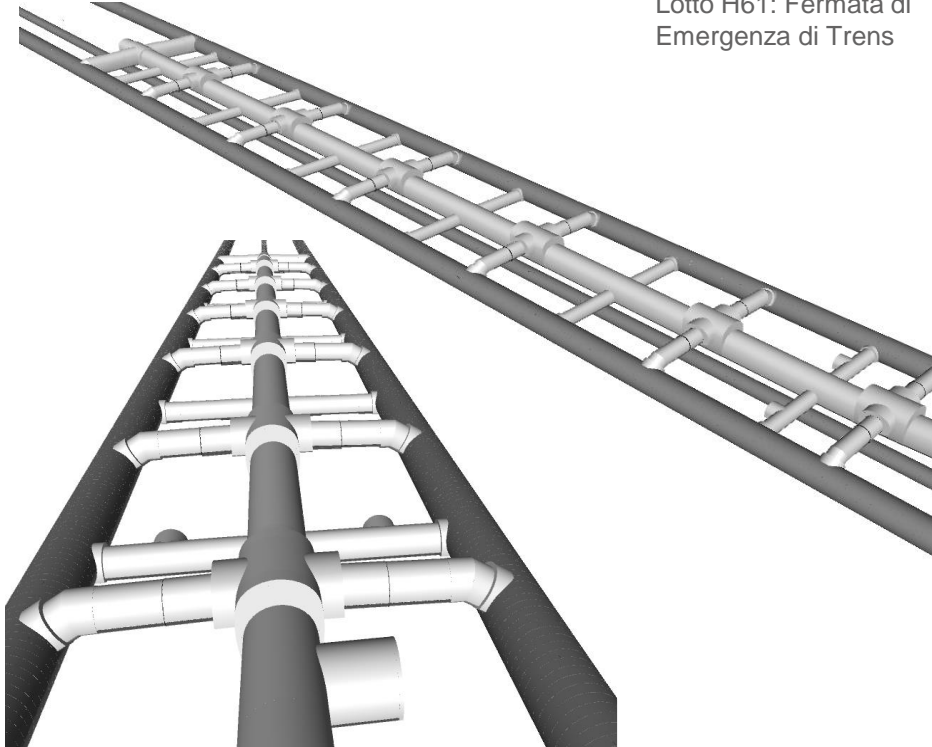


Oggetti costituenti il modello



Fermata di Emergenza di Trens (IT) ed Ahrental (AT)

Lotto H61: Fermata di Emergenza di Trens

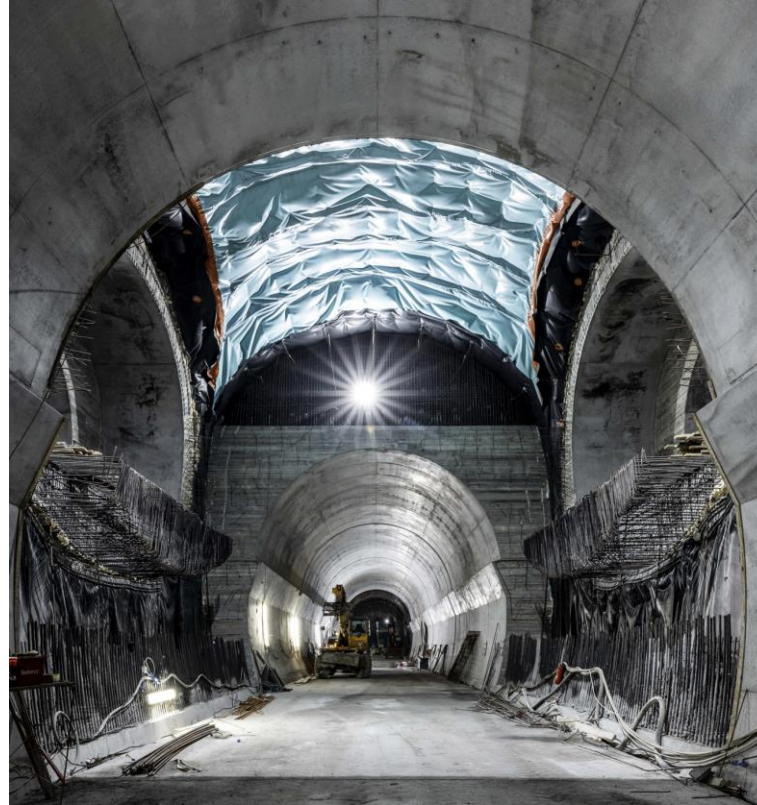


Lotto H41: Fermata di Emergenza di Ahrental e interconnessioni alla Circonvallazione di Innsbruck



Fermata di Emergenza di Trens

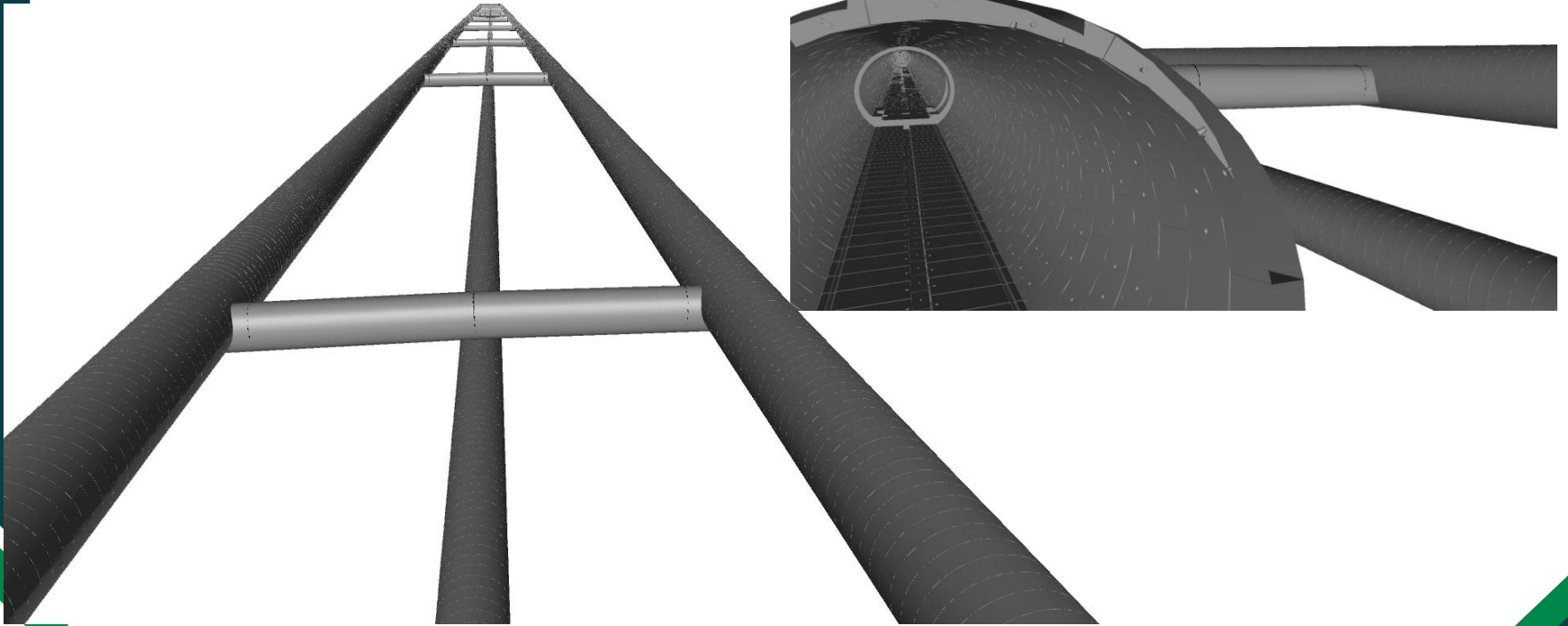
FASE DI
SCAVO



FASE DI
RIVESTIMENTO
DEFINITIVO



Scavo meccanizzato



Scavo meccanizzato: dati derivanti dalla TBM

TBM S-1071	Anello	PK inizio Anello	PK centro Anello	PK fine Anello	ml	Data montaggio	Tipo Concio	ROM
TBM S-1071_GLON_1	1	46+244,80	46+243,92	46+243,05	1,75	15/04/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_2	2	46+243,05	46+242,17	46+241,30	3,50	15/04/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_3	3	46+241,30	46+240,42	46+239,55	5,25	25/04/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_4	4	46+239,55	46+238,67	46+237,80	7,00	26/04/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_5	5	46+237,80	46+236,92	46+236,05	8,75	27/04/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_6	6	46+236,05	46+235,17	46+234,30	10,50	28/04/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_7	7	46+234,30	46+233,42	46+232,55	12,25	29/04/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_8	8	46+232,55	46+231,67	46+230,80	14,00	30/04/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_9	9	46+230,80	46+229,92	46+229,05	15,75	30/04/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_10	10	46+229,05	46+228,17	46+227,30	17,50	01/05/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_11	11	46+227,30	46+226,42	46+225,55	19,25	02/05/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_12	12	46+225,55	46+224,67	46+223,80	21,00	02/05/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_13	13	46+223,80	46+222,92	46+222,05	22,75	02/05/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_14	14	46+222,05	46+221,17	46+220,30	24,50	03/05/2019	NP039	CONCIO STANDARD CON MALTA BICOMPONENTE 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_15	15	46+220,30	46+219,42	46+218,55	26,25	04/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_16	16	46+218,55	46+217,67	46+216,80	28,00	04/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_17	17	46+216,80	46+215,92	46+215,05	29,75	04/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_18	18	46+215,05	46+214,17	46+213,30	31,50	05/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_19	19	46+213,30	46+212,42	46+211,55	33,25	05/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_20	20	46+211,55	46+210,67	46+209,80	35,00	05/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018
TBM S-1071_GLON_21	21	46+209,80	46+208,92	46+208,05	36,75	05/05/2019	NP043	CONCIO PIOLATO 7.2017 - 23.2018

LCB_CONCIO G GL

Modeli generici (1) Modifica tipo

Crestruzione

LCB_Codice identificativo anello TBM S-1071_GLON_1005

LCB_Coppia testa (M/m) 2.430000

LCB_Data montaggio 06.10.2019

LCB_Differenzia concio G

LCB_Link N.C.

LCB_Link R.d.M. <https://bbtsec.com.sharepoint.com/...>

LCB_Link modello tipologico <https://docs.b360.autodesk.com/pr...>

LCB_Link report anello <https://bbtsec.com.sharepoint.com/si...>

LCB_Mallicola concio G

LCB_N.C.

LCB_Note anello

LCB_Note concio G

LCB_Numero N.C.

LCB_Numero R.d.M. 7.2017 - 23.2018 - 26.2019 - 30.2019

LCB_N° anello 1005.000000

LCB_PK Centro anello (m) 44486.00000 m

LCB_Penetrazione (mm/igno) 9.130000

LCB_Peso smatino medio (t) 461.000000

LCB_Possione chiave 4.000000

LCB_Quantità per gavel (m3) 30.000000

LCB_R.d.M. G1

LCB_Scostamento anello orizzontale (-) -31.170000

LCB_Scostamento anello verticale (mm) -7.670000

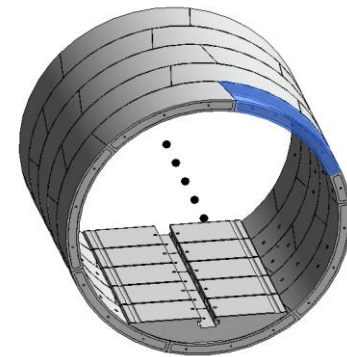
LCB_Sezione tipo applicata GL-M5

LCB_Spinta cilindri ausiliari (kN) 13984.470000

LCB_Spinta cilindri principali (kN) 13984.930000

LCB_Tipo anello CONCIO PIOLATO

LCB_Velocità di avanzamento (mm/m) 36.770000



→ TPC

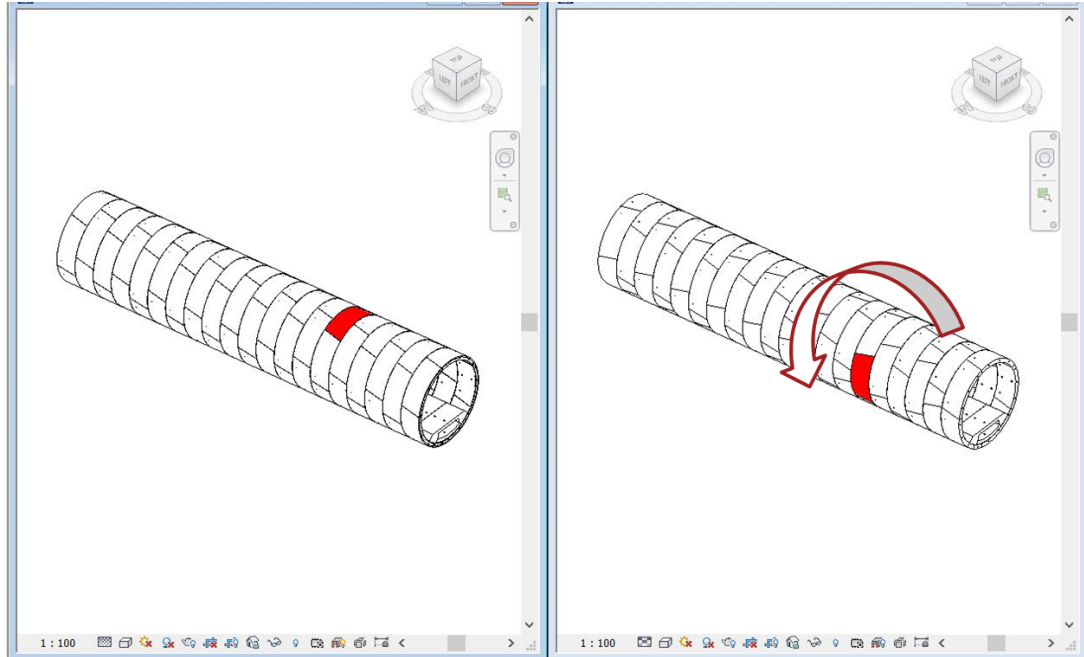


Scavo meccanizzato: dati chiave modelli as-built

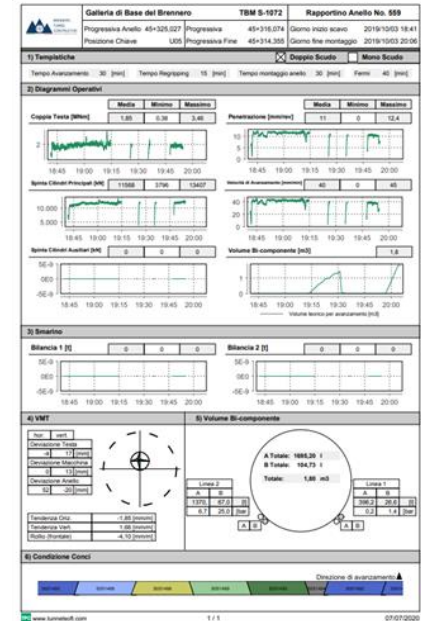
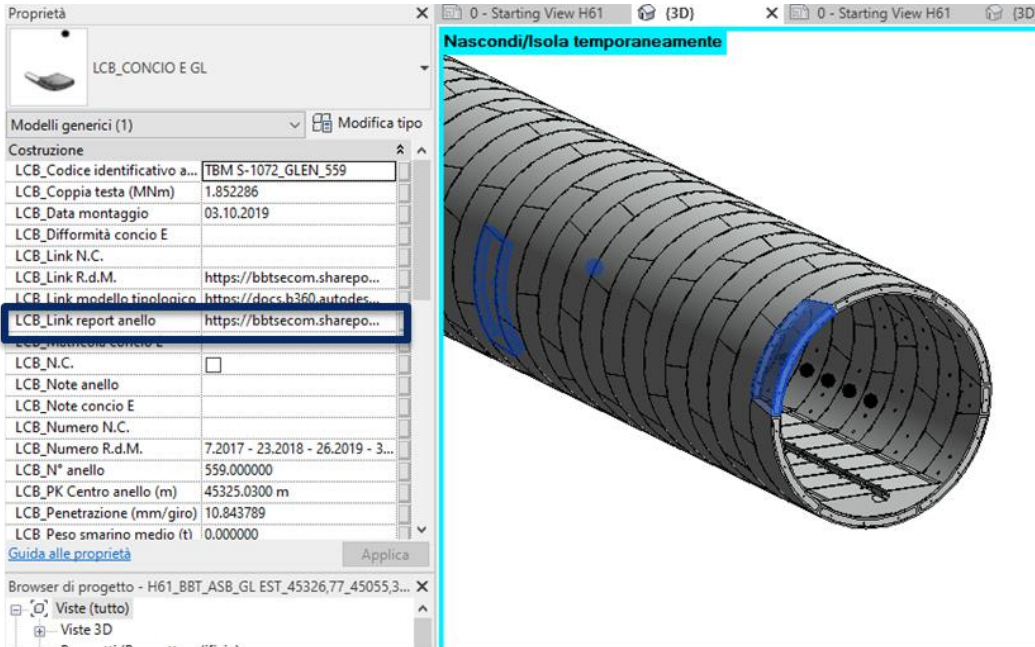
Dati chiave per il modello informativo:

- Data di installazione del concio
- Progressiva dell'installazione
- Posizione del concio
- Georeferenziazione

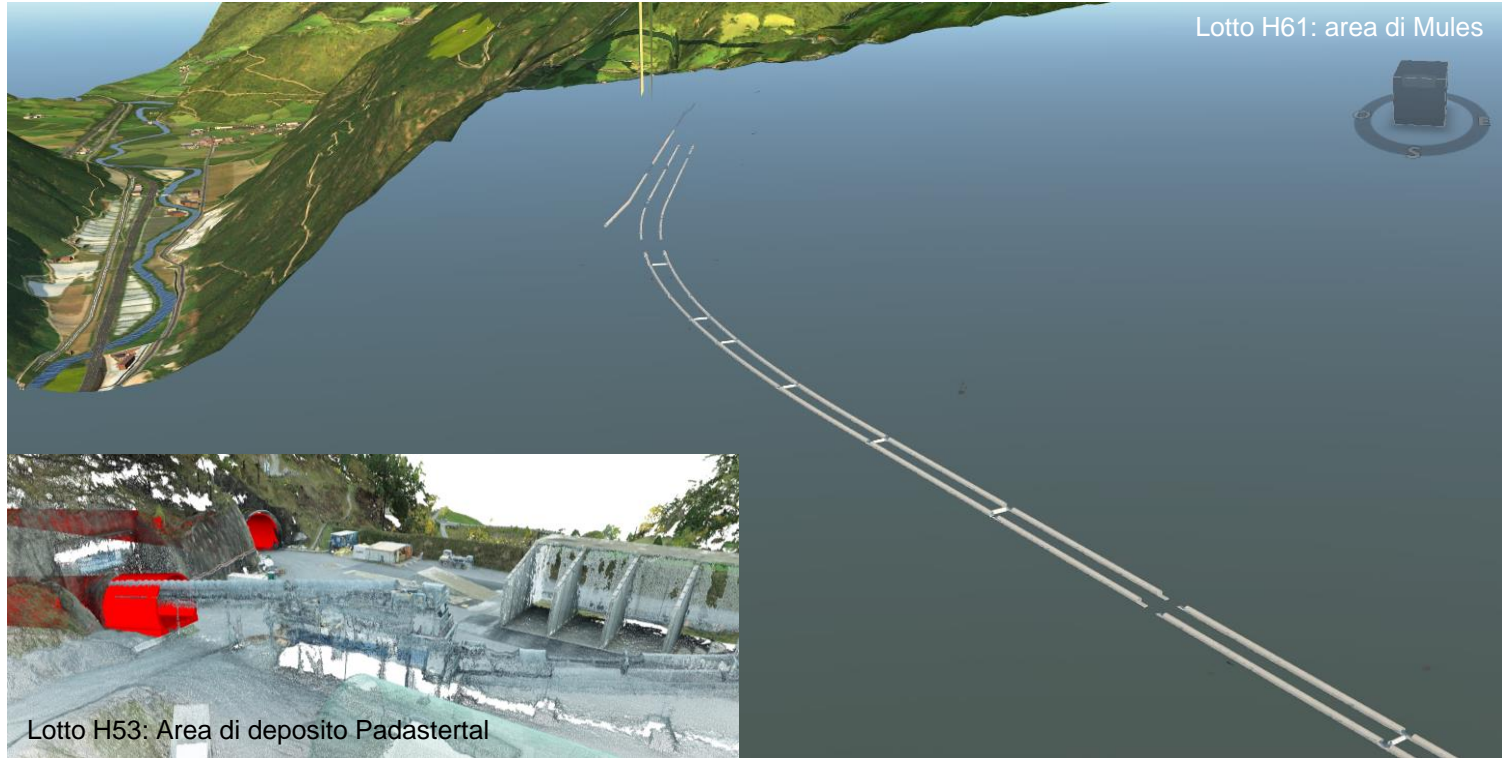
RIVESTIMENTO IN CONCI



Scavo meccanizzato: dati chiave modelli as-built



Inserimento nel territorio





Grazie per l'attenzione

