

Seconda edizione

Italia
NODIG
LIVE 2025



Premio
"Milco Anese"

11 GIUGNO



***REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA DN800 IN
GRES CON TECNOLOGIA MICROTUNNELLING IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E DELLA
LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE A RIDOSSO
DI PONTE DELLA GOBBA IN COMUNE DI
TREVISO***

ENKI
INGEGNERIA

ING. ANDREA MAZZETTI, DIRETTORE TECNICO,
ENKI S.R.L. SOCIETA' DI INGEGNERIA

Parco Esposizioni Novegro - 11 giugno 2025

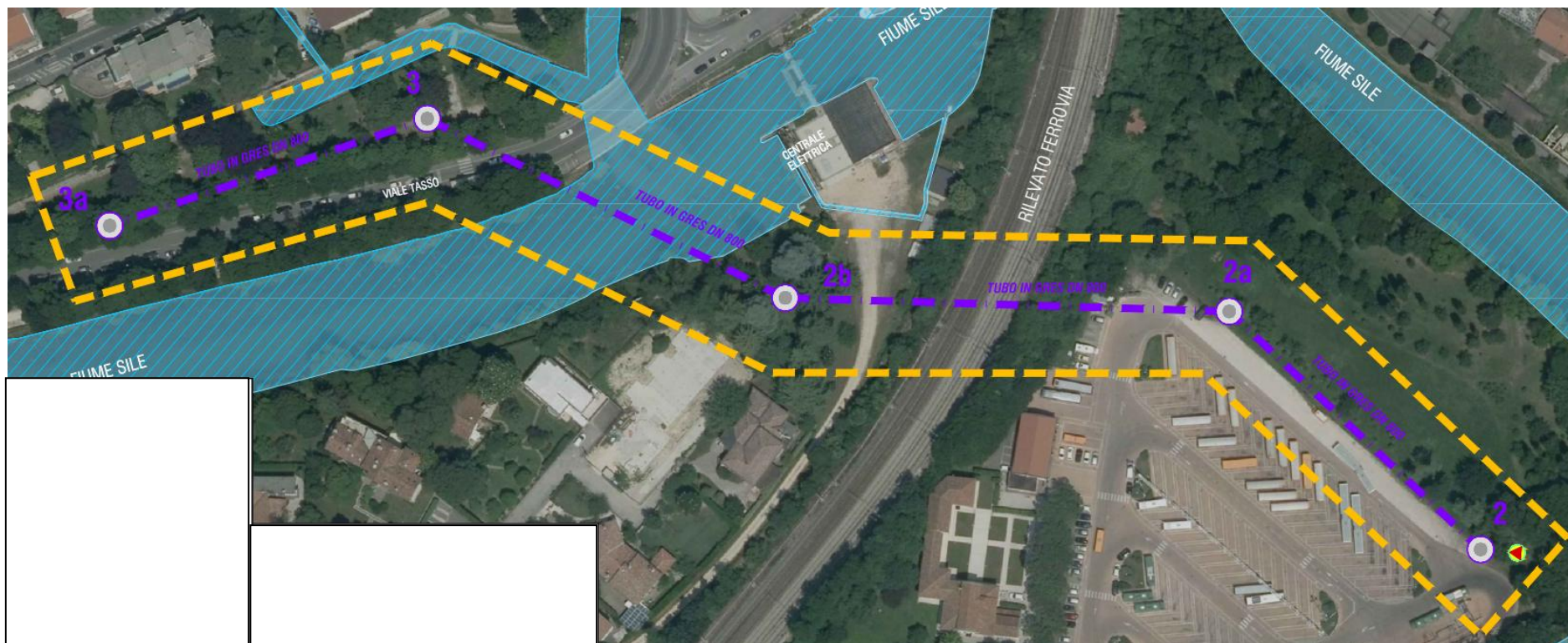
Alto Trevigiano Servizi S.p.A. ha sviluppato un progetto generale di fognatura del territorio comunale di Treviso, con particolare riferimento al centro storico, che risulta parzialmente coperto da rete fognaria.

A sud il centro è lambito dal fiume Sile, che ha profondità ragguardevoli rispetto al piano stradale delle aree limitrofe (circa 5 metri, con punte di 7 metri nella zona della centrale idroelettrica di Ponte della Gobba).

Il progetto generale ha preso in considerazione l'ipotesi di posare parte dei collettori principali con tecnica no-dig (senza scavo), ovvero con microtunnelling.

Il ricorso al microtunnelling ha lo scopo principale di realizzare delle dorsali profonde verso le quali far confluire le reti secondarie, slegando il profilo delle condotte dalla topografia del suolo e riducendo così il numero degli impianti di sollevamento e gli oneri manutentivi ad essi legati.

I lavori oggetto della presentazione riguardano una prima tratta dei collettori realizzati in microtunnelling GRES DN800, quella di attraversamento del fiume Sile presso la centrale di Ponte della Gobba e di attraversamento della linea ferroviaria Treviso-Udine



Inquadramento planimetrico tratte microtunnelling e pozzi spinta/arrivo

La condotta posata è caratterizzata da 4 spinte in microtunnelling e 5 pozzi di arrivo e spinta:

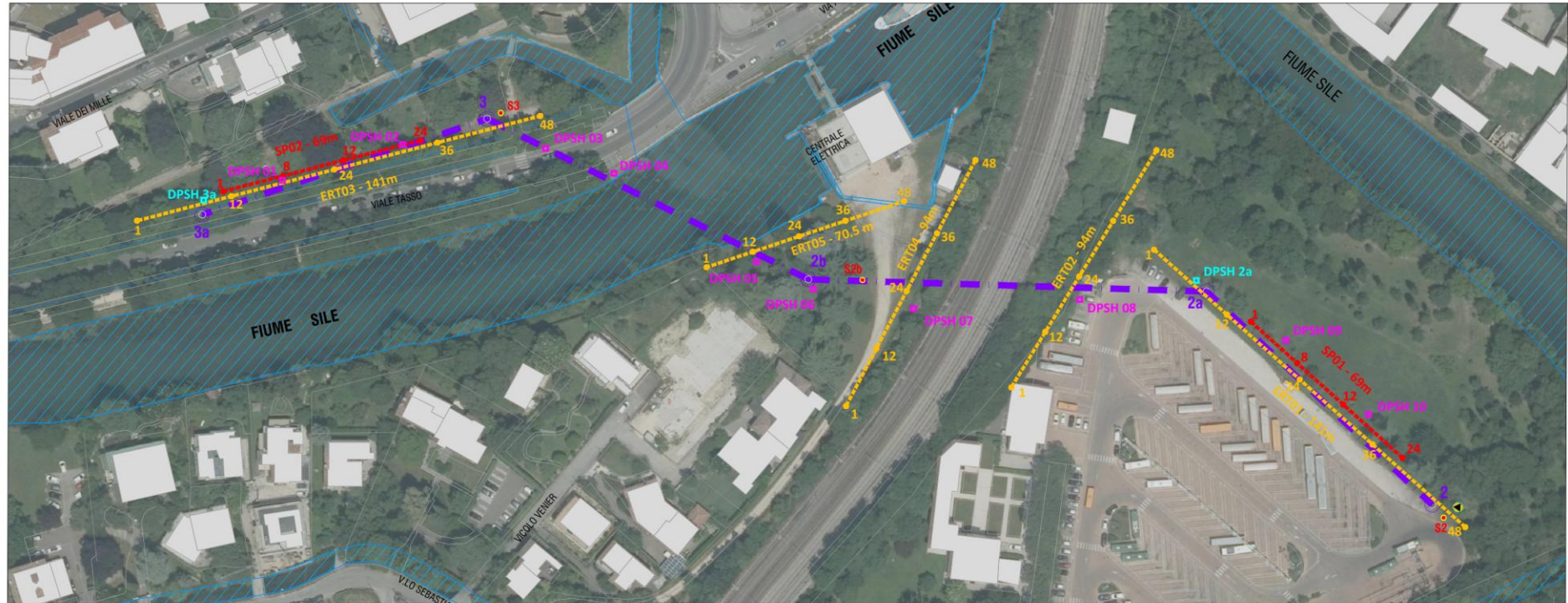
- 1) spinta pozzo 2 – pozzo 2a lunghezza $L = 102$ m;
- 2) spinta pozzo 2a - pozzo 2b sottoattraversamento della linea ferroviaria Treviso – Udine lunghezza $L = 135$ m;
- 3) spinta pozzo 3 – pozzo 2b sottoattraversamento del fiume Sile lunghezza $L = 122$ m;
- 4) spinta pozzo 3 – pozzo 3a lunghezza $L = 98$ m.

La caratterizzazione geotecnica si è basata sui risultati di una serie di diverse campagne di indagini geognostiche e geofisiche che hanno interessato gli orizzonti oggetto di perforazione.

I saggi geognostici e le indagini geofisiche sono stati eseguiti in corrispondenza dell'areale di realizzazione dei pozzi autoaffondanti e della giacitura della perforazione microtunnelling e con macchina perforatrice su chiatta anche in corrispondenza dell'alveo del fiume Sile.

In generale, sulla base dei sondaggi, indagini ed analisi eseguite, è risultato evidente che il sottosuolo fosse costituito da un'alternanza di terreni di natura coesiva a consistenza bassa e molto bassa e terreni grossolani con buone caratteristiche meccaniche e di permeabilità, ma con distribuzione verticale ed orizzontale eterogenea, di cui:

- LIV.01) livelli superficiali di riporto storico con spessore variabile da pochi centimetri fino a 3 metri;
- LIV.02) entro i primi 6-7 metri da p.c. in generale si osserva una fitta alternanza di terreni coesivi di natura limoso-argillosa e granulari di natura sabbioso-ghiaiosa;
- LIV.03) al di sotto di 6-7 metri da p.c. si rinviene la presenza di materiali granulari prettamente ghiaiosi in matrice sabbioso-limosa caratterizzati da buona consistenza.



LEGENDA

PROGETTO
 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO
 OPERE ELETTROMECCANICHE ESCLUSE DAL PRESENTE APPALTO

Fognatura di progetto
 DN 800

POZZETTO AUTOAFFONDANTE CIRCOLARE
 DIAMETRO INTERNO 3.20 m - SPESSORE 0.25 m

INDAGINI GEOTECNICHE

HS4 Sondaggio geognostico

DPSH Prova penetrometrica DPSH (anno 2019)

DPSH Prova penetrometrica statica (anno 2020)

INDAGINI GEOFISICHE

ERT00 Stendimento geoelettrico anno (2020)

SPO0 Stendimento sismico (anno 2020)

Inquadramento planimetrico indagini geognostiche e geofisiche

I litotipi rinvenuti sono caratteristici delle aeree alluvionali, e in termini di perforazione microtunnelling vengono definiti:

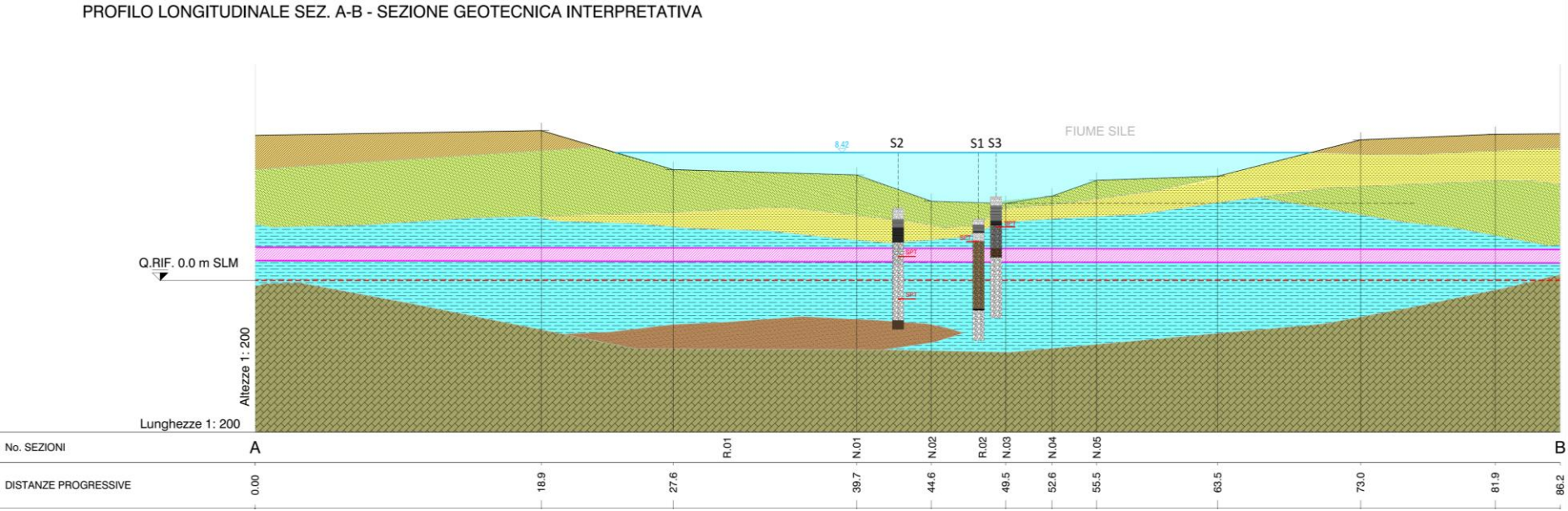
“HARD MIXED GROUND” o “MISTO PESANTE”

ove rispetto alla matrice incassante coesiva, LIMOSA SABBIOSA e/o LIMO-ARGILLOSA, si rivengono SABBIE CON GHIAIA ETERODIMENSIONALE con CIOTTOLI e RARI TROVANTI.

In termini idrogeologici si evidenzia il livello di falda è praticamente coincidente con il piano di campagna.

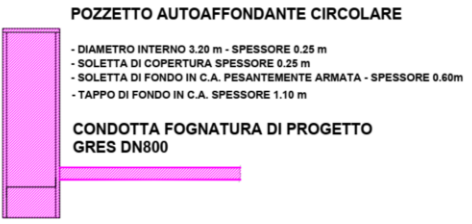
I dati geognostici e geofisici disponibili sono stati interpretati in maniera correlata e hanno permesso la definizione di una serie di sezioni geotecniche interpretative.

PROFILO LONGITUDINALE SEZ. A-B - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA



LEGENDA SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA

- TERRENO DI RIPORTO**
TERRENO ATTRIBUIBILE A RIMANEGGIAMENTO/MESSA IN POSTO PER CAUSE ANTROPICHE
- STRATO 1**
TERRENI DI NATURA MISTA (GRANULARE E COESIVA) A BASSA CONSISTENZA - SABBIE DEBOLMENTE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI DEBOLMENTE SABBIOSI
- STRATO 2**
TERRENI DI NATURA GRANULARE A CONSISTENZA DA MEDIO-BASSA A MEDIA. GHIAIE E SABBIE IN ABBONDANTE MATRICE LIMOSO SABBIOSA E LIMOSO ARGILLOSA.
- STRATO 3** TERRENI DI NATURA COESIVA A CONSISTENZA BASSA - ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI GRIGI
- STRATO 4** TERRENI DI NATURA GRANULARE A MEDIA ED ELEVATA CONSISTENZA- GHIAIE ETERODIMENSIONALI IN MATRICE LIMOSO-SABBIOSA
- STRATO 4*** TERRENI DI NATURA GRANULARE A MEDIA ED ELEVATA CONSISTENZA- GHIAIE ETERODIMENSIONALI IN ABBONDANTE MATRICE LIMOSO-SABBIOSA
- STRATO 5** TERRENI DI NATURA GRANULARE AD ELEVATA CONSISTENZA - GHIAIE ETERODIMENSIONALI IN MATRICE LIMOSO-SABBIOSA
- STRATO 6** TERRENI DI NATURA GRANULARE - SABBIA MEDIO FINE DEBOLMENTE LIMOSA



Sezione geotecnica interpretativa spinta 3 – 2b

Relativamente alla valutazione della permeabilità, si evidenzia che in ragione dei materiali caratterizzanti le tratte di perforazione, nei quali è predominante una matrice con componente fina e coesiva, è stato possibile ipotizzare un comportamento semi-permeabile, per cui la serie di prove eseguite ha permesso di definire che gli orizzonti di perforazione fossero assimilabili a materiali con grado di **permeabilità medio**, assumendo un valore pari a $1,00E-04$ m/s.

Relativamente ad ulteriori parametri di cui:

- UCS, resistenza a compressione o Unconfined Compressive Strength,
- CAI, o Cerchar Abrasiveness Index,

sono stati eseguiti delle analisi di laboratorio e delle correlazioni fra UCS e CAI per cui è stato possibile quantificare dei valori come riportato di seguito.

MICROTUNNELLING DN800 - TRATTA 3 - 2b - SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE				
DESCRIZIONE		PARAMETRO	VALORE	NOTE
COLTRE DI DEPOSITI ALLUVIONALI IN PREVALENZA GROSSOLANI CON COMPONENTE FINE E COESIVA COSTITUITA LIMOSA SABBIOSA E LIMO ARGILLOSA E COMPONENTE GROSSOLANA DA GHIAIE ETERODIMENSIONALI CON CIOTTOLI E RARI TROVANTI	MATRICE INCASSANTE FINE E COESIVA - LIMOSA SABBIOSA E LIMO ARGILLOSA	Permeabilità media k [m/s]	1,00 E-04	Semi-permeabile
	COMPONENTE GROSSOLANA - GHIAIE ETERODIMENSIONALI CON CIOTTOLI E RARI TROVANTI	UCS - Resistenza monoassiale [Mpa]	UCS 100/150	UCS > 100 MPa HARD MIXED GROUND
		CAI - Cerchar Abrasivity Index	1,5/2,0	Abrasivo
	"GRANULAR QUITE COMPACT" E/O "GRANULAR COMPACT"	FSST - SOIL CLASSES	4 - 6	GRANULARI GHIAIOSI

Abaco parametri geotecnici sottoattraversamento linea ferroviaria Treviso-Udine

Il valore della Jacking Force, o forza di spinta, rappresenta una dei principali parametri che viene quantificato a livello progettuale e monitorato durante le operazioni di perforazione.

IL VALORE TOTALE DELLA JACKING FORCE È DATO DA UNA COMPONENTE ASSIALE ED UNA ATTRITIVA.

La componente assiale R_p , è legata ai parametri geotecnici del materiale perforato, e direttamente alla guida del Driver per ottenere i massimi ratei di perforazione.

La componente attritiva F è invece legata a scelte tecniche quali l'overcut, la lubrificazione, il ricorso a stazioni intermedie e le pause di perforazione.

La spinta necessaria per la realizzazione di un'opera microtunnelling, P_{total} è pari alla somma di diverse forze:

- la risultante F delle forze d'attrito nelle due componenti, di cui F_{fr} dinamico, che si genera lungo la superficie laterale dello scudo e del treno di tubazioni
- F_{int} statico delle forze d'attrito addizionali legate ai periodi di interruzione dei lavori
- R_p la resistenza che il terreno complessivamente esercita sul fronte di perforazione

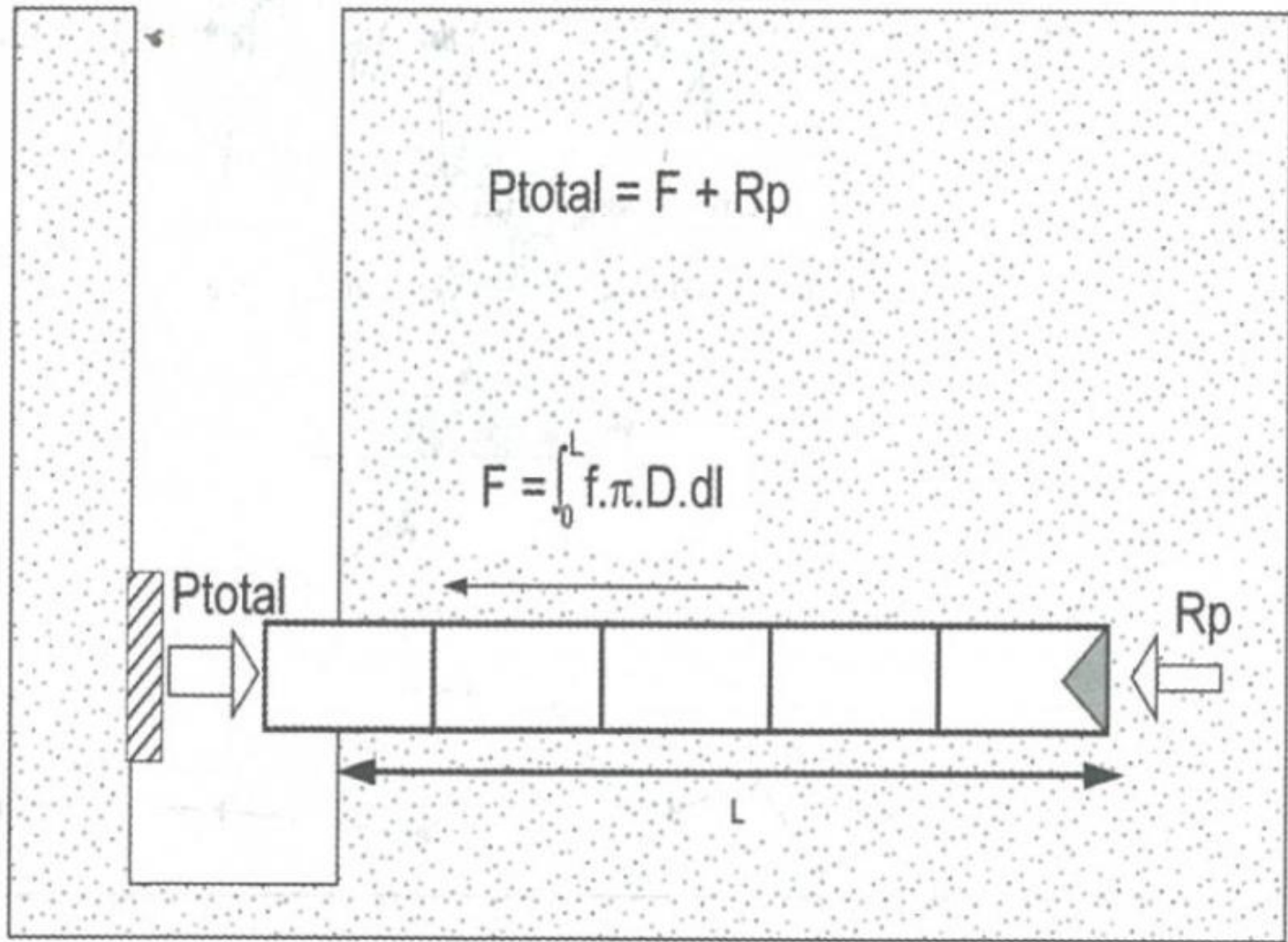


Figura estratta da FSST French Society for Trenchless Technology, Figure 3.7, ISTE Ltd 2010, “Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”

La quantificazione dei valori totali di spinta è stata eseguita in accordo alle raccomandazioni della FSST French Society for Trenchless Technology (2010), per cui le prescrizioni progettuali hanno previsto il ricorso ad un'adeguata lubrificazione in termini qualitativi e quantitativi.

In ragione del contesto geotecnico di perforazione, **“HARD MIXED GROUND” o “MISTO PESANTE”**, il fronte di scavo è stato ipotizzato cautelativamente come potenzialmente instabile, ma in ragione della contropressione di lubrificazione prescritta è stato considerato operativamente stabile.

Per le spinte maggiormente impegnative, in sottoattraversamento dell'alveo del fiume Sile e della linea ferroviaria Treviso – Udine è stato prescritto il ricorso a stazione intermedia.

I valori delle lunghezze di spinta di progetto sono stati quantificati sulla base dei valori di spinta massima attesa e di lunghezza consigliata, come riportato in tabella seguente, estratta da UNI/PdR 26.2:2017 paragrafo 6.3.3.7

MICROTUNNELLING DN800 - TRATTA 2b - 2a				
DESCRIZIONE		PARAMETRO	VALORE	NOTE
COLTRE DI DEPOSITI ALLUVIONALI IN PREVALENZA GROSSOLANI CON COMPONENTE FINE E COESIVA COSTITUITA LIMOSA SABBIOSA E LIMO ARGILLOSA E COMPONENTE GROSSOLANA DA GHIAIE ETERODIMENSIONALI CON CIOTTOLI E RARI TROVANTI	MATRICE INCASSANTE FINE E COESIVA - LIMOSA SABBIOSA E LIMO ARGILLOSA	Permeabilità media k [m/s]	1,00 E-04	Semi-permeabile
	COMPONENTE GROSSOLANA - GHIAIE ETERODIMENSIONALI CON CIOTTOLI E RARI TROVANTI	UCS - Resistenza monoassiale [Mpa]	UCS 100/150	UCS > 100 MPa HARD MIXED GROUND
		CAI - Cerchar Abrasivity Index	1,5/2,0	Abrasivo
	"GRANULAR QUITE COMPACT" E/O "GRANULAR COMPACT"	FSST - SOIL CLASSES	4 - 6	GRANULARI GHIAIOSI
	SPINTA TOTALE ATTESA SCAVO INSTABILE NO STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$ [kN]	3.100	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=135 m
	SPINTA TOTALE ATTESA SCAVO STABILE NO STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$ [kN]	2.284	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=135 m
	SPINTA TOTALE ATTESA SCAVO INSTABILE STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$ [kN]	2.191	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=135 m
	SPINTA TOTALE ATTESA SCAVO STABILE STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$ [kN]	1.788	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=135 m

Abaco parametri geotecnici sottoattraversamento linea ferroviaria Treviso-Udine

Diametri nominali teste fresanti e relativi diametri esterni e lunghezze perforabili

Diametro interno* [mm]	Diametro esterno [mm]	Lunghezze di spinta [m]
400	556	80
500	661	80
600	766	120÷150
700	870	120÷150
800	1100	120÷150
1000	1280	200
1200	1490	200**
1400	1720	>250**
1500	1820	>250**
1600	1940	>250**
2000	2500	>400**
2500	3000	>400**
3000	3600	>400**

(*) Riferimento al Di delle tubazioni in c.a.v.. Per le tubazioni in Gres e PRFV per i medesimi diametri esterni si potranno si potranno posare tubazioni con diametri interni anche maggiori.

(**) Per distanze superiori ai 120 m si consiglia l'utilizzo di una o più stazioni intermedie così da parzializzare la spinta in tratti di lunghezza ridotta. Il calcolo ed il numero di stazioni intermedie va valutato per ciascun caso specifico.

Tabella estratta da UNI/PdR 26.2:2017 (2017), paragrafo 6.3.3.7

Si evidenzia che il valore massimo di spinta atteso era compreso in un range compreso fra 1.788 kN e 3.100 kN.

La testa microtunnelling utilizzata, sulla base delle dichiarazioni dell'Impresa Esecutrice, era in grado di produrre una forza massima di spinta di 1.800 kN.

Sempre sulla base delle indicazioni e dei tabulati forniti dall'Impresa Esecutrice, durante la spinta di massima lunghezza, **PARI A L = 135 ,m** in sottoattraversamento della linea ferroviaria Treviso – Udine, in cui è stata garantita una costante e regolare lubrificazione della condotta con conci valvolati ogni 16 m, e l'utilizzo di stazione intermedia, la massima pressione di spinta registrata è stata intorno a **1.600 kN**

L'individuazione del materiale idoneo costituente il tubo per la posa a spinta, ha rappresentato un elemento cruciale per la buona riuscita del progetto.

Relativamente al progetto in oggetto, la scelta del materiale è ricaduta su condotte in GRES ceramico, in quanto i tubi in GRES, nel range delle perforazioni di progetto DN800 evidenziano le migliori caratteristiche meccaniche e la migliore compatibilità chimica.

Le caratteristiche intrinseche del materiale GRES conferiscono alla condotta un'elevata resistenza all'aggressione chimica, all'abrasione e una prestazione meccanica di assoluto valore, che permette di assicurare la stabilità dell'elemento nel tempo garantendo così la durata negli anni dell'opera realizzata.

Una tubazione in GRES ceramico è caratterizzata da:

- elevata inerzia chimica;
- ottima resistenza all'abrasione;
- bassa scabrezza;
- durata nel tempo pressoché illimitata;
- bassi costi di gestione e manutenzione.



Tubo GRES DN800



Stoccaggio tubi GRES DN800

Tabella 7 - Tubi in gres ceramico: Dimensioni e forze massime di spinta ammesse

DN [mm]	Di [mm]	De [mm]	S. [mm]	FN kN/m	Spinta max (1) [kN]	L [mm]
150	149 +0/-2,5	213 +0/-4	32	64	210	1.000
200	199 +0/-3	276 +0/-6	38,5	80	350	1.000
250	250 +0/-3	360 +0/-6	55	130	810	1.000/2.000
300	299 +0/-5	406 +0/-10	53	120	1.000	1.000/2.000
400	400 +0/-6	556 +0/-12	78	160	2.350	1.000/2.000
500	498 +0/-7,5	661 +0/-15	81,5	140	3.000	2.000
600	599 +0/-9	766 +0/-18	83,5	120	3.100	2.000
700	695 +0/-12	870 +0/-24	87,5	140	3.300	2.000
800	792 +0/-12	970 +0/-24	89	128	3.700	2.000
900	891 +0/-12	1096 +0/-28	102,5	140	4.700	2.000
1.000	1056 +0/-15	1275 +0/-30	109,5	120	5.700	2.000
1.200	1249 +0/-18	1475 +0/-36	113	114	6.400	2.000
1.400	1400 +0/-30	1630 +0/-60	115		4.500	2.000

⁽¹⁾ Le forze di spinta massime ammissibili $F_{\max}$ sono da intendersi per spinta rettilinea in condizioni di spinta perfettamente centrata con la superficie di contatto dei giunti completamente aderente.

Tabella estratta da UNI/PdR 26.2:2017 (2017), paragrafo 7.3.4

Per la realizzazione dei pozzi di lancio e di arrivo, si è ricorsi alla tecnologia autoaffondante, che ha previsto l'utilizzo di conci prefabbricati di forma circolare, con scavo e posa dal piano di campagna fino alla profondità di progetto, nel caso in oggetto pari a **circa 12 m all'intradosso del tappo di fondo.**

Tutte le operazioni di escavazione e posa sono avvenute a camera bagnata con livello di falda praticamente coincidente con il piano di campagna.

La complessa stratigrafia dell'area insieme alla presenza della falda, hanno indotto rilevanti difficoltà nello svolgimento delle operazioni di infissione dei conci.

In particolare, l'alternanza dei livelli di materiale coesivo fortemente attritivo e di livelli di materiale grossolano hanno rallentato ed in qualche occasione fermato l'infissione dei conci prefabbricati.

Si riportano delle foto relative all'utilizzo di zavorre pari a circa 60 ton, disposte in opera per aiutare l'infissione.

In ragione delle tempistiche di realizzazione dei primi 3 pozzi e delle difficoltà di realizzazione incontrate, in accordo con la Stazione Appaltante e con l'Impresa Esecutrice, per gli ultimi 2 pozzi autoaffondanti in prossimità delle mure storiche di Treviso, si è provveduto alla realizzazione di preliminar coronella di micropali.

La realizzazione della coronella di micropali, costituita da micropali D200 armati con barre autoperforanti D90, con interasse $i=30$ cm e lunghezza di infissione $L=13.50$ m, ha permesso l'infissione dei conci prefabbricati con tempistiche estremamente ridotte, nell'ordine di 5 gg lavorativi, ed in generale un miglioramento della gestione dell'acqua in camera, in quanto la presenza dei micropali ha probabilmente indotto una diminuzione della permeabilità del volume di terreno interessato dall'infissione del pozzo.

In ragione della presenza di falda al p.c., i manufatti dei pozzi autoaffondanti sono stati verificati a galleggiamento, e nel caso del tappo di fondo, al fine di garantire le condizioni di stabilità prima della realizzazione della soletta di fondo, è stato necessario ricorrere alla posa in opera di zanche metalliche.

In termini di condizioni di esercizio, si è previsto la realizzazione della soletta di fondo armata, che ha garantito la collaborazione del tappo di fondo e della soletta stessa contro le pareti del tappo di fondo garantendo la verifica al galleggiamento.



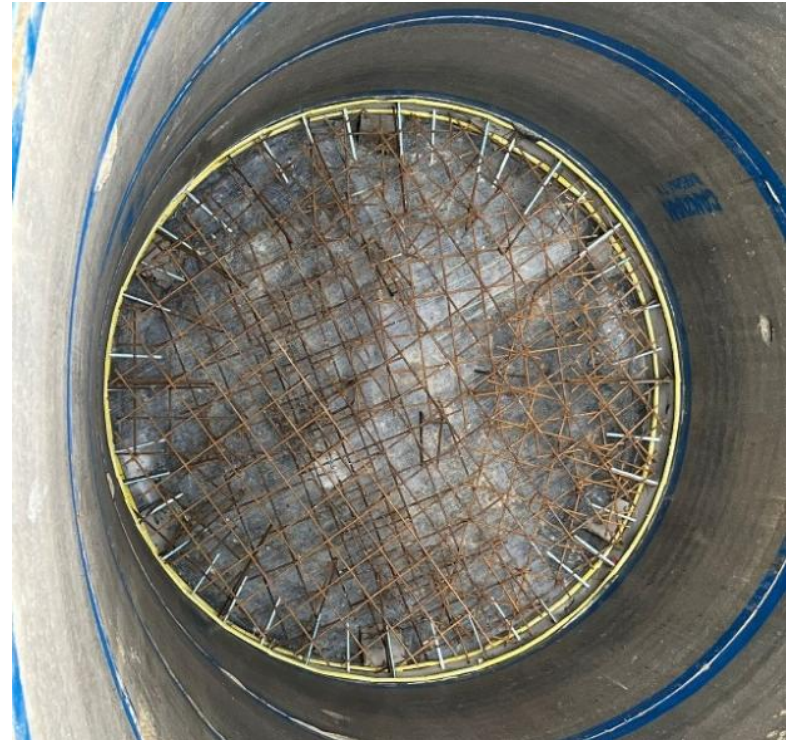
Concio pozzo autoaffondante con zanche



Pozzo autoaffondante scavo a camera bagnata



Concio pozzo autoaffondante con zavorre



Pozzo autoaffondante platea di fondo



Organizzato da IATT

La testa di perforazione utilizzata è basata su un corpo macchina HERRENKNECHT tipo AVN800, con condizionamento sito specifico degli utensili di perforazione.

L'Impresa Esecutrice in ragione dei dati geognostici e geotecnici disponibili ha predisposto un condizionamento della testa sito specifico costituito da un insieme di differenti utensili, quali cutting wheels, cutters e scaper, ed ad una calibrata apertura del fronte testa per permettere il passaggio del materiale fresato.

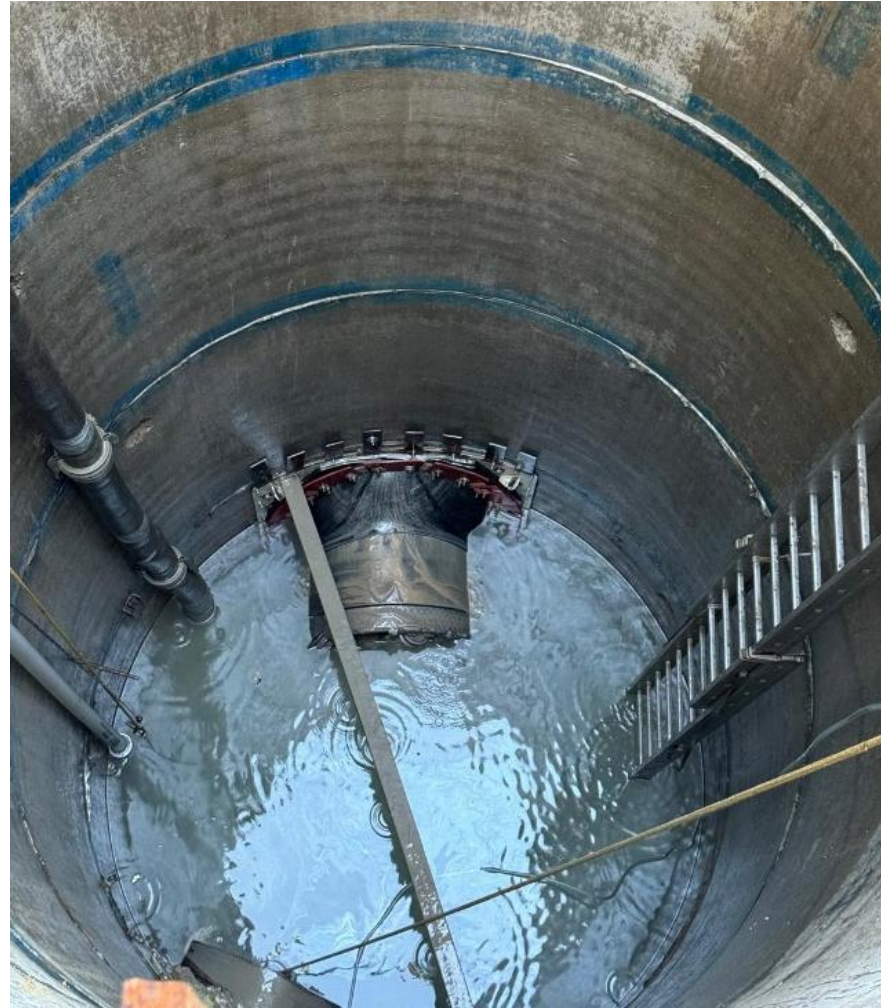
Le prescrizioni progettuali prevedevano il ricorso all'utilizzo di stazione intermedia per le tratte in sottoattraversamento del fiume Sile e della linea ferroviaria Treviso – Udine.

Si evidenzia che il montaggio della stazione intermedia è stato eseguito in corrispondenza della mezzeria delle tratte di perforazione pozzo 3 – 2b e pozzo 2a – 2b.

L'utilizzo della stazione intermedia insieme alla regolare lubrificazione hanno garantito il contenimento dei massimi valori di spinta perforazione in linea con le previsioni progettuali



Testa fresante ad inizio perforazione



Testa fresante ad uscita pozzo arrivo



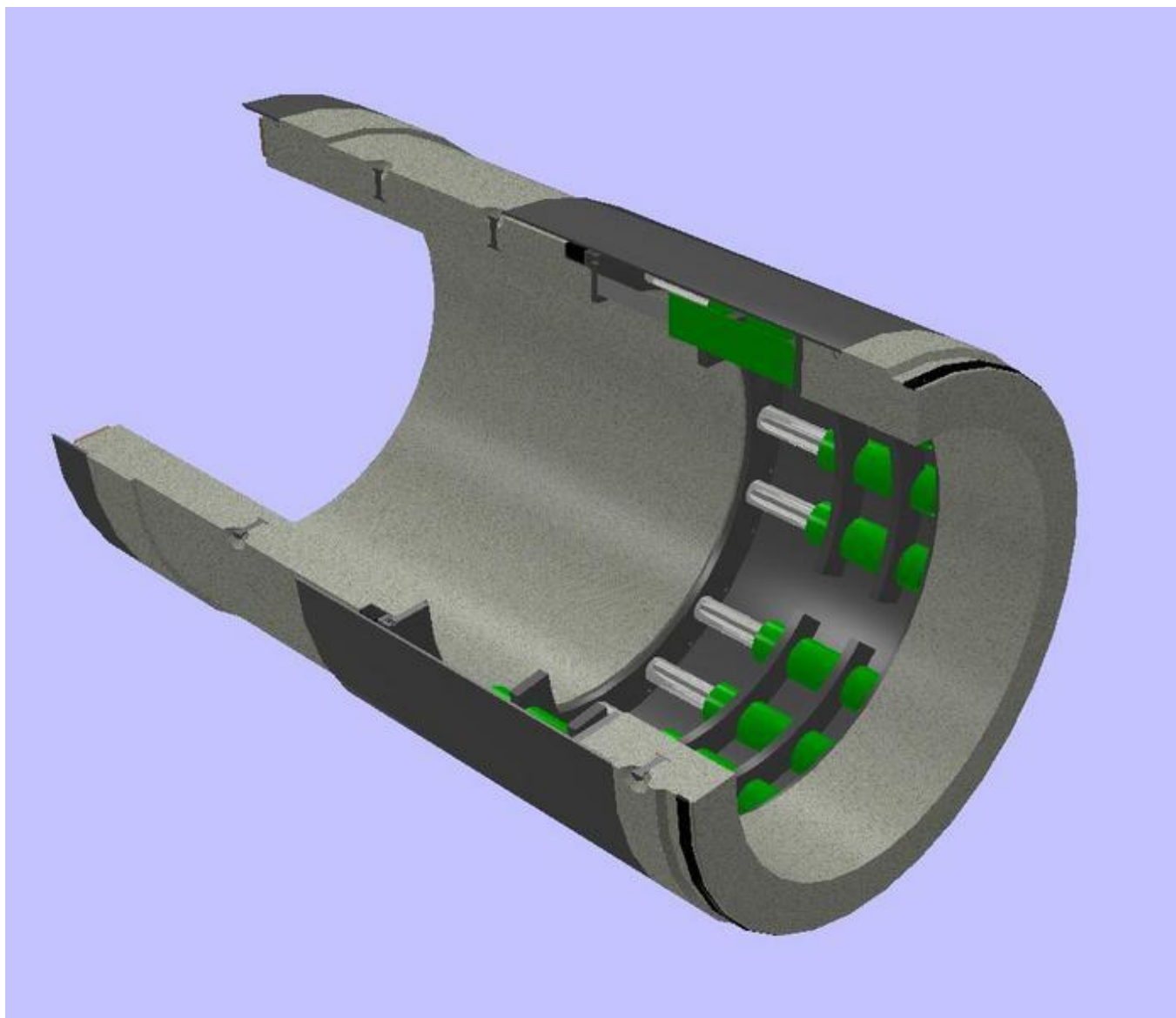
Testa fresante fine perforazione



Particolare utensile testa fresante



Stazione intermedia



Sezione tipologia stazione intermedia

Relativamente al collaudo della condotta, si evidenzia che sono state eseguite una serie di videoispezioni e di controlli diretti dei pozzetti autoaffondanti, verificando direttamente lo stato “asciutto” delle condotte.

Si evidenzia che lo stato “asciutto” come verificato dalle videoispezioni risulta particolarmente rilevante, in quanto le condotte in considerazione della presenza di falda acquifera al p.c. sono sottoposte a pressione idraulica esterna con valori medi compresi fra 800 kPa e 900 kPa.

In termini ridondanti e di ulteriore verifica, le condotte sono state collaudate ad aria ex UNI EN 1610 con pressione di prova pari a 200 kPa che ha confermato l’esito positivo della tenuta delle condotte come riscontrato dalle video ispezioni.



Estratto video ispezione tratta 2b – 2a



Estratto video ispezione tratta 3 – 2b

CONCLUSIONI

La realizzazione di una estesa e dettagliata campagna di indagini geognostiche e geofisiche ha permesso la caratterizzazione in fase di progetto degli orizzonti di perforazione.

L'Impresa esecutrice ha eseguito condizionamento sito specifico della testa di perforazione che ha garantito la corretta esecuzione delle attività.

Durante le attività di perforazione le prescrizioni progettuali di ricorso all'utilizzo di stazione intermedia e di lubrificazione hanno permesso la gestione ed il contenimento dei massimi valori di spinta in linea con le previsioni progettuali.

Le attività di collaudo con video ispezione e verifica di tenuta ad aria hanno confermato l'esito positivo delle attività di posa e di tenuta delle condotte, in presenza di falda acquifera al p.c. e pressione idraulica esterna con valori medi compresi fra 800 kPa e 900 kPa