

Paper n° 8

**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**

ING. ANDREA MAZZETTI

¹ ENKI S.R.L. SOCIETA' DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

1. INTRODUZIONE

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. In particolare, il centro storico è caratterizzato da una fitta rete idrografica, con i canali Siletto, Buranelli, Cagnan e Fossa delle Convertite che dividono il centro in cinque macroaree. 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 microtunneling. Il ricorso al microtunneling 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. Con i tracciati individuati questo si traduce in una riduzione del numero di sollevamenti del centro storico da 10 a 4, questi ultimi tutti di potenzialità ridotta. Da sottolineare che il diminuire degli impianti presenti all'interno delle mura cittadine costituisce un beneficio logistico importante data la difficoltà con cui si potrebbero operare le operazioni di manutenzione (manutenzione opere elettromeccaniche, spurgo pozzi, ecc.) nel contesto cittadino. I lavori oggetto del presente paper riguardano una prima tratta dei collettori realizzati in microtunneling GRES DN800, quella di attraversamento del fiume Sile presso la centrale di Ponte della Gobba e di attraversamento della linea ferroviaria Treviso-Udine.

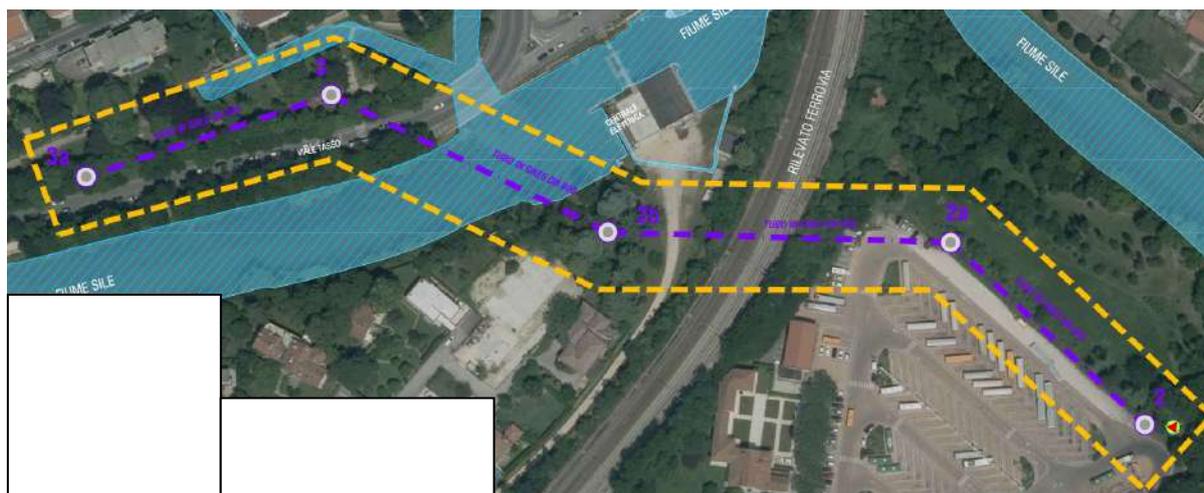


Figura 1. Inquadramento planimetrico tratta microtunneling

La condotta da posare è caratterizzata da 4 spinte in microtunneling e 5 pozzi di arrivo e spinta, di cui:

- 1) spinta pozzo 2 – pozzo 2a lunghezza L= 102 m;
- 2) spinta pozzo 2° - 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.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOSTRUTTURALE

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.

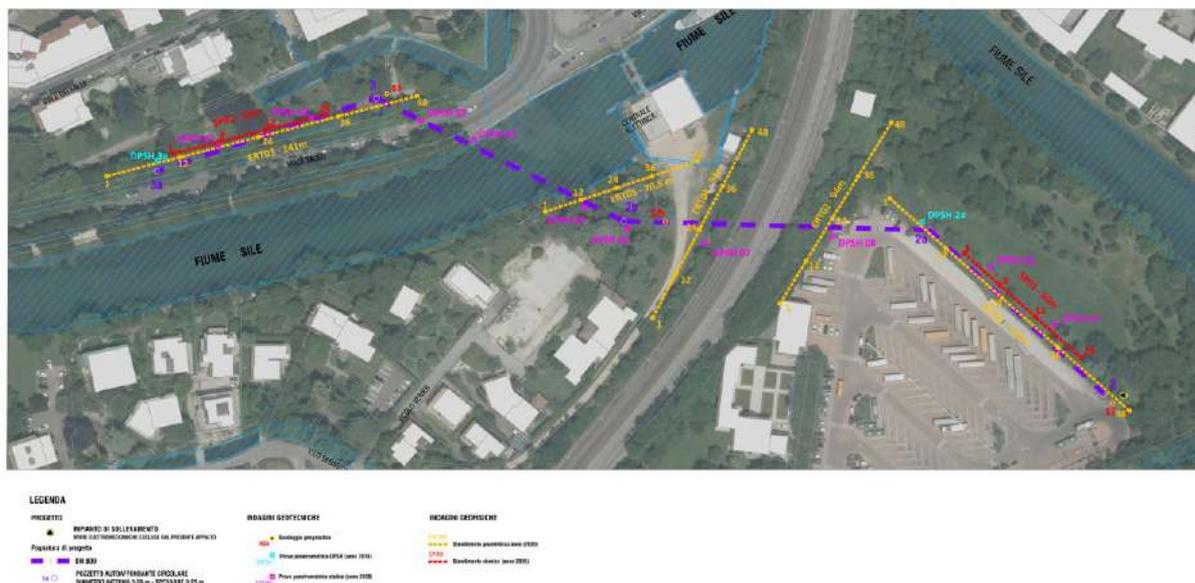


Figura 2. Inquadramento indagini geognostiche e geofisiche

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.

I litotipi rinvenuti nei sondaggi, relativi agli orizzonti di perforazione sono quindi riferibili a:

- A01) SABBIE CON GHIAIA ETERODIMENSIONALE con CIOTTOLI e RARI TROVANTI $\phi > 10$ cm;
- A02) in tutti la matrice incassante è LIMOSA SABBIOSA e/o LIMO-ARGILLOSA.

I litotipi sopra indicati sono caratteristici delle aree 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. Sulla base dei dati è stato quindi possibile definire il principale orizzonte di perforazione caratterizzante le tratte di perforazione come **“HARD MIXED GROUND”** o **“MISTO PESANTE”**. 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, di cui si riporta a titolo di esempio in Figura 3 e Figura 4, la sezione e la legenda redatta per il sottoattraversamento dell'alveo del fiume Sile. La classificazione dei terreni è stata eseguita anche secondo quanto riportato da FSTT (2010) di cui in Figura 5 si riporta un estratto di alcune tabelle, per cui sulla base di una serie di studi ivi riportati, sono stati ipotizzati dei valori delle sollecitazioni attritive in funzione della tipologia di terreno. Sulla base dei risultati della serie di sondaggi, indagini ed analisi, si è quindi classificato il sottosuolo degli orizzonti di perforazione in un intervallo compreso fra la classe 4 “Granular quite compact” e la classe 6 “Granular compact”. 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 ai parametri di resistenza a compressione UCS, o Unconfined Compressive Strength, e

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 di seguito riportato nell'abaco riepilogativo in Tabella 1.

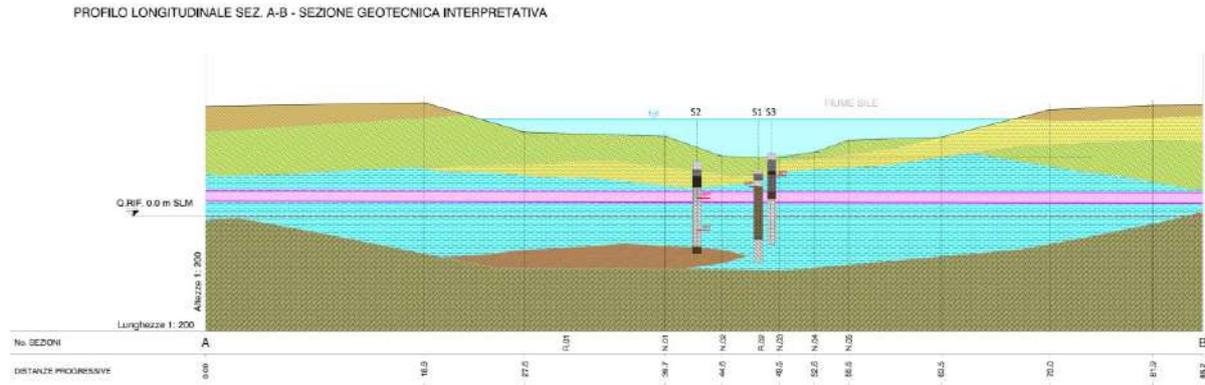


Figura 3. Sezione geotecnica interpretativa sottoattraversamento alveo fiume Sile

LEGENDA SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA



Figura 4. Legenda sezione geotecnica interpretativa sottoattraversamento alveo fiume Sile

Class of soil	Not lubricated			Lubricated			Soil class	γ (kN/m ³)	P_1 (MPa)	c_u (kPa)	Φ_u (°)	c' (kPa)	Φ' (°)
	f (kPa)	Number of linear	Values analyzed (ml)	f_{lub} (kPa)	Number of Linear	Values analyzed (ml)							
1 - Coherent soft	-	-	-	-	-	-	1 - Coherent soft	17	0.3	20	0	10	17
2 - Granular loose	7.9	3	82	1.8	2	204	2 - Granular loose	18	0.6	0	30	0	30
3 - Coherent quite stiff	5.6	2	44	3.1	2	153	3 - Coherent quite stiff	19	1	40	5	20	20
4 - Granular quite compact	6.5	6	152	2.0	6	320	4 - Granular quite compact	19	1.5	0	34	0	34
5 - Coherent stiff to hard	1.7	3	105	0.7	1	140	5 - Coherent stiff to hard	20	2.5	75	10	25	25
6 - Granular compact	3.1	3	110	6.9	4	210	6 - Granular compact	20	3	0	38	0	38

Figura 5. Estratto da FSTT (2010), Table 6.4 e Table 6.5

Tabella 1. Abaco riepilogativo parametri geotecnici sottoattraversamento alveo fiume Sile

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

3. JACKING FORCE

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 e F_{int} statico delle forze d'attrito addizionali legate ai periodi di interruzione dei lavori, ed infine la resistenza R_p che il terreno complessivamente esercita sul fronte di perforazione;

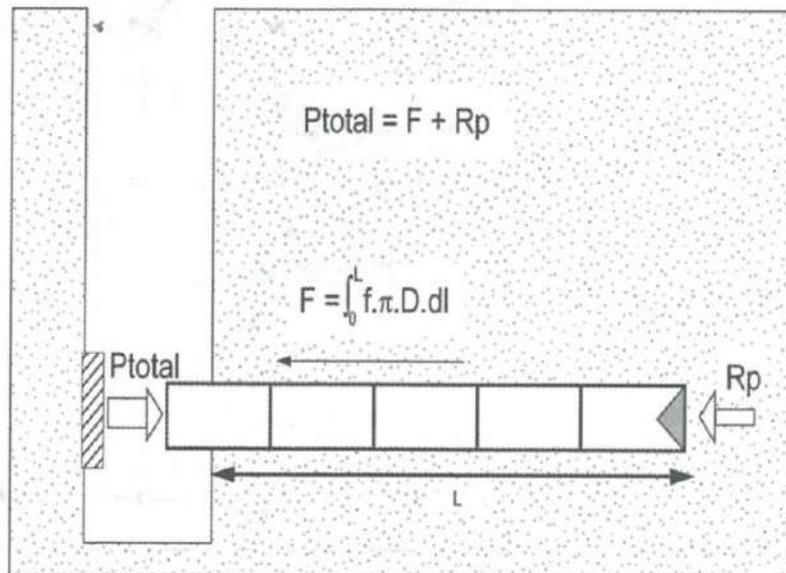


Figura 6. Estratto da FSTT (2010), Figure 3.7

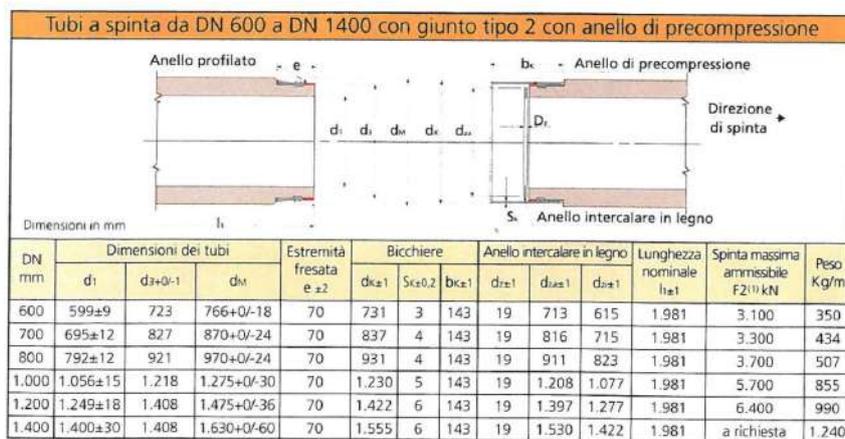
La quantificazione dei valori totali di spinta è stata eseguita in accordo alle raccomandazioni di FSTT (2010), per cui le prescrizioni progettuali hanno previsto il ricorso ad un'adeguata lubrificazione in termini qualitativi e quantitativi. In ragione del contesto geotecnico di perforazione, **“HARD 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. Inoltre, 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. Si riportano in Tabella 2 i valori attesi relativamente a diverse ipotesi operative, di cui spinta totale in condizioni di scavo stabile e/o instabile e/o con utilizzo di 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 3, estratta da UNI/PdR 26.2:2017 (2017), paragrafo 6.3.3.7. I valori attesi di spinta massima di progetto sono risultati inferiori ai valori massimi di spinta ammissibile per il cono GRES DN800 come disponibile nelle schede tecniche GRES, Figura 7, e da Tabella 4, estratta da UNI/PdR 26.2:2017 (2017), paragrafo 7.3.4

Tabella 2. Abaco parametri geotecnici sottoattraversamento linea ferroviaria Treviso-Udine

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

Con riferimento alla Tabella 2, 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 conchi valvolati ogni 16 m, e l'utilizzo di stazione intermedia, la massima pressione di spinta registrata è stata intorno a 1.600 kN, in linea con le previsioni progettuali.



⁽¹⁾ F₂ forza di spinta massima con controllo e registrazione automatica, valori di sicurezza 2 e 1,6.

Figura 7. Caratteristiche dimensionali e meccaniche tubi GRES

**Tabella 3. Tabella estratta da UNI/PdR 26.2:2017 (2017), paragrafo 6.3.3.7
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.

4. TUBI PER POSA A SPINTA

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.

Si evidenzia inoltre che in ragione degli orizzonti geotecnici incontrati, definibili come **“HARD MIXED GROUND”** o **“MISTO PESANTE”**, è apparso opportuno ricorrere ad un materiale che presentasse le più elevate caratteristiche meccaniche di resistenza a compressione, permettendo quindi ipotizzare delle spinte con maggiore lunghezza rispetto ad altri materiali. È inoltre opportuno evidenziare che la bassa scabrezza superficiale del GRES, unita ad una mirata lubrificazione laterale durante la perforazione, hanno permesso di ridurre notevolmente il contributo attrittivo del terreno, permettendo quindi di limitare la forza di spinta necessaria e rappresentando un elemento fondamentale per la riuscita delle spinte. Le tubazioni in GRES, come riportato in Figura 8a, per posa a spinta sono dotate di manicotto in acciaio V4A resistente alla corrosione conforme alla EN 295 con guarnizione in caucciù premontata e anello in legno PRESSPAN di trasmissione della pressione.



Figura 8. a) Tubo GRES DN800



b) Stoccaggio tubi GRES DN800

Tabella 4. estratta da UNI/PdR 26.2:2017 (2017), paragrafo 7.3.4

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.

5. POZZI AUTOAFFONDANTI

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. La tecnologia autoaffondante prevede la discesa degli elementi prefabbricati sovrapponibili, e la realizzazione in opera del tappo di fondo e della soletta di fondo armata. Come riportato in Figura 9.b, 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 riporta in Figura 10.a, la foto relativa 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 preliminare coronella di micropali, come riportato in dettaglio in Figura 11a e Figura 11b.

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, come riportato in Figura 9.a, che hanno garantito la solidarizzazione del tappo di fondo contro le pareti del pozzo e la verifica alle sollecitazioni di galleggiamento. In termini di condizioni di esercizio, si è previsto la realizzazione della soletta di fondo armata, come riportato in dettaglio in Figura 10b, che garantisce la collaborazione del tappo di fondo e della soletta stessa contro le pareti del tappo di fondo garantendo la verifica al galleggiamento.



Figura 9. a) Concio pozzo autoaffondante con zanche b) Pozzo autoaffondante scavo a camera bagnata



Figura 10. a) Concio pozzo autoaffondante con zavorre b) Pozzo autoaffondante platea di fondo

6. TESTA DI PERFORAZIONE – STAZIONE INTERMEDIA - COLLAUDO

La testa di perforazione è basata su un corpo macchina HERRENKNECHT tipo AVN800, con condizionamento sito specifico degli utensili di perforazione come riportato in Figura 12a. 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 mezziera 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. Relativamente alla durabilità della testa e degli utensili di perforazione, si riportano in Figura 12a e 12b, e Figura 13a e 13b, le foto della testa e degli utensili prima e dopo l'esecuzione di una delle spinte di progetto, per cui è stato possibile verificare che l'atteso elevato livello di usura degli utensili era in linea con le previsioni progettuali e dei tecnici dell'Impresa esecutrice. 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 come riportato in Figura 14a e 14b. 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.

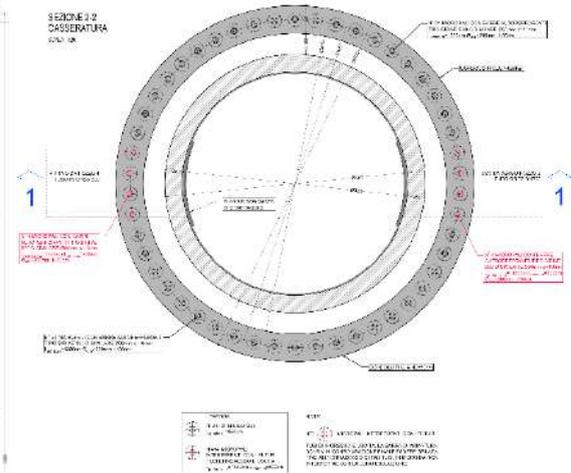
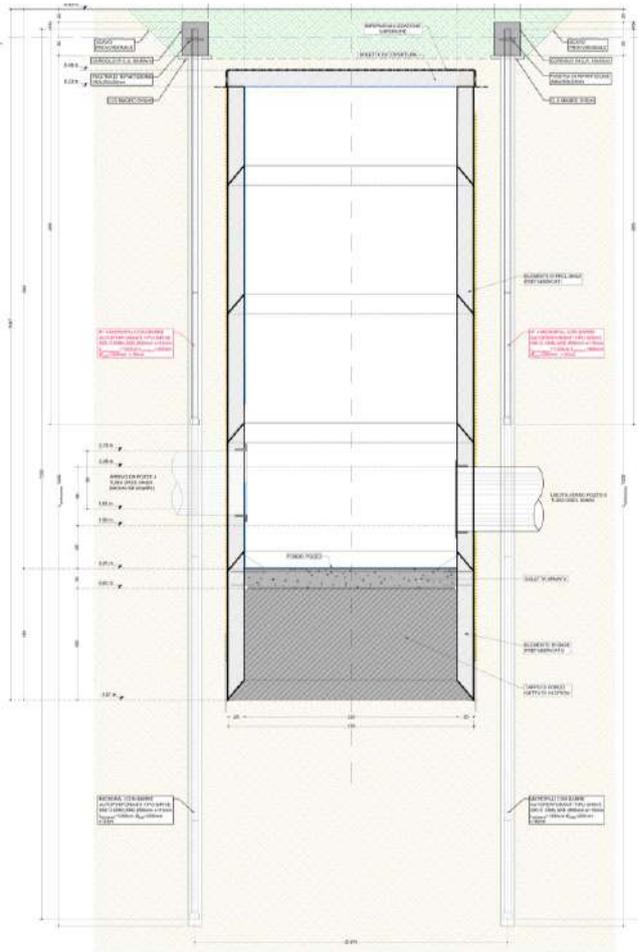


Figura 11. a) Costruttivo pozzo autoaffondante con coronella di micropali b) Sezione pozzo autoaffondante con coronella di micropali



Figura 12. a) Testa fresante ad inizio perforazione b) Testa fresante ad uscita pozzo arrivo



Figura 13. a) Testa fresante a fine perforazione



b) Particolare utensile testa fresante



Figura 14. a) Estratto video ispezione tratta 2b – 2a



b) Estratto video ispezione tratta 3 – 2b

7. 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

8. REFERENZE (in ordine alfabetico)

FSTT (French Society for Trenchless Technology), (2010). *Microtunneling and Horizontal Drilling: French National Project "Microtunnels" Recommendations*, Londra, ISTE

UNI/PdR 26:2017, (2017). *Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale - Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali*, Milano, UNI Ente Italiano di Normazione