

Seconda edizione

Italia
NODIG
LIVE 2025



Premio
"Milco Anese"

11 GIUGNO

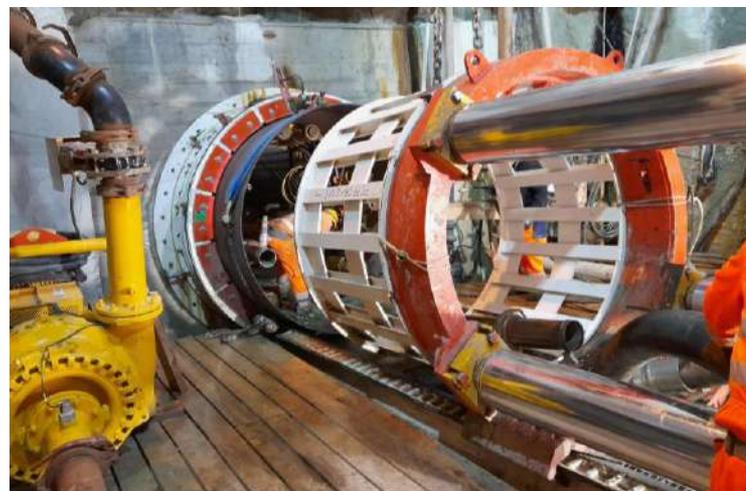
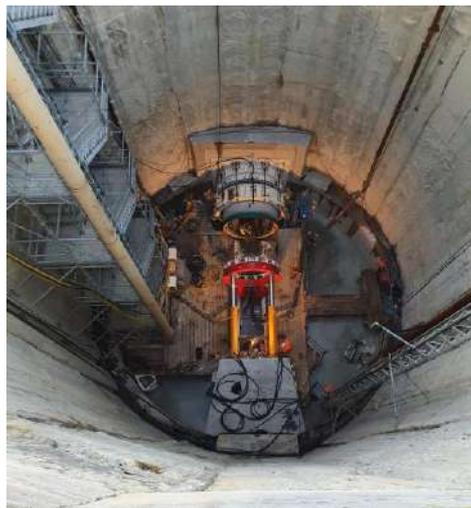
COSTRUZIONE DI MICROTUNNEL AD ELEVATA LUNGHEZZA E COPERTURA IN FORMAZIONI COESIVE: SFIDE, MISURE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO E LEZIONI APPRESE



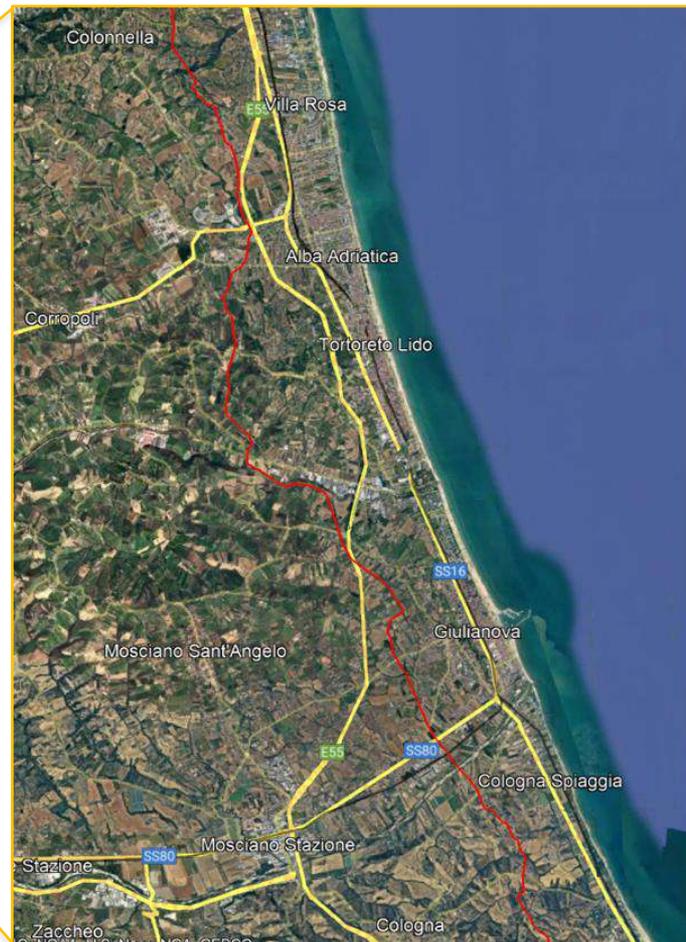
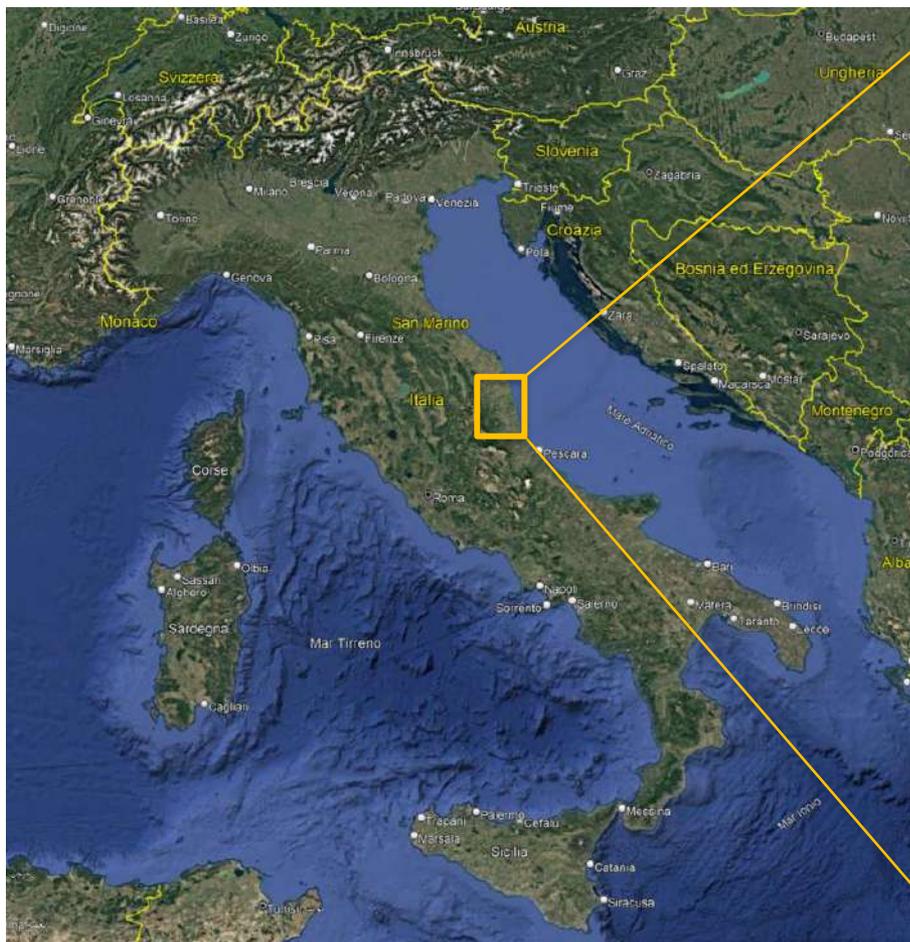
Mara Tonelli, Ufficio Tecnico, I.CO.P. S.p.A. Società Benefit

Parco Esposizioni Novegro - 11 giugno 2025

EVOLVERE: UNA SFIDA COSTANTE



IL PROGETTO



IL PROGETTO

<i>Progetto</i>	Rifacimento Metanodotto Ravenna – Chieti DN650 (26") DP 75bar. Lotto 3.
<i>Cliente</i>	Snam Rete Gas S.p.A.
<i>Appaltatore</i>	SICIM S.p.A.
<i>Lavoro</i>	Esecuzione di n. 11 microtunnel Diametri interni 1,6 ÷ 2,4 m
<i>Ubicazione</i>	S. Benedetto del Tronto (PU) - Pineto (TE)
<i>Periodo</i>	2023 ÷ 2025
<i>Oggetto</i>	Microtunnel Mazzocco, Maggi e Colonnella 2



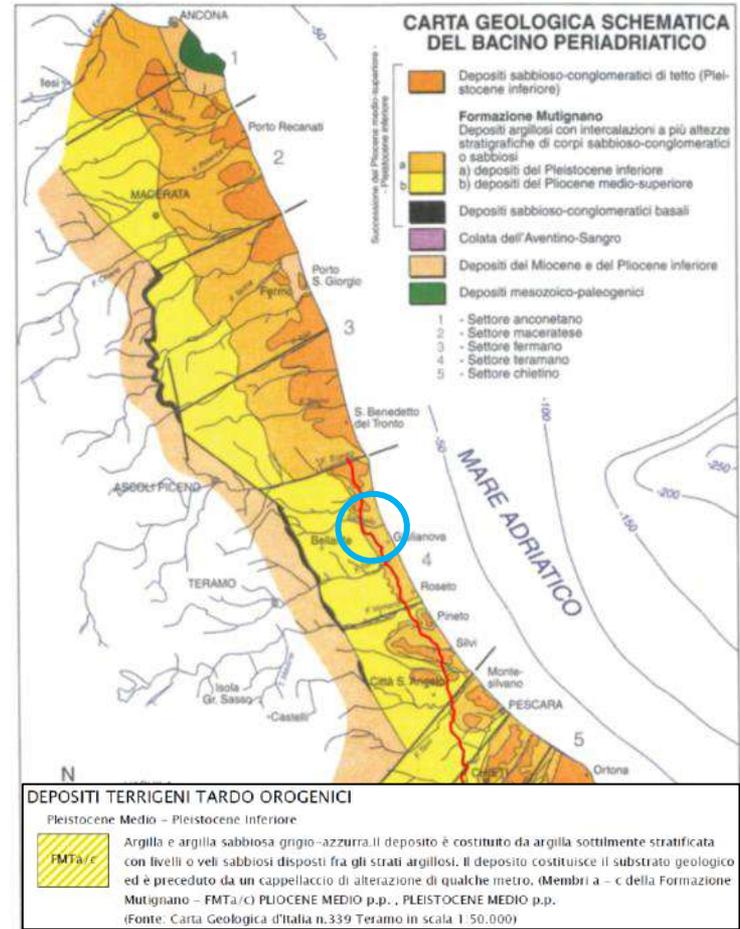
LE CARATTERISTICHE DEI MICROTUNNEL

Microtunnel	Mazzocco	Maggi	Colonnella 2
Ubicazione	Roseto degli Abruzzi	Mosciano Sant'Angelo	Colonnella
Tipologia	rilievo collinare	dorsale	rilievo collinare
Lunghezza	762 m	1068 m	831 m
Diametro interno	2,0 m	2,4 m	2,0 m
Copertura massima	66 m	45 m	35 m
Raggio di curvatura	$R_{\text{verticale}} = 1200 \text{ m}$ $R_{\text{orizzontale}} = 1200 \text{ m}$	$R_{\text{verticale}} = 1800 \text{ m}$ $R_{\text{orizzontale}} = \infty$	$R_{\text{verticale}} = 1500 \text{ m}$ $R_{\text{orizzontale}} = \infty$
Formazione / terreni	Formazione di Mutignano: FMTa - Argille e argille marnose , con intercalazioni sottili di sabbie fini e limi	Formazione di Mutignano: FMTa - Argille e argille marnose , con intercalazioni sottili di sabbie fini e limi	Formazione di Mutignano: FMTa - Argille e argille marnose , con intercalazioni sottili di sabbie fini e limi FMTc – limi sabbiosi con intercalazione di sabbie

IDENTIFICAZIONE CRITICITÀ

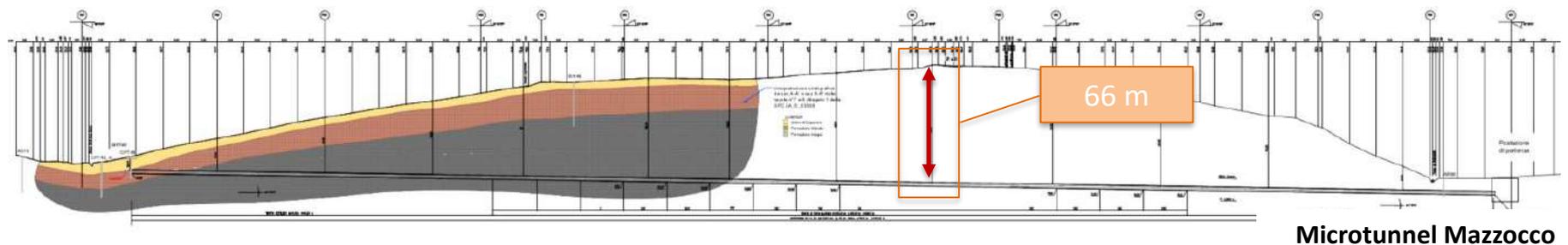
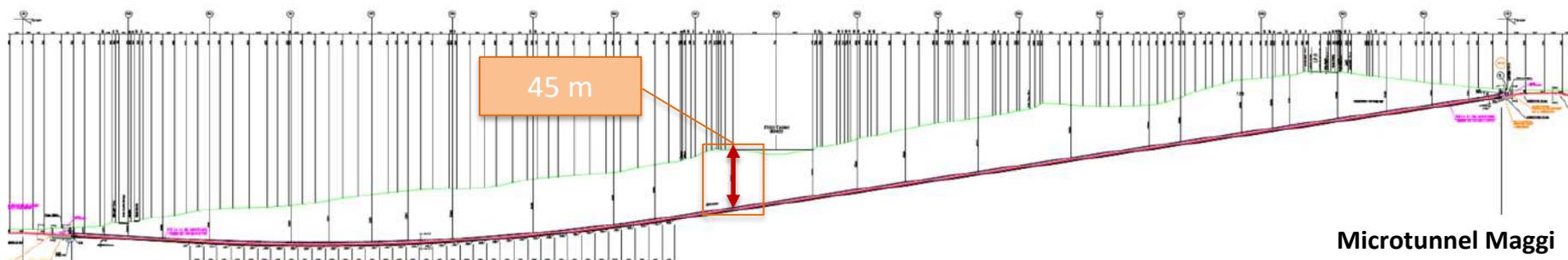
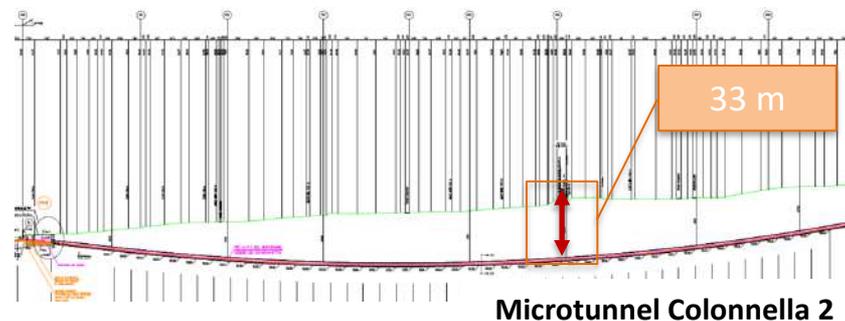
- **Argille plastiche**, dure, poco permeabili
- **Lunghezze** comprese tra **750m e 1100m**
- **Attraversamenti di rilievi con coperture** variabili tra **35m e 66 m**

CAROTIERE MANOVRE	PROFONDITA' DAL P.C. (m)	POTENZA DELLA FORMAZIONE (m)	SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSADE
Carotiere 1	1.30	1.30	[Stratigraphic column]	Terreno agrario, limo sabbioso argilloso di colore marrone con rari inclusi ghiaiosi poligenici, di forma da sub arrotondata a sub angolare, di dimensioni mm e cm, φ max 2 cm.
	2.30	1.00	[Stratigraphic column]	Limo sabbioso, molto consistente, di colore avana con livelli biancastri e noduli di decalcificazione.
	4.70	2.40	[Stratigraphic column]	Limo argilloso debolmente sabbioso, molto consistente, di colore marrone scuro con livelli biancastri e noduli di decalcificazione, con rari inclusi ghiaiosi poligenici, di forma sub angolare, di dimensioni mm e cm, φ max 2 cm.
Carotiere 2	11.40	11.40	[Stratigraphic column]	Argilla limosa, molto consistente, di colore grigio, con striature nerastre di origine organica. Al suo interno si rilevano frequenti livellati silteoso-limosi dello stesso colore.
	13.60	2.20	[Stratigraphic column]	



IDENTIFICAZIONE CRITICITÀ

- Argille plastiche, dure, poco permeabili
- Lunghezze comprese tra **750m e 1100m**
- Attraversamenti di rilievi con **coperture** variabili tra ca. **35m e 66 m**



IDENTIFICAZIONE CRITICITÀ

- Geometrie articolate con curvature verticali e orizzontali
- Logistica non banale per accessibilità e/o dimensione delle aree



ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

APPROFONDIMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO

Sondaggi integrativi
Prove di laboratorio



Caratterizzazione argille
Modello geotecnico



Argille plastiche, da **dure** a molto dure e **scarsamente permeabili** con pressioni di **rigonfiamento** medio-elevate

ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

CONVERGENZA DEL CAVO (SQUEEZING)

Deformazione delle pareti dello scavo verso l'interno del foro



Incremento attriti e sovrappressioni sul rivestimento



Valutazione del rischio in funzione di:

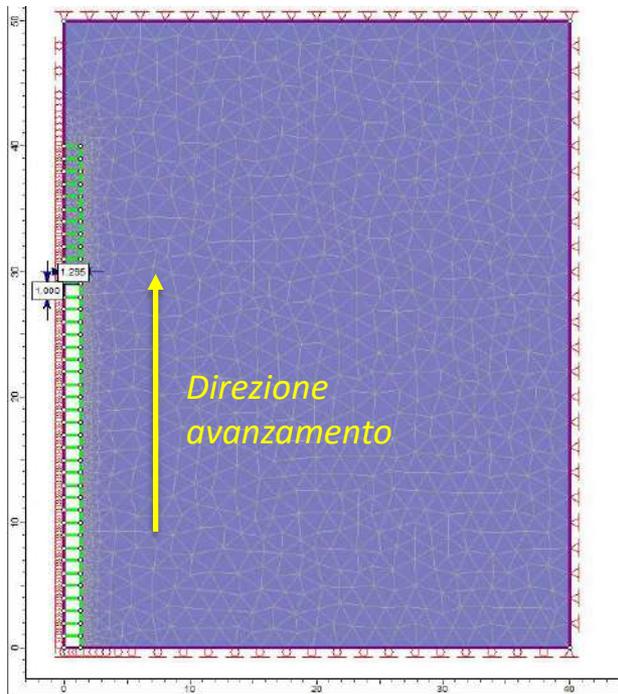
- a) Copertura
- b) Condizioni }
 - Drenate
 - Non drenate
- c) Valore contropressione al fronte di scavo



**ANALISI DI DIVERSI SCENARI MEDIANTE
MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI**

ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

CONVERGENZA DEL CAVO (SQUEEZING): calcolo spostamenti radiali



Simulazione avanzamento progressivo fronte scavo (n.30 step $L=1$ m)

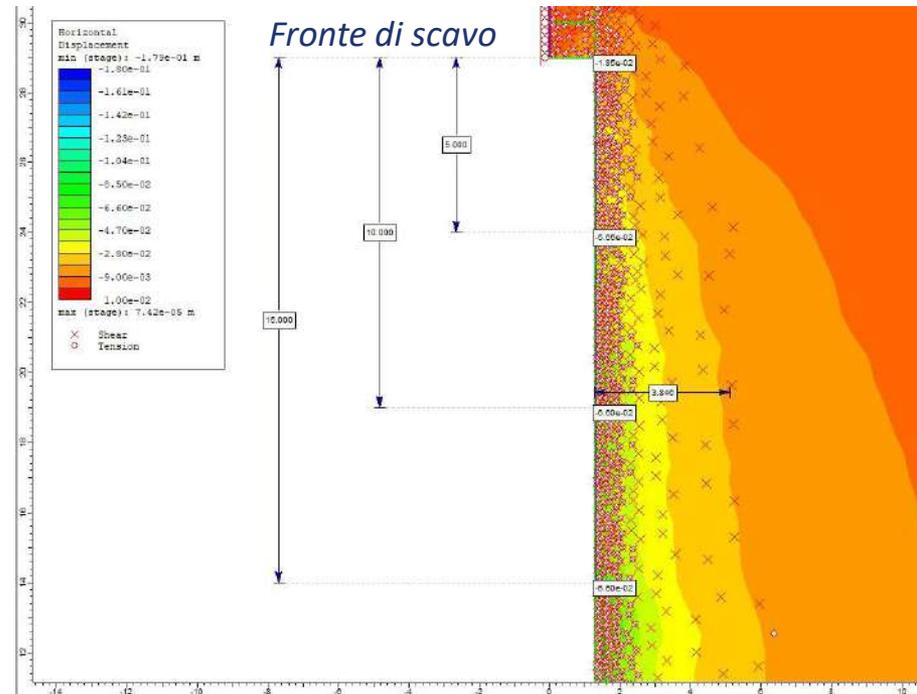


Diagramma degli spostamenti radiali a distanze di 5 – 10 – 15 m dal fronte

ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

CONVERGENZA DEL CAVO (SQUEEZING)

SQUEEZING						
MT	Copertura [m]	Pressione [bar]	Spostamento radiale [m]	Rapporto spostamento radiale / raggio di scavo [%]	Livello di rischio (rif. HOEK AND MARINOS)	Contatto pareti scavo / tubi in c.a.
MAGGI	CONDIZIONI NON DRENATE					
	35	0	0,0495	3,8%	ALTO	PARZIALE
		1,5	0,0309	2,4%	BASSO	NO
	25	0	0,038	2,9%	ALTO	NO
		1	0,0208	1,6%	BASSO	NO
	CONDIZIONI DRENATE					
	35	0	0,1175	9,1%	MOLTO ALTO	SI
		1,5	0,0216	1,7%	BASSO	NO
	25	0	0,081	6,3%	MOLTO ALTO	SI
		1	0,0189	1,5%	BASSO	NO
MAZZOCCO	CONDIZIONI NON DRENATE					
	52	0	0,066	5,0%	ALTO	SI
		1,5	0,0546	4,2%	ALTO	PARZIALE
	35	0	0,0495	3,8%	ALTO	PARZIALE
		1,5	0,0309	2,4%	BASSO	NO
	25	0	0,038	2,9%	ALTO	NO
		1,5	0,0208	1,6%	BASSO	NO
	CONDIZIONI DRENATE					
	52	0	0,178	13,7%	ESTREMO	SI
		1,5	0,0382	2,0%	ALTO	PARZIALE
35	0	0,117	9,0%	MOLTO ALTO	SI	
	1,5	0,0216	1,7%	BASSO	NO	
25	0	0,081	6,3%	MOLTO ALTO	SI	
	1,5	0,0152	1,2%	BASSO	NO	
COLONNELLA 2	CONDIZIONI NON DRENATE					
	28	0	0,037	2,0%	ALTO	NO
	CONDIZIONI DRENATE					
	28	0	0,095	7,3%	MOLTO ALTO	SI
0,5		0,037	2,0%	ALTO	NO	



ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

CONVERGENZA DEL CAVO (SQUEEZING)

SQUEEZING							
MT	Copertura [m]	Pressione [bar]	Spostamento radiale [m]	Rapporto spostamento radiale / raggio di scavo [%]	Livello di rischio (rif. HOEK AND MARINOS)	Contatto pareti scavo / tubi in c.a.	
<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>							
MAGGI	35	0	0,0495	3,8%	ALTO	PARZIALE	
		1,5	0,0309	2,4%	BASSO	NO	
	25	0	0,038	2,9%	ALTO	NO	
		1	0,0208	1,6%	BASSO	NO	
	<i>CONDIZIONI DRENATE</i>						
	35	0	0,1175	9,1%	MOLTO ALTO	SI	
1,5		0,0216	1,7%	BASSO	NO		
25	0	0,081	6,3%	MOLTO ALTO	SI		
	1	0,0189	1,5%	BASSO	NO		
<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>							
MAZZOCCO	52	0	0,066	5,0%	ALTO	SI	
		1,5	0,0546	4,2%	ALTO	PARZIALE	
	35	0	0,0495	3,8%	ALTO	PARZIALE	
		1,5	0,0309	2,4%	BASSO	NO	
	25	0	0,038	2,9%	ALTO	NO	
		1,5	0,0208	1,6%	BASSO	NO	
	<i>CONDIZIONI DRENATE</i>						
	52	0	0,178	13,7%	ESTREMO	SI	
		1,5	0,0382	2,0%	ALTO	PARZIALE	
	35	0	0,117	9,0%	MOLTO ALTO	SI	
		1,5	0,0216	1,7%	BASSO	NO	
	25	0	0,081	6,3%	MOLTO ALTO	SI	
1,5		0,0152	1,2%	BASSO	NO		
<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>							
COLONNELLA 2	28	0	0,037	2,0%	ALTO	NO	
		<i>CONDIZIONI DRENATE</i>					
	28	0	0,095	7,3%	MOLTO ALTO	SI	
		0,5	0,037	2,0%	ALTO	NO	



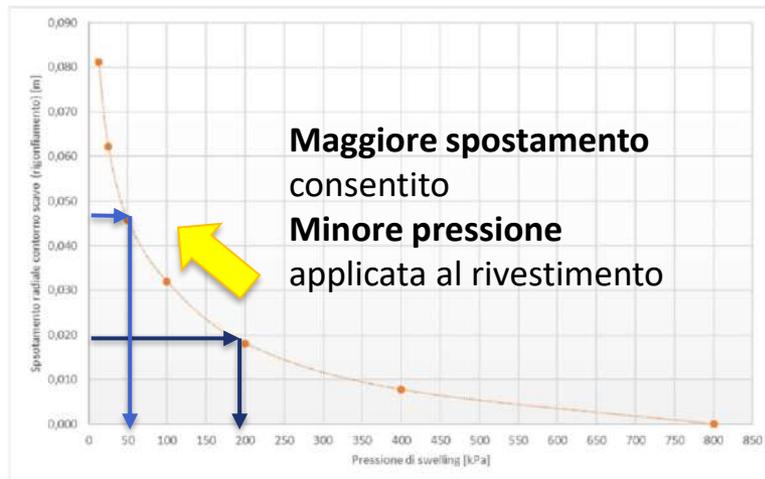
ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

RIGONFIAMENTO (SWELLING)

Tendenza di alcuni terreni argillosi ad espandersi a contatto con l'acqua o se varia stato tensioni



Rischio di intrappolamento della macchina e di blocco dello scavo per aumento forze di attrito



Valutazione della capacità di **dissipare** la **pressione di rigonfiamento**:

- Massima deformazione di swelling (prove di Huder-Amberg)
- Spostamento radiale
- Pressione di rigonfiamento



Sono **essenziali** la **presenza** ed il **mantenimento del sovrascavo**

ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

RIGONFIAMENTO (SWELLING)

- Valutazione degli stessi scenari analizzati per lo **squeezing**
- Si considera la **dimensione residua del sovrascavo** a valle della convergenza

MT	Copertura [m]	Pressione [bar]	SQUEEZING	SWELLING
			Contatto pareti scavo / tubi in c.a.	Avanzamento
MAGGI	<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>			
	35	0	PARZIALE	OK
		1,5	NO	OK
	25	0	NO	OK
		1,5	NO	OK
	<i>CONDIZIONI DRENATE</i>			
	35	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
	25	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1	NO	OK
MAZZOCCO	<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>			
	52	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	PARZIALE	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
	35	0	PARZIALE	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
	25	0	NO	OK
		1,5	NO	OK
	<i>CONDIZIONI DRENATE</i>			
	52	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	PARZIALE	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
	35	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
	25	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
COLONNELLA 2	<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>			
	28	0	NO	OK
		<i>CONDIZIONI DRENATE</i>		
	28	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
0,5		NO	OK	

ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

RIGONFIAMENTO (SWELLING)

- Valutazione degli stessi scenari analizzati per lo **squeezing**
- Si considera la **dimensione residua del sovrascavo** a valle della convergenza

MT	SQUEEZING			SWELLING
	Copertura [m]	Pressione [bar]	Contatto pareti scavo / tubi in c.a.	Avanzamento
MAGGI	<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>			
	35	0	PARZIALE	OK
		1,5	NO	OK
	25	0	NO	OK
		1,5	NO	OK
	<i>CONDIZIONI DRENATE</i>			
	35	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
	25	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1	NO	OK
MAZZOCCO	<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>			
	52	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	PARZIALE	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
	35	0	PARZIALE	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
	25	0	NO	OK
		1,5	NO	OK
	<i>CONDIZIONI DRENATE</i>			
	52	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	PARZIALE	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
	35	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
	25	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
		1,5	NO	OK
COLONNELLA 2	<i>CONDIZIONI NON DRENATE</i>			
	28	0	NO	OK
		<i>CONDIZIONI DRENATE</i>		
	28	0	Si	RISCHIO INTRAPPOLAMENTO
0,5		NO	OK	

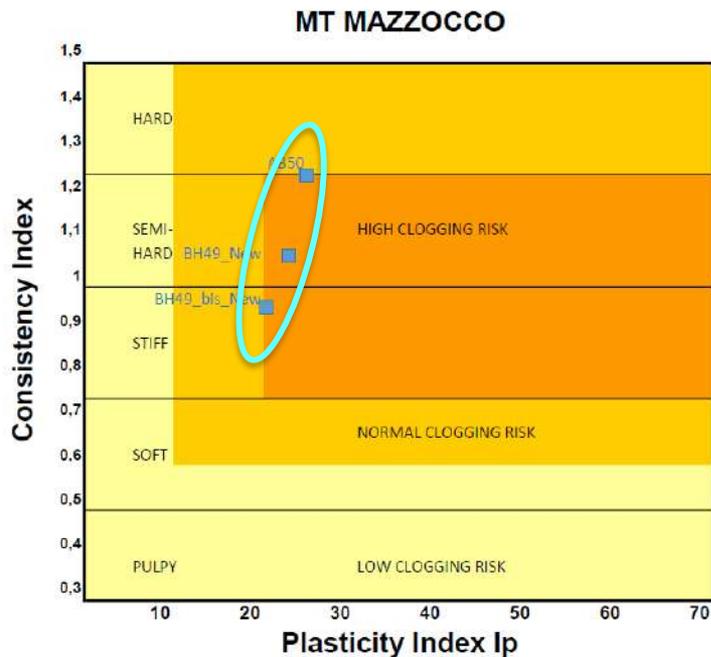
ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

CLOGGING

Tendenza delle argille di aderire alle superfici meccaniche



Difficoltà evacuazione materiale, usura irregolare utensili



Valutazione del rischio in funzione di:

- Indice di plasticità
- Indice di consistenza

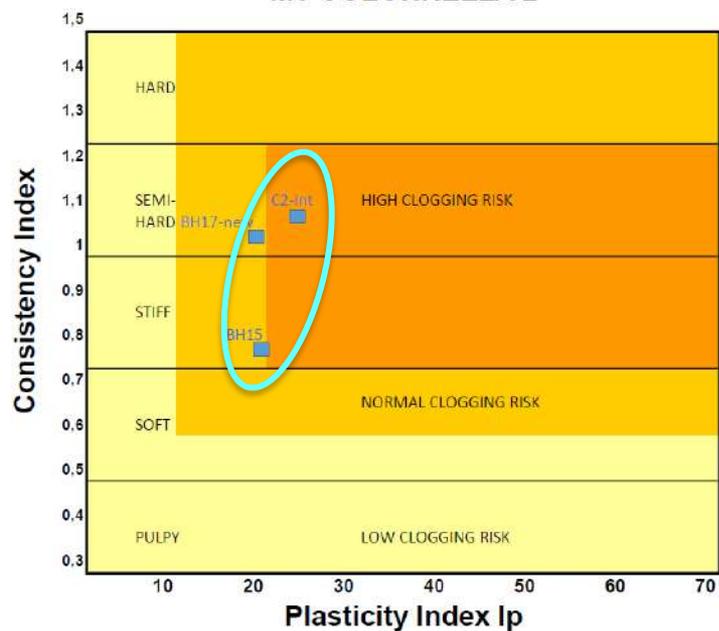


Tutti i campioni presentano un **rischio alto**

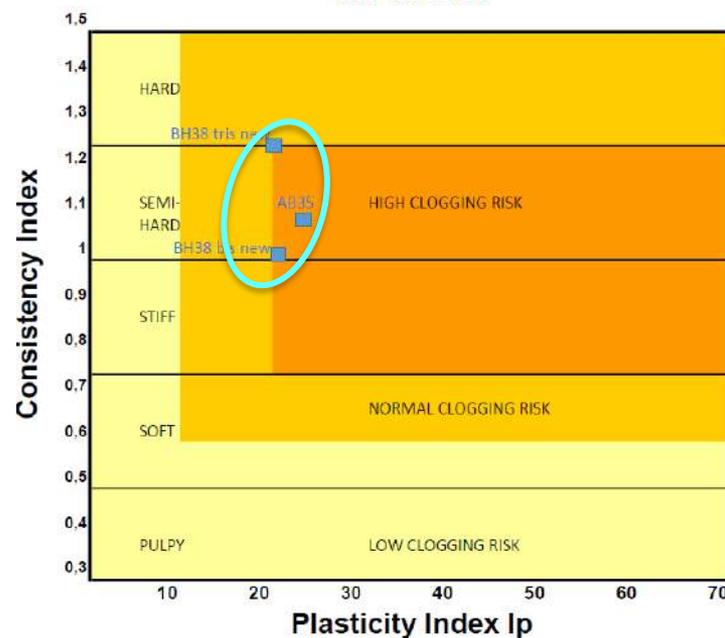
ANALISI DEI RISCHI COSTRUTTIVI

CLOGGING

MT COLONNELLA 2

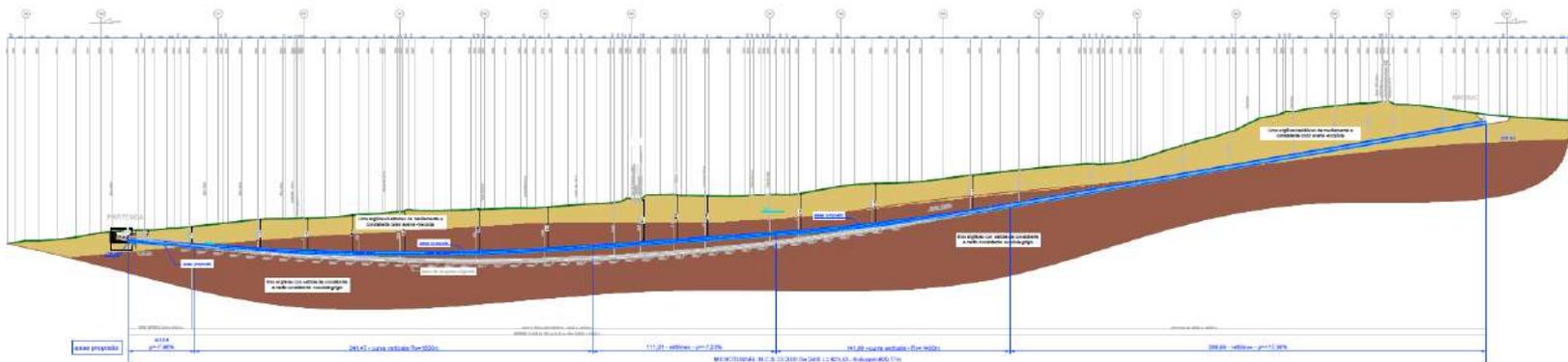


MT MAGGI



MISURE DI MITIGAZIONE: FASE PROGETTUALE

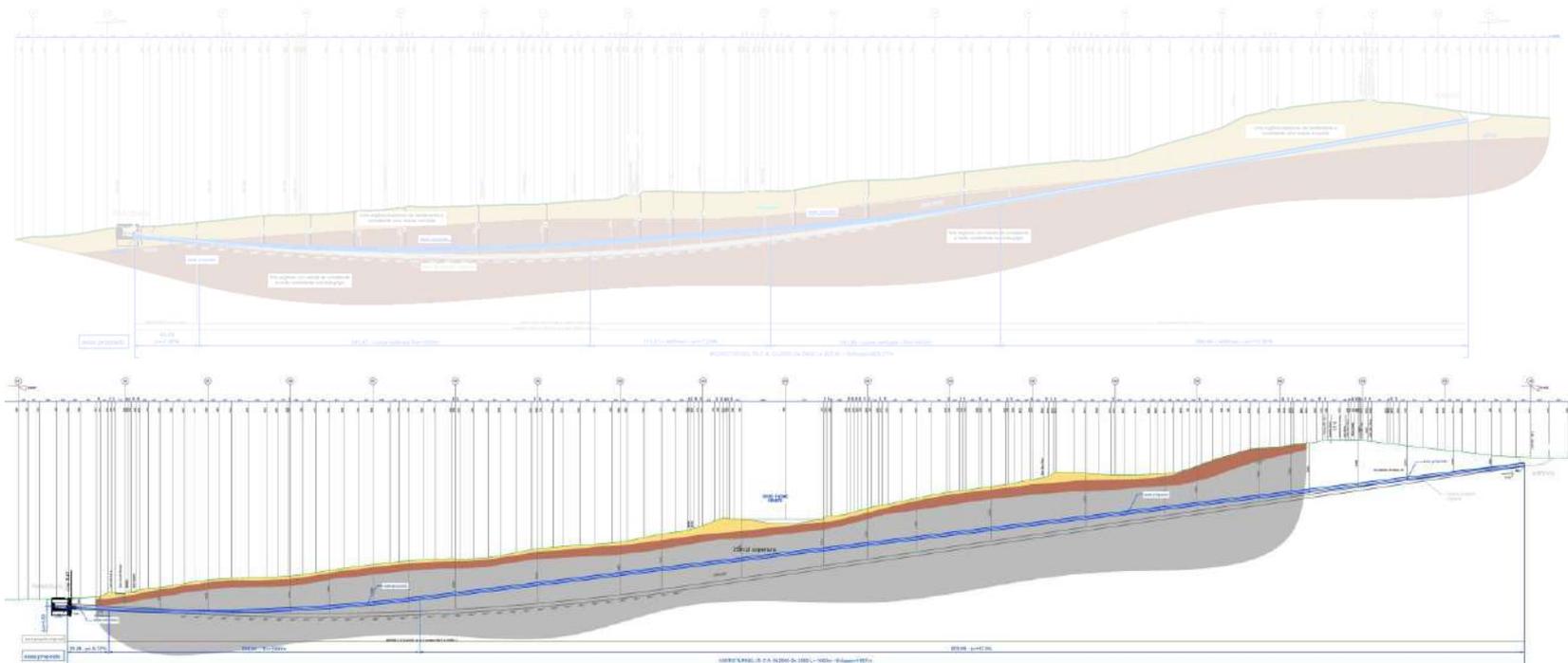
OTTIMIZZAZIONE DEI PROFILI DI SCAVO



COLONNELLA 2: copertura 35m → 28m

MISURE DI MITIGAZIONE: FASE PROGETTUALE

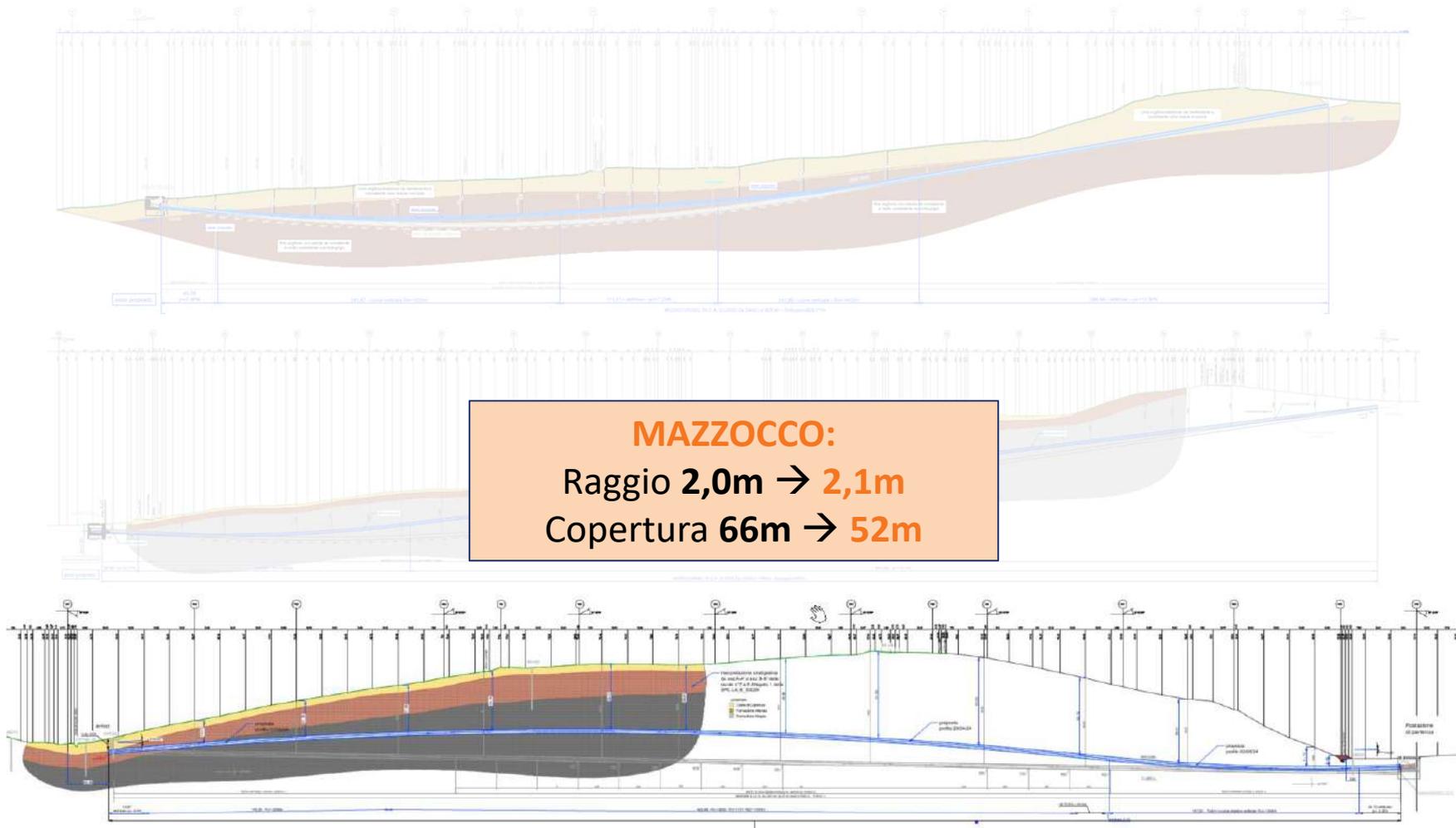
OTTIMIZZAZIONE DEI PROFILI DI SCAVO



MAGGI:
 Raggio **2,4m** → **2,1m**
 Copertura **45m** → **35m**

MISURE DI MITIGAZIONE: FASE PROGETTUALE

OTTIMIZZAZIONE DEI PROFILI DI SCAVO

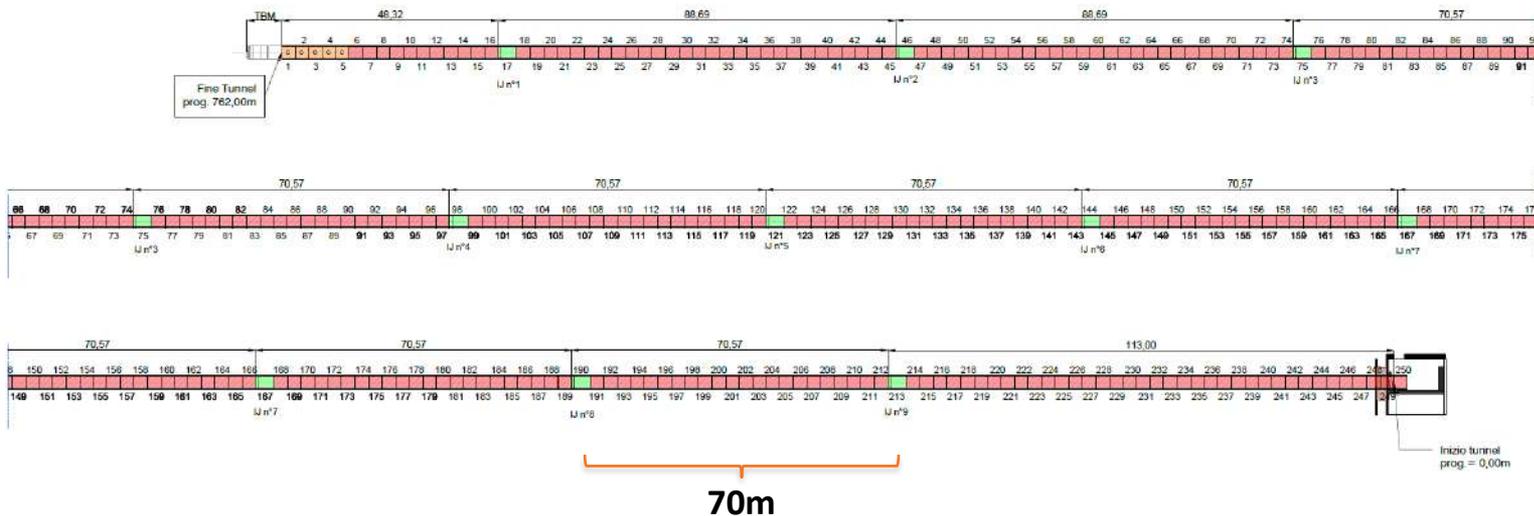


MISURE DI MITIGAZIONE: FASE PROGETTUALE

INCREMENTO NUMERO STAZIONI DI SPINTA INTERMEDIE

Distanza ridotta a 70m rispetto allo standard di 100m

- Frazionamento della colonna di spinta
- Controllo rollio in presenza della curva planimetrica



MISURE DI MITIGAZIONE: FASE ESECUTIVA

AMBITO	MISURA	EFFETTO
LUBRIFICAZIONE	<p>Impiego di polimeri inibitori delle argille</p> <p>Sovrapressione lubrificazione</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limitata idratazione del terreno ✓ Contenimento rigonfiamento argille ✓ Riduzione attriti ✓ Mitigazione fenomeno squeezing
FLUIDO DI SCAVO	<p>Minimizzazione contenuto solido</p> <p>Gestione portate mandata e ritorno</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mitigazione fenomeno clogging ✓ Minimo apporto d'acqua al terreno
TURNI DI LAVORO	Operatività 24/7	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ridurre tempi esecutivi per evitare transizione da condizioni non drenate a drenate ✓ Prevenire incremento attriti dopo soste

PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI BLOCCO



Misure di **mitigazione**



Riduzione del rischio costruttivo



Rischio residuo non riducibile



Contingency plan

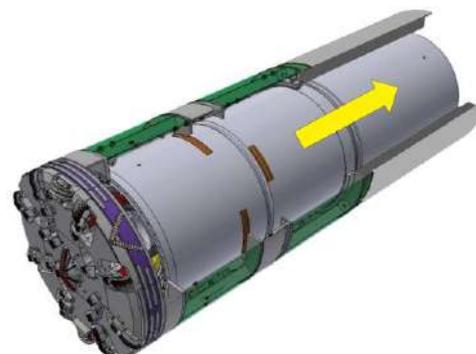
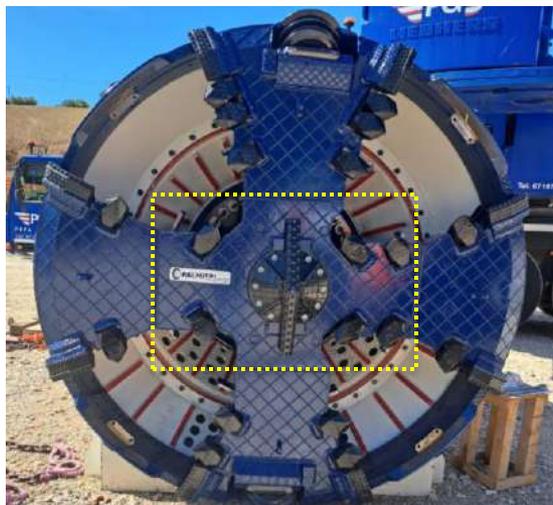


Macchina di scavo retraiabile



Completamento opera con altro metodo

PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI BLOCCO



Messa in opera tubi **DE = 2,5m**



TBM **DE = 1,97m** con **extension kit**



Tubi diametro interno **DI = 2,1m**



Guscio esterno a perdere

Testa fresante smontabile

PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI BLOCCO

MACCHINA RETRABILE O SEGMENTAL LINING ?

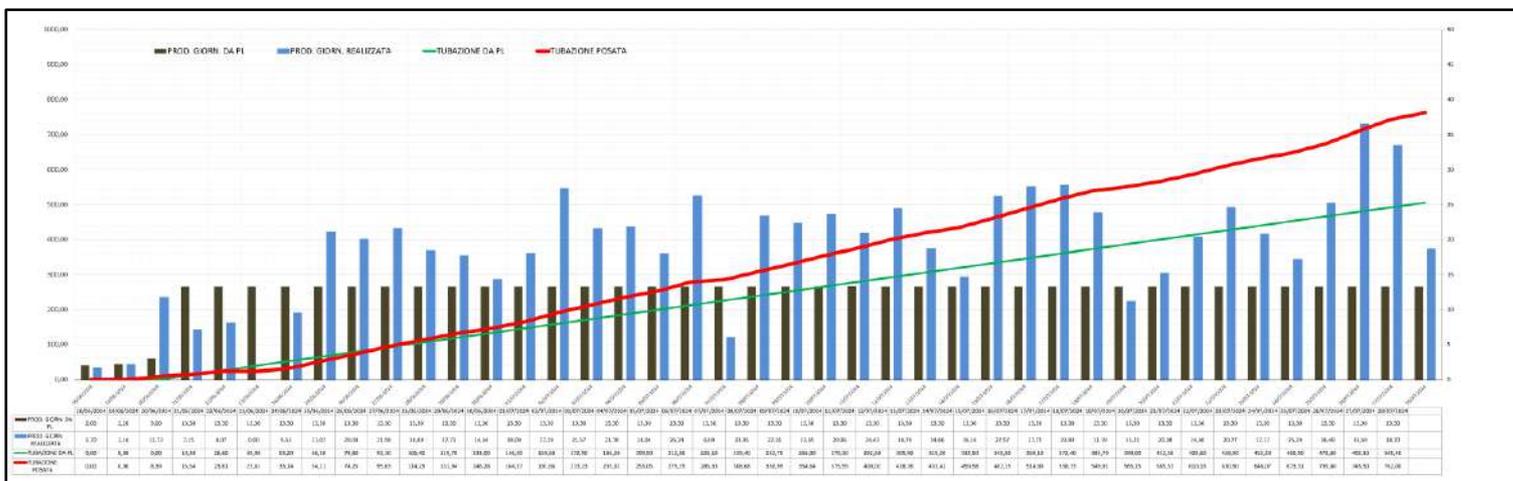
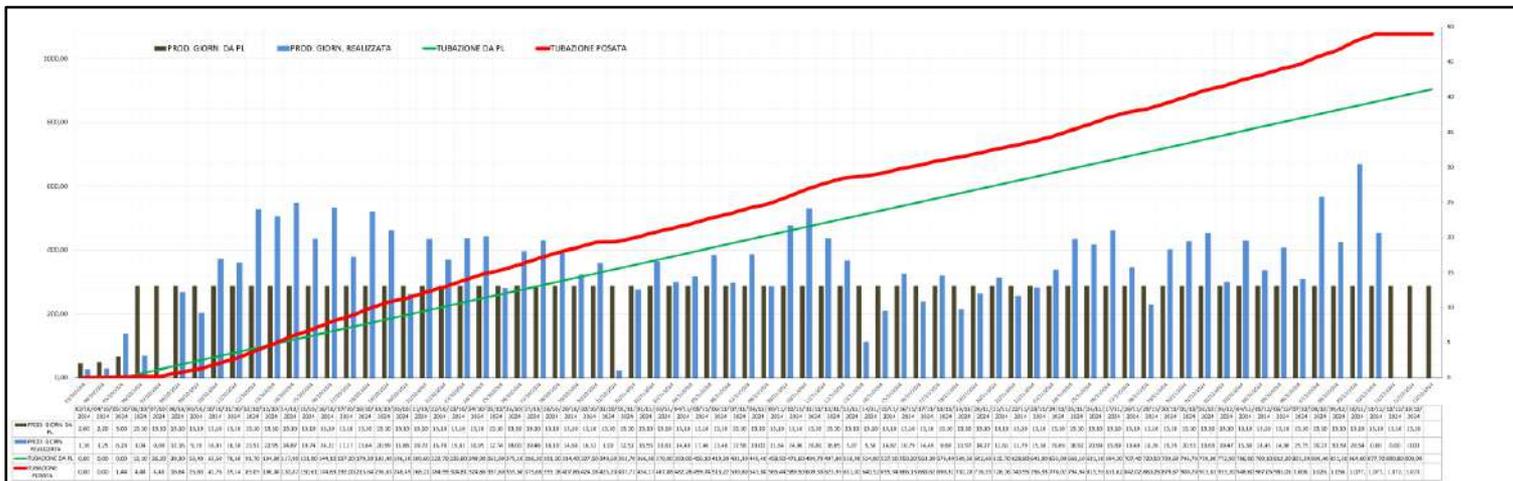
Valutazioni a sfavore della soluzione ibrida con segmental lining

- **Tempi e costi** per la costruzione di una macchina non compatibili
- **Maggiore diametro** incrementa il rischio di blocco
- Geometria non idonea a macchina a conchi standard (pendenza **max 4%**);
- **Aree cantiere** critiche per applicazione del segmental lining.



ESECUZIONE DEI LAVORI

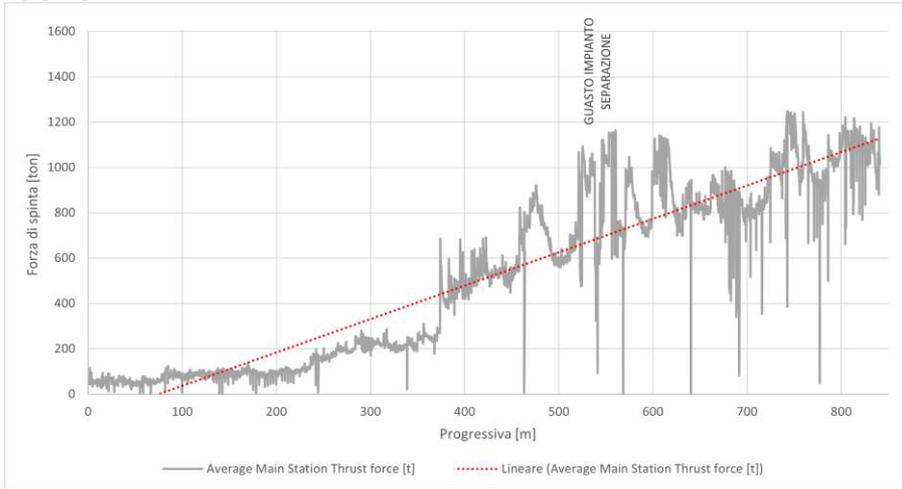
MAGGI



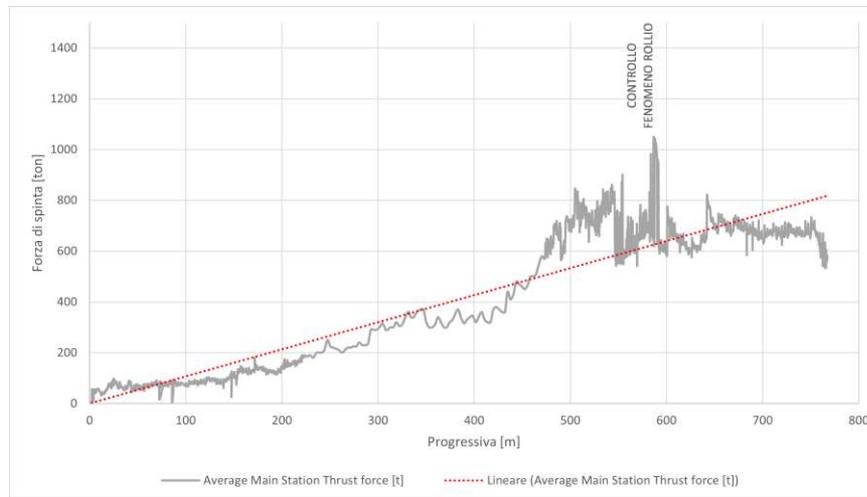
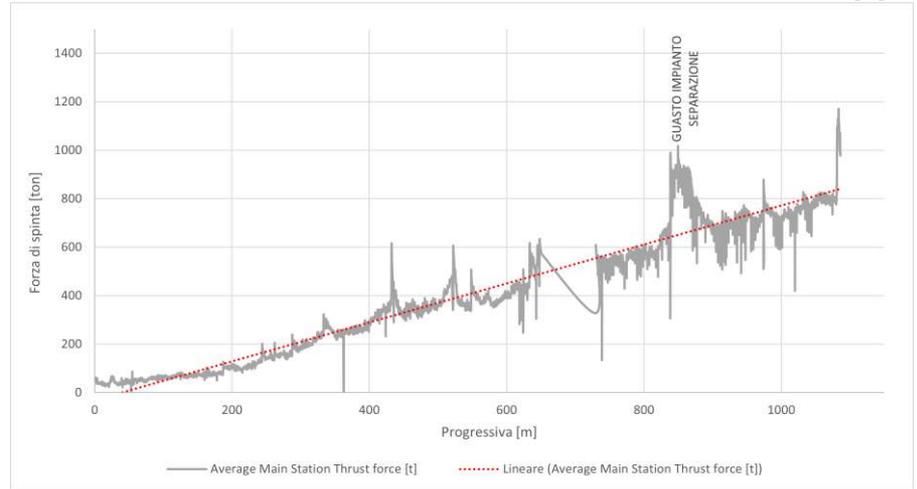
MAZZOCCO

ESECUZIONE DEI LAVORI

COLONNELLA 2



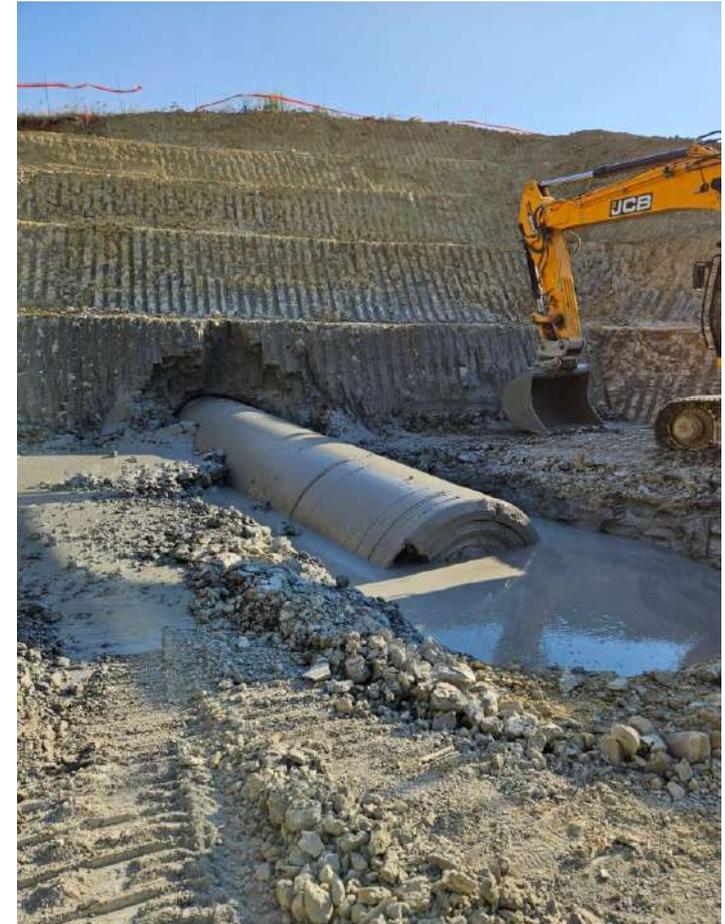
MAGGI



MAZZOCCO

ESECUZIONE DEI LAVORI

- !! Attenta analisi del **contesto geomorfologico** e valutazione dei **potenziali rischi** → adozione di misure di mitigazione ad hoc a partire dalla **fase progettuale**
- !! Modellazione del comportamento delle argille → **valutazione quantitativa** del **rischio**
- !! Importanza della **scelta del fluido di scavo e di lubrificazione** → impiego di miscele ad hoc con parametri controllati
- !! Pianificazione ed **operatività 7/7** → riduzione dei tempi di esecuzione e del possibile rischio di chiusura del sovrascavo
- !! Eventuale **piano di intervento** → garanzia di completamento dell'opera



MICROTUNNEL COMPLETATI CON SUCCESSO