

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.r.l.

MONTEBELLUNA



ALTO TREVIGIANO SERVIZI

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

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Tavola n.

R02.04

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA
ATTRAVERSAMENTO LINEA FERROVIARIA**

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.



ALTO TREVIGIANO SERVIZI

DIRETTORE - ing. Roberto Durigon
via Schiavonesca Priula, 86 - 31044 Montebelluna (TV)

Servizio Tecnico: UFFICIO NUOVE OPERE
tel. 0423-2928
fax 0423-292929
info@altotrevigianoservizi.it

PROGETTAZIONE



ing. Andrea Mazzetti - Enki s.r.l.

viale G.B. Lulli, 62 - 50144 Firenze
T. 055.3247209
info@enki.it

Data:

Novembre 2021

Aggiornato:

00

Codice Piano d'Ambito:

Codice commessa:

INDICE

1	PREMESSA	7
2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	7
	2.1 INQUADRAMENTO PLANIMETRICO TRATTE MICROTUNNELING	9
3	DESCRIZIONE TECNOLOGIA MICROTUNNELING	12
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	15
	4.1. PROFILI CONDOTTE FOGNARIE DN800 – TRATTO 2a – 2b.....	17
5	CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE	20
6	JACKING FORCE.....	21
	6.1 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 2b – 2a – ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO.....	25
	3.1 TUBI PER POSA A SPINTA.....	27
	3.2 SPECIFICHE TECNICHE TUBI PER POSA A SPINTA IN GRES	28
7	REALIZZAZIONE DI POZZI AUTOAFFONDANTI	30
	7.1 SPECIFICHE TECNICHE DEL POZZETTO.....	36
8	CANTIERE MICROTUNNELLING.....	40
9	MONITORAGGIO	47
	9.1 PARAMETRI DI SCAVO	47
	9.2 TRAIETTORIA.....	47
	9.3 FLUIDO DI PERFORAZIONE.....	48
	9.4 INIEZIONE A TERGO DELLE TUBAZIONI	49
10	PRESCRIZIONI TECNICO OPERATIVE SULLA PERFORAZIONE.....	50
	10.1 MTBM – DIAMETRI E LUNGHEZZE TRATTE PERFORAZIONE.....	50
	10.2 LUBRIFICAZIONE	53
	10.3 STAZIONI INTERMEDIE	54
11	PRESCRIZIONI TECNICHE ATTRAVERSAMENTO F.F.S.S. TRATTO 2a - 2b	56
12.1	SPECIFICHE TECNICHE CONDOTTA.....	57
12.2	SPECIFICHE TECNICHE GIACITURA CONDOTTA.....	58

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-A : Tecnica di posa condotte con microtunnelling	8
Figura 2-B : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling	10
Figura 2-C : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling	11
Figura 3-A : Schema cantiere microtunnelling	12
Figura 3-B : Schema cantiere microtunnelling – sezione	13
Figura 3-C : Schema cantiere microtunnelling	14
Figura 4-A : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2b – 2a	17
Figura 4-B : Estratto profili condotte fognarie LEGENDA	18
Figura 4-C : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2b – 2a	19
Figura 6-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”	21
Figura 6-B : Estratta da "Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Underground Space Technology, 2006, Elsevier	22
Figura 6-C : Estratto da seminario su "Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	23
Figura 6-D : Estratto da seminario su "Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	23
Figura 6-E : Distanza ottimale tra pozzi di spinta in spinte microtunnelling TMB SLURRY, estratto da "Chapman D. N., Ichioka Y., "Prediction of jacking forces for microtunnelling operations", in Trenchless Technology Research, v. 14, n. 1, pp. 31-41, 1999	24
Figura 6-F : Estratto paragrafo 6.2.5.3 pag. 129 - French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”	26
Figura 7-A : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	32
Figura 7-B : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	32
Figura 7-C : Posa concio pozzo autoaffondante	33
Figura 7-D : Posa concio pozzo autoaffondante	34
Figura 7-E : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante	35

Figura 7-F : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante.....	35
Figura 7-G : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare.....	36
Figura 7-H : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare.....	37
Figura 7-I : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare.....	38
Figura 7-J : Specifica tecnica pozzo autoaffondante circolare	39
Figura 8-A : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta	40
Figura 8-B : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta	41
Figura 8-C : Cantiere microtunnelling DN800	42
Figura 8-D : Schema cantiere microtunnelling pozzo di spinta S2b – DN800....	43
Figura 8-E : Schema cantiere microtunnelling pozzo di spinta S2a – DN800	44
Figura 8-F : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta	45
Figura 8-G : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta	46
Figura 9-A : Schema tecnico sistema guida microtunnelling	48
<i>Figura 10-A : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”</i>	50
Figura 10-B : MTBM con testa fresante condizionata da “misto pesante” utilizzata nel cantiere di Bolzano	51
Figura 10-C : Estratto UNI/PdR 26.2 2017 ¶6.3.1.7”	52
Figura 10-D : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”	53
Figura 10-E : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	54
Figura 10-F : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	55
Figura 10-G : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	55
Figura 10-H : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	56
Figura 12.1-A : Estratto planimetrico posa condotta tratto 2a – 2b.....	58

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6-1 - Scheda tecnica tubi in gres per posa a spinta	28
Tabella 6-2 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES	28
Tabella 6-3 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES	28
Tabella 10-1 - Abaco riepilogativo lunghezze massima di spinta e condizionamenti teste DN800.....	52

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO

1 PREMESSA

Il presente elaborato tecnico riporta le indicazioni sull'esecuzione di un'opera in microtunneling, relativa all'attraversamento della linea Ferroviaria Udine – Treviso in prossimità del Ponte alla Gobba nel comune di Treviso (TV)

In particolare, si tratta del Progetto “REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN COMUNE DI TREVISO” che prevede la posa in opera di una condotta fognaria a gravità DN800 con tecnologia microtunnelling.

2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'Alto Trevigiano Servizi sta predisponendo il “Piano Generale di fognatura del Comune di Treviso”.

Il progetto generale ha lo scopo di pianificare l'estensione della rete fognaria per acque nere nelle aree attualmente sprovviste.

Una delle ipotesi considerate è quella di realizzare delle dorsali di collegamento profonde, realizzate con tecnica microtunnelling, verso le quali far confluire le reti più superficiali.

Il progetto in oggetto prevede la realizzazione di una condotta fognarie mediante la tecnica del microtunnelling per posa condotta DN800.

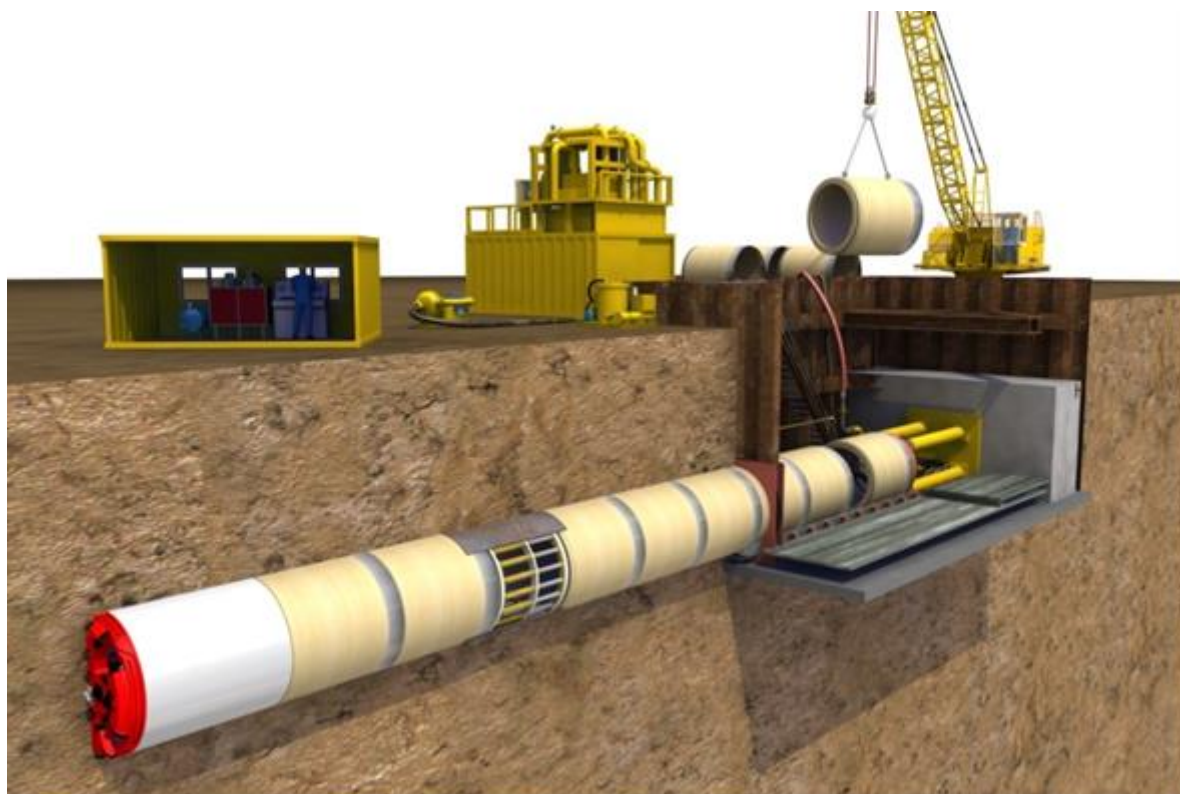


Figura 2-A : Tecnica di posa condotte con microtunnelling

La tecnica di posa del microtunnelling prevede:

- la perforazione a sezione piena in modo da evitare la decompressione del terreno e gli eventuali cedimenti in superficie,
- testa di perforazione a controllo laser dei parametri di allineamento planoaltimetrico;
- gruppo di spinta con anello di ripartizione del carico e martinetti di opportuna potenza;
- sistema di smarino funzionante con fluido adatto a controbilanciare la pressione di falda fino ad una profondità massima di 20/25 m;
- sistema di controllo e comando automatizzato con visualizzazione della pressione sulla testa e posizione della medesima in funzione della livelletta materializzata da un raggio laser prodotto nel pozzo di spinta.

Le tubazioni avranno come riferimento normativo la norma DIN 4035 e UNI 1045 con classe di resistenza a norma UNI 7163-72, guarnizione in neoprene a sezione cuneiforme, conforme alle norme UNI 4920 o DIN 4060.

2.1 INQUADRAMENTO PLANIMETRICO TRATTE MICROTUNNELING

Si riporta di seguito una serie di estratti planimetrici, che evidenzia la giacitura dei collettori in microtunnelling di progetto alla data, di cui si prevede:

- La realizzazione di collettori DN800;
 - il sottoattraversamento della linea ferroviaria Treviso – Udine, tratta 2a – 2b;
 - il sottoattraversamento del fiume Sile a monte della Centrale Idroelettrica SIEM, tratta 2b – 3.



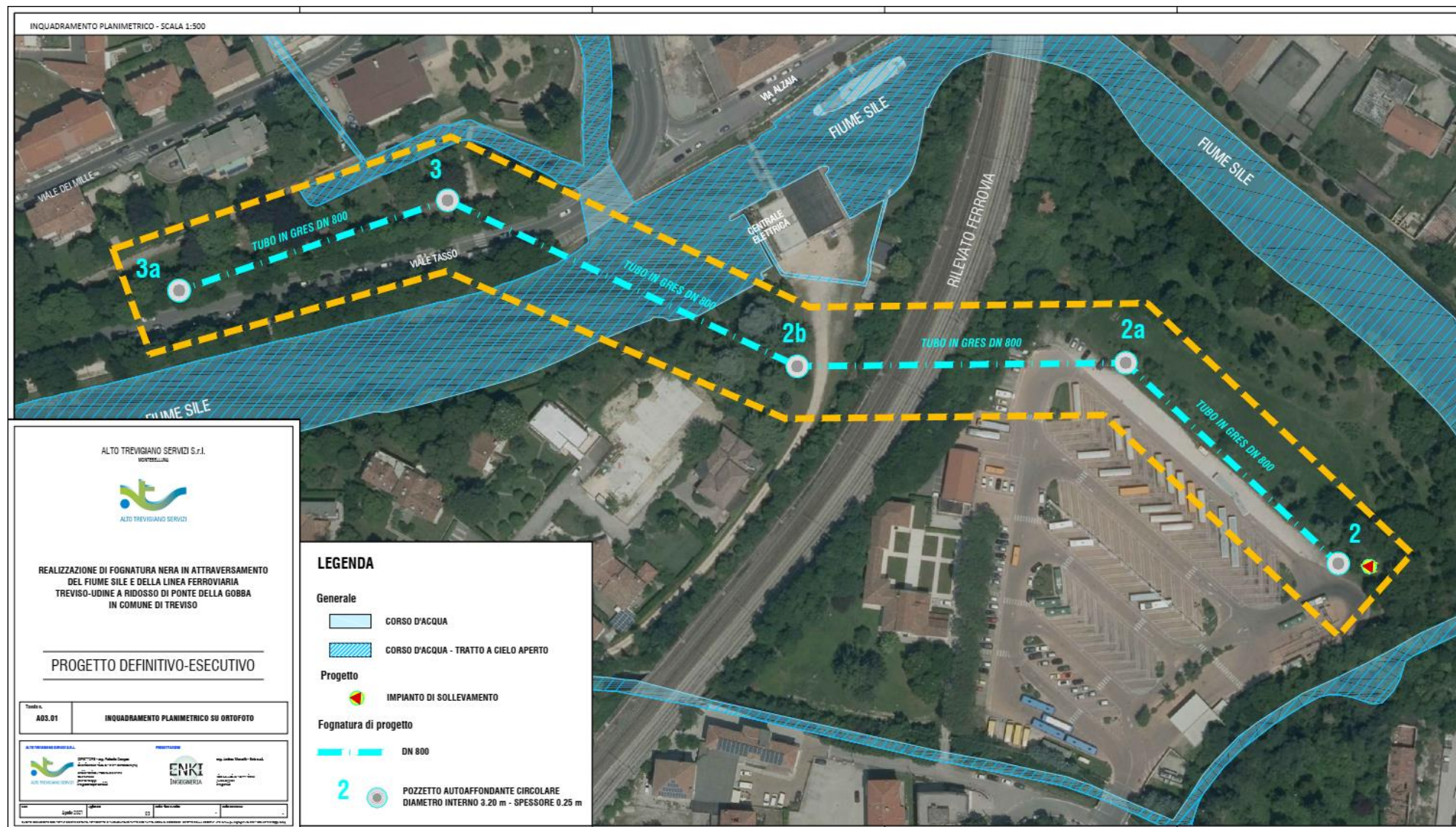


Figura 2-C : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling

3 DESCRIZIONE TECNOLOGIA MICROTUNNELING

La tecnica del microtunneling consiste nel far avanzare a spinta delle tubazioni rigide tra il pozzo di spinta ed il pozzo di arrivo all'interno di una micro-galleria, che è realizzata con scavo a piena sezione tramite fresa MTBM (Micro Tunnel Boring Machine).

Le figure **Figura 3-A** e **Figura 3-B** riportano uno schema del cantiere tipo in microtunneling, dove è possibile individuare le principali strumentazioni:

- MTBM o Microtunnelling boring machine;
- container di comando della MTBM;
- stazione di spinta principale e manufatto di spinta (normalmente parete del pozzo di spinta);
- vasca di sedimentazione ed impianto di separazione;
- impianto di flocculazione e filtro pressa;
- pompe per il sistema idraulico di scavo e di smarino

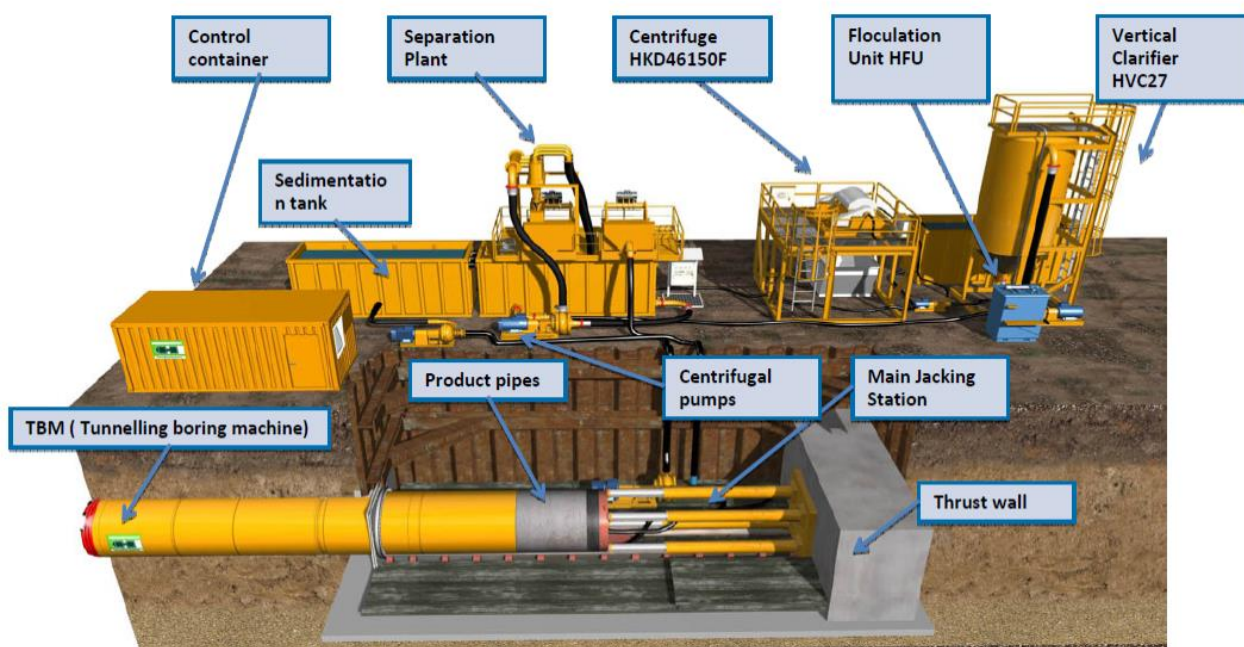


Figura 3-A : Schema cantiere microtunneling

I tubi sono calati all'interno del pozzo di spinta, dove sono alloggiati su di una slitta o "jacking" che ne consente la spinta ad opera del sistema principale di spinta, costituito da un anello metallico di pari diametro delle tubazioni e dai pistoni di spinta.

La reazione è data dal muro di spinta, dove sono ancorati i pistoni di spinta.

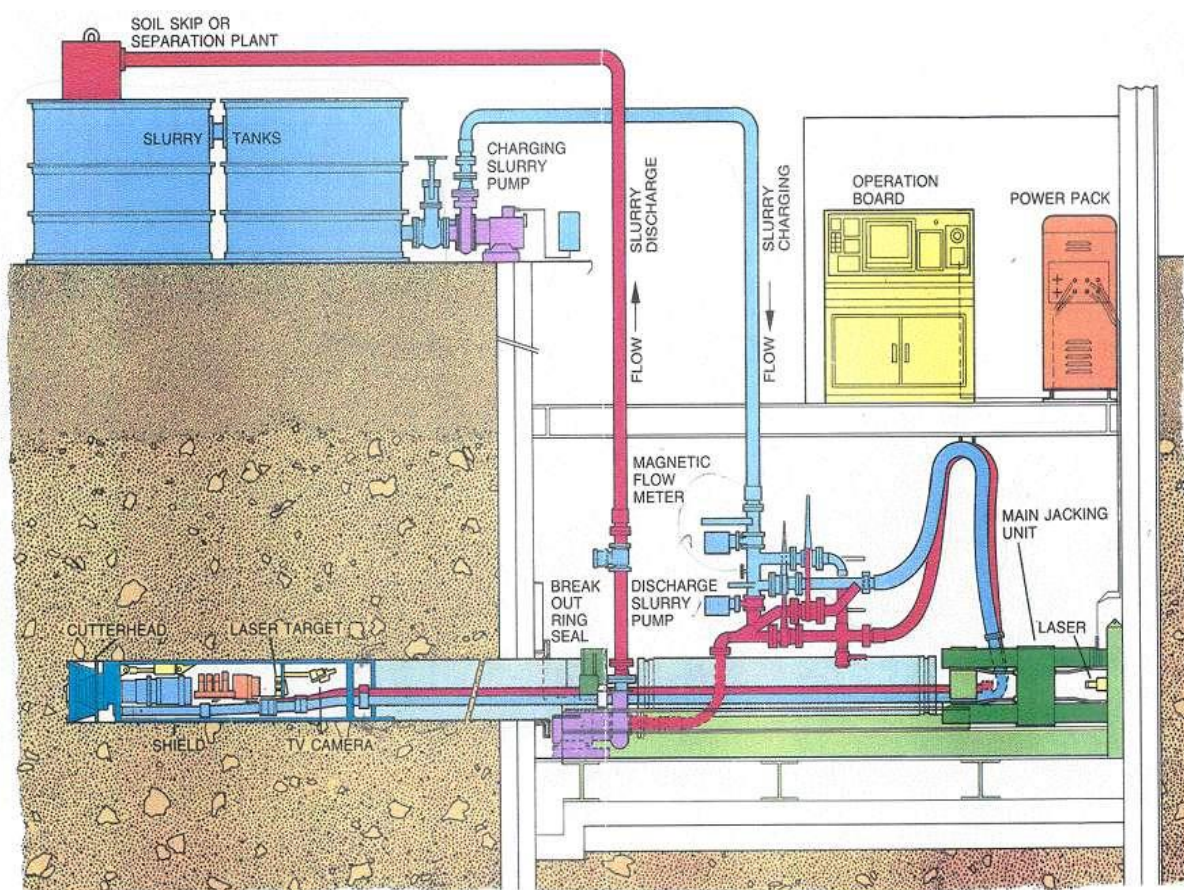


Figura 3-B : Schema cantiere microtunnelling – sezione

La MTBM normalmente utilizza uno scudo chiuso con sistema idraulico di scavo e di evacuazione dello smarino (“slurry shield”).

La tecnica del microtunneling prevede che la MTBM sia guidata dall'esterno tramite un sistema computerizzato, che ne controlla la traiettoria con sistema laser.

Le correzioni della traiettoria vengono realizzate agendo su dei martinetti idraulici, azionabili singolarmente, che agiscono sulla testa fresante.

Il fluido bentonitico di perforazione viene iniettato nella camera di scavo, al fine di sostenere il fronte con una adeguata pressione in rapporto allo stato tensionale esistente.

Una volta nella camera di scavo, il fluido bentonitico si arricchisce del materiale di scavo, la cui granulometria è opportunamente ridotta dalla particolare geometria a cono della camera di scavo, al fine di consentirne il trasporto in sospensione.

La fuoriuscita di questo fluido dalla camera di scavo avviene attraverso un filtro costituito da aperture a sezione circolare di diametro prestabilito.

Il sistema idraulico di smarino invia il fluido all'interno di vasconi per la sedimentazione, il fluido qui stoccato viene aspirato con delle pompe che lo inviano al sistema di separazione, dove è separata la frazione granulare da quella fine, che viene inviata ad una filtro-pressa.

Il fluido alleggerito dalle particelle di terreno scavato viene nuovamente iniettato all'interno della camera di scavo dal sistema di mandata o alimentazione.

Al fine di ridurre le resistenze di attrito tra tubazioni e terreno viene iniettato con sistema automatico un fluido bentonitico a tergo dei conci, si veda **Figura 3-C**, tramite le predisposizioni presenti nei tubi.

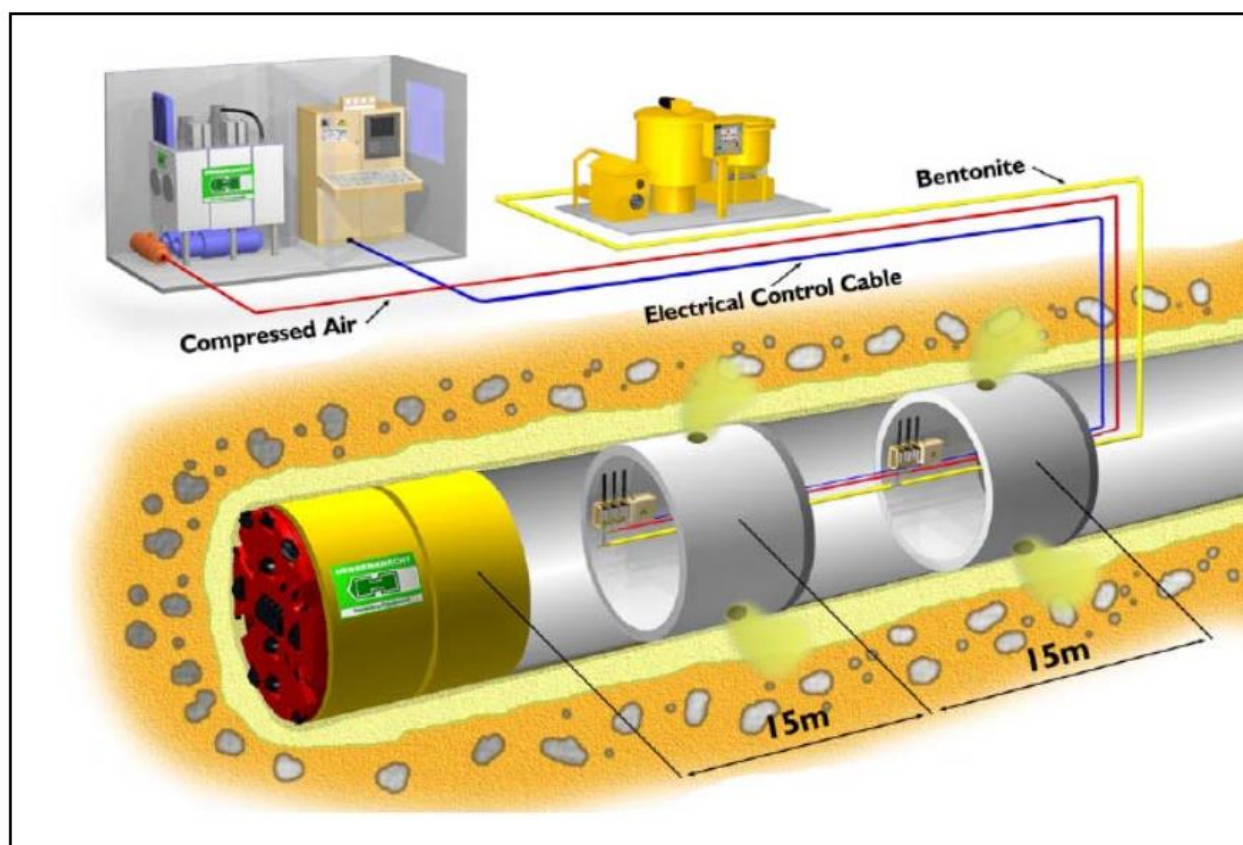


Figura 3-C : Schema cantiere microtunnelling

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica si basa sui risultati presentati nei seguenti elaborati:

- R03.01, Relazione Geologica, Geognostica e Geotecnica” della Georicerche s.r.l., redatta a supporto del Progetto “REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN COMUNE DI TREVISO” presentato per ATS nel 2019, oltre ad ulteriori dati geognostici ricavati da una serie di sondaggi, indagini ed analisi di laboratorio, disponibili presso gli archivi degli Enti Locali, nonché acquisite da ATS per la redazione del progetto generale di fognatura di Treviso.
- R03.02, Relazione Geologica, Geognostica e Geotecnica” della GEOLOGIA TECNICA s.a.s., redatta a supporto del Progetto sopra riportato, ed eseguita nel mese di agosto 2021, con lo scopo di verificare in dettaglio le condizioni geomeccaniche del sottosuolo in intradosso all'alveo del Sile

I dati geologici-tecnici permettono di evidenziare che l'orizzonte geotecnico di interesse è correlabile con materiali di natura alluvionale.

L'analisi dei dati sui sondaggi geognostici ha permesso l'identificazione dei litotipi caratterizzanti gli orizzonti di perforazione.

In generale, sulla base dei sondaggi, indagini ed analisi eseguite, risulta evidente che il sottosuolo sia 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:

- sono presenti livelli superficiali di riporto storico con spessore variabile da pochi centimetri fino a 3 metri;
- 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;
- 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:

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

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

- **“HARD MIXED GROUND”**, ove rispetto alla matrice incassante coesiva, LIMOSA SABBIOSA e/o LIMO-ARGILLOSA, si ritrovano SABBIE CON GHIAIA ETERODIMENSIONALE con CIOTTOLI e RARI TROVANTI.

Si ritiene quindi che, sulla base dei dati disponibili, si possa definire il principale orizzonte di perforazione caratterizzante le tratte di perforazione come “HARD MIXED GROUND” o “MISTO PESANTE”.

4.1. PROFILI CONDOTTE FOGNARIE DN800 – TRATTO 2a – 2b

SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA TRATTO 2b-2a - SCALA 1:200

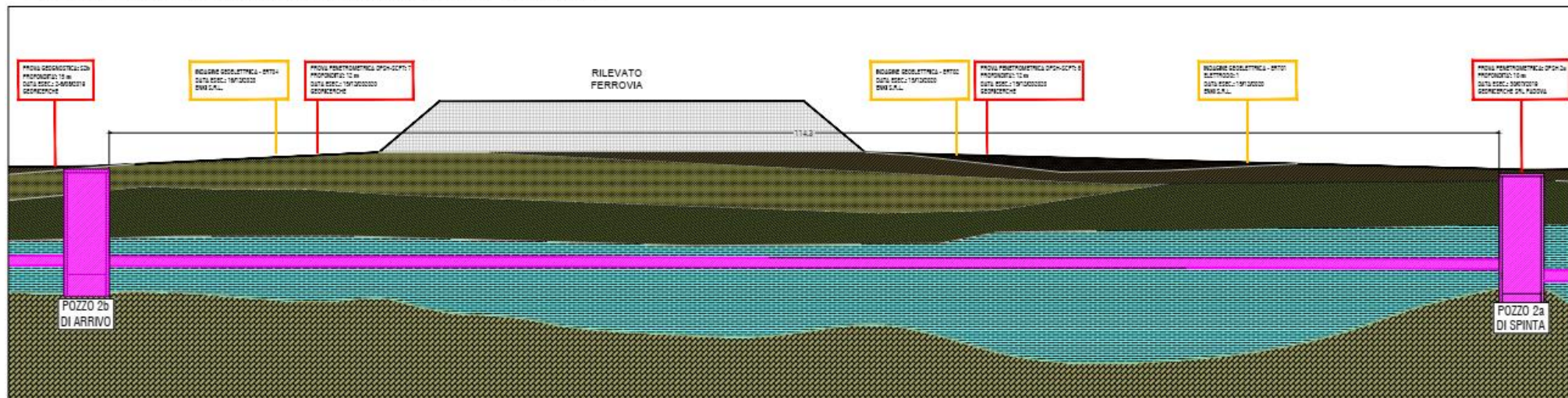


Figura 4-A : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2b – 2a

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

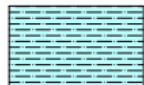


STRATO 2

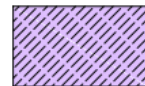
TERRENI DI NATURA GRANULARE A CONSISTENZA DA MEDIO-BASSA A MEDIA. GHIAIE E SABBIE IN ABBONDANTE MATRICE LIMOSO SABBIOSA E LIMOSO ARGILLOSA.



STRATO 3 TERRENI DI NATURA COESIVA A CONSISTENZA BASSA - ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI GRIGI



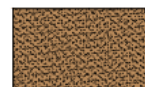
STRATO 4 TERRENI DI NATURA GRANULARE A MEDIA ED ELEVATA CONSISTENZA- GHIAIE ETERODIMENSIONALI IN MATRICE LIMOSO-SABBIOSA



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

POZZETTO AUTOAFFONDANTE CIRCOLARE

- DIAMETRO INTERNO 3.20 m - SPESSORE 0.25 m
- SOLETTA DI COPERTURA SPESSORE 0.25 m
- SOLETTA DI FONDO IN C.A. PESANTEMENTE ARMATA - SPESSORE 0.60m
- TAPPO DI FONDO IN C.A. SPESSORE 1.10 m

CONDOTTA FOGNATURA DI PROGETTO GRES DN800



Figura 4-B : Estratto profili condotte fognarie LEGENDA

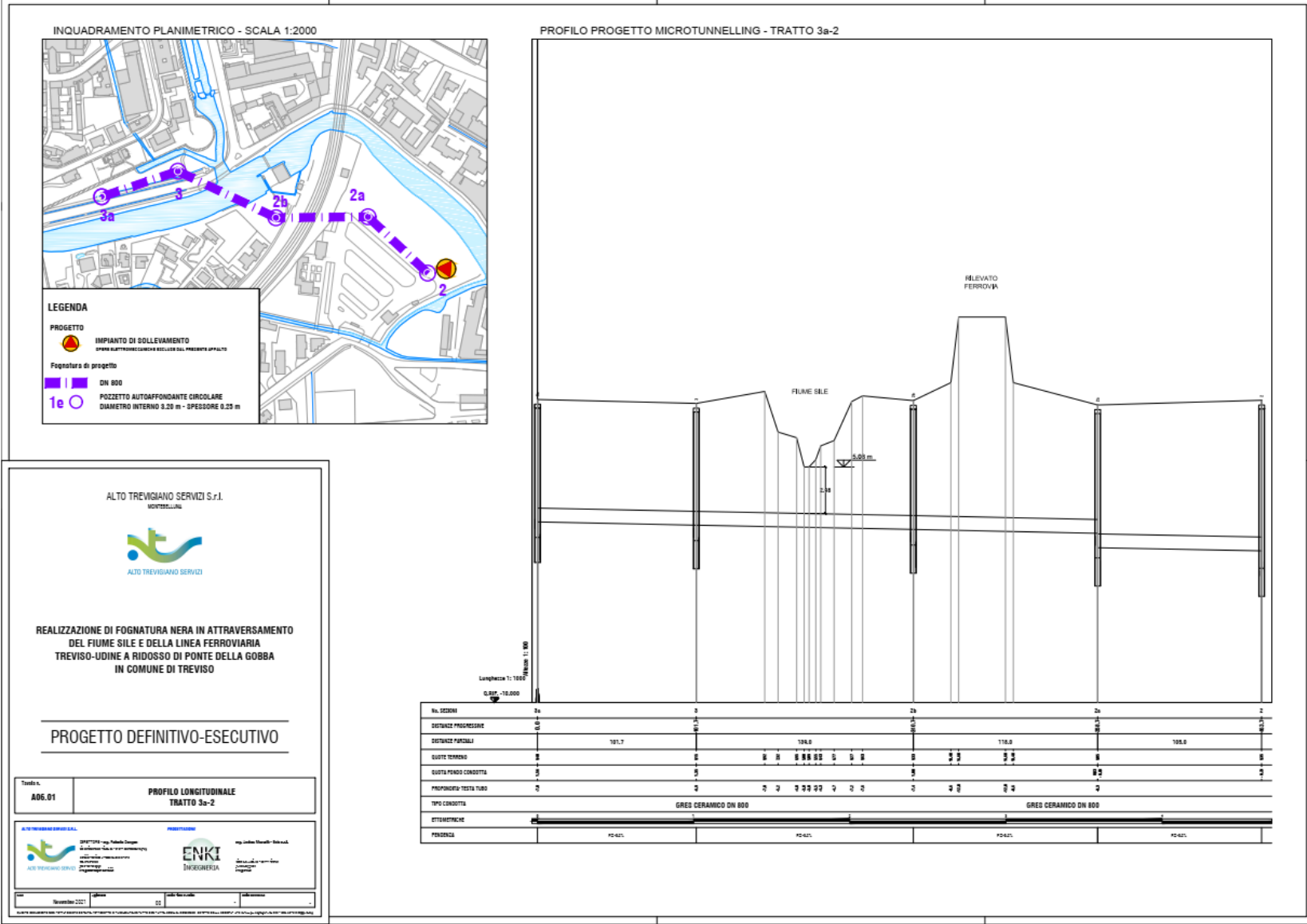


Figura 4-C : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2b – 2a

5 CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE

L'analisi dei dati sui sondaggi geognostici ha permesso l'identificazione dei litotipi caratterizzanti gli orizzonti di perforazione.

In generale, sulla base dei sondaggi, indagini ed analisi eseguite, risulta evidente che il sottosuolo sia 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:

- sono presenti livelli superficiali di riporto storico con spessore variabile da pochi centimetri fino a 3 metri;
- 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;
- 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:

- SABBIE CON GHIAIA ETERODIMENSIONALE con CIOTTOLI e RARI TROVANTI;
- in tutti la matrice incassante è LIMOSA SABBIOSA e/o LIMO-ARGILLOSA.

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

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

Si ritiene quindi che, sulla base dei dati disponibili, si possa definire il principale orizzonte di perforazione caratterizzante le tratte di perforazione come “HARD MIXED GROUND” o “MISTO PESANTE”.

Rispetto agli orizzonti di perforazione definiti, si introducono quindi dei parametri meccanici descrittivi in grado di permettere la valutazione del livello di difficoltà atteso delle tratte in progetto

6 JACKING FORCE

Il valore della Jacking force, o forza di spinta, rappresenta una dei principali parametri che viene monitorato durante le operazioni di perforazione.

Il valore totale della Jacking force è dato da una componente assiale e attrittiva.

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 attrittiva F , è invece come abbiamo visto legata a scelte tecniche quali l'overcut, la lubrificazione, il ricorso a stazioni intermedie e le pause di perforazione.

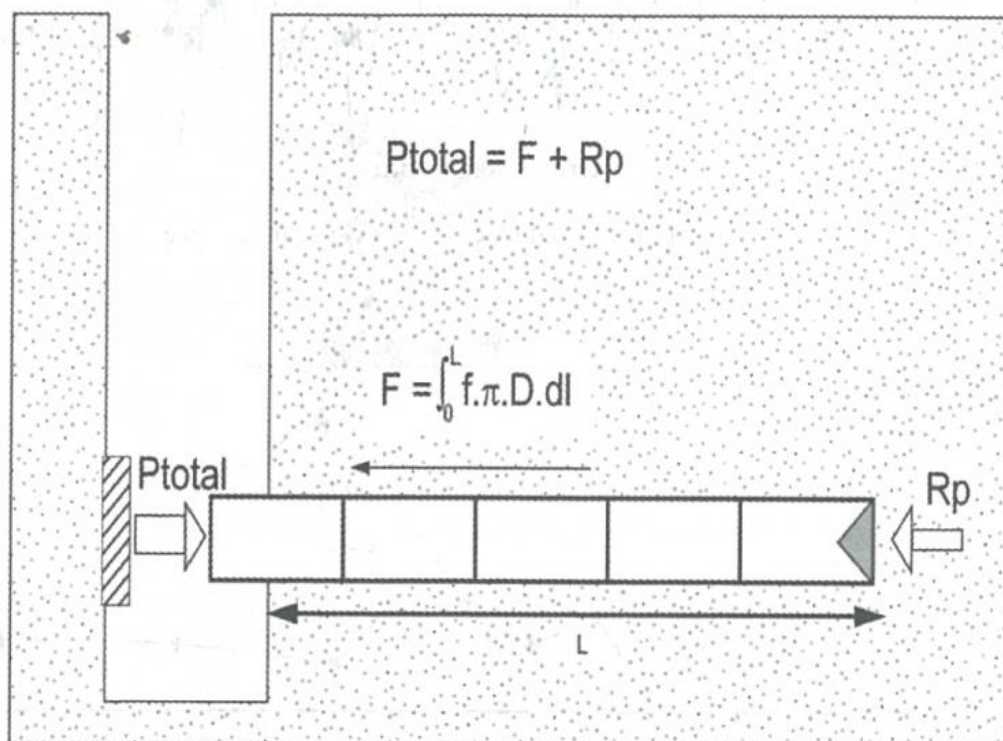


Figure 3.7. *Schematic diagram of jacking stresses*

Figura 6-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, *Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations*

La stima della resistenza alla testa seppur oggetto di numerosi studi, è comunque ancora un procedimento non totalmente affidabile, nei termini di determinazione analitica dei risultati ante perforazione, mentre per la determinazione della componente attritiva non sono disponibili ad oggi studi affidabili per la determinazione analitica.

Si annoverano infatti numerosi studi mirati alla determinazione ex ante della componente attritiva, che purtroppo hanno evidenziato forte variabilità fra i risultati attesi e quelli monitorati in situ.

Si riporta in **Figura 6-B** un estratto di un importante studio, dove viene evidenziata l'importante discrepanza tra i valori di spinta di natura attritiva determinati analiticamente e quelli effettivamente monitorati in situ.

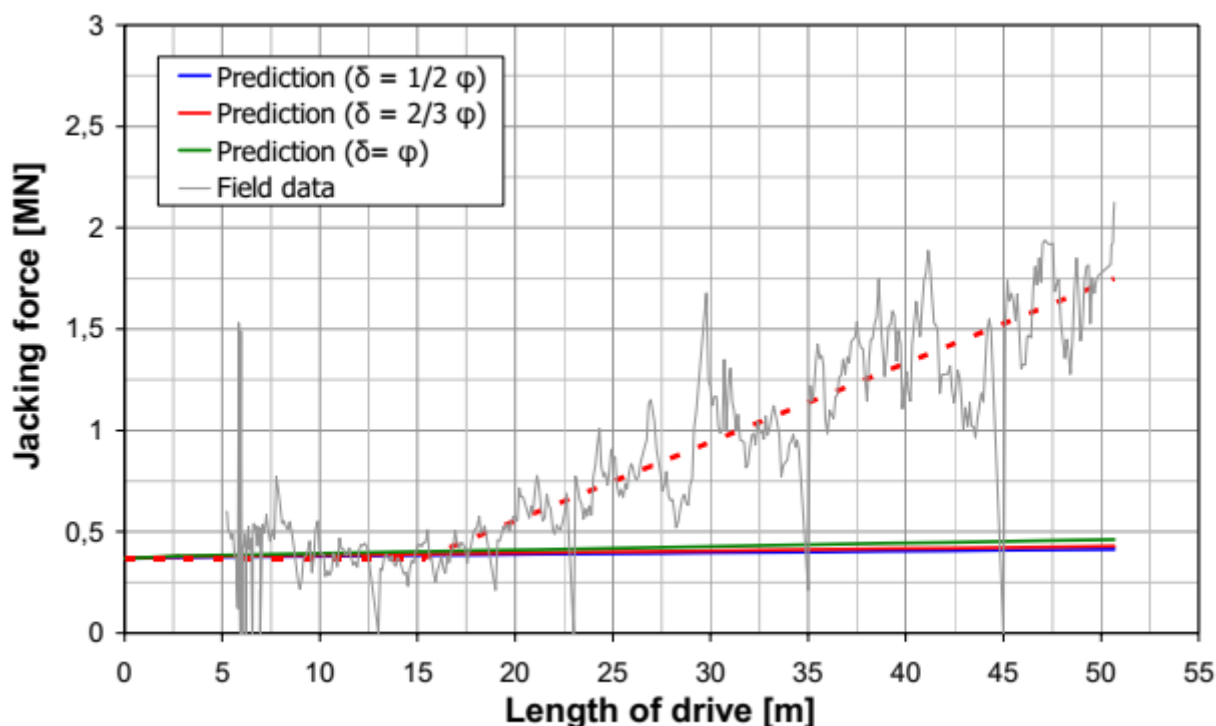


Figura 6-B : Estratta da "Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Underground Space Technology, 2006, Elsevier

In termini di fattibilità dell'opera rimane quindi inderogabile, prevedere per le perforazioni impegnative, come il caso in oggetto, il ricorso a tecniche quali le Stazioni intermedie e la lubrificazione, in grado di garantire il contenimento dei livelli di spinta totali entro parametri accettabili sia rispetto ai conchi della condotta che alle componenti meccaniche della MTBM.

Si evidenzia che il ricorso alla tecnica delle Stazioni intermedie è normalmente possibile per i diametri DN800.

Si riporta di seguito la **Figura 6-c** e **Figura 6-D** che evidenziano l'abbattimento atteso della Jacking force utilizzando le Stazioni intermedie ed una corretta lubrificazione.

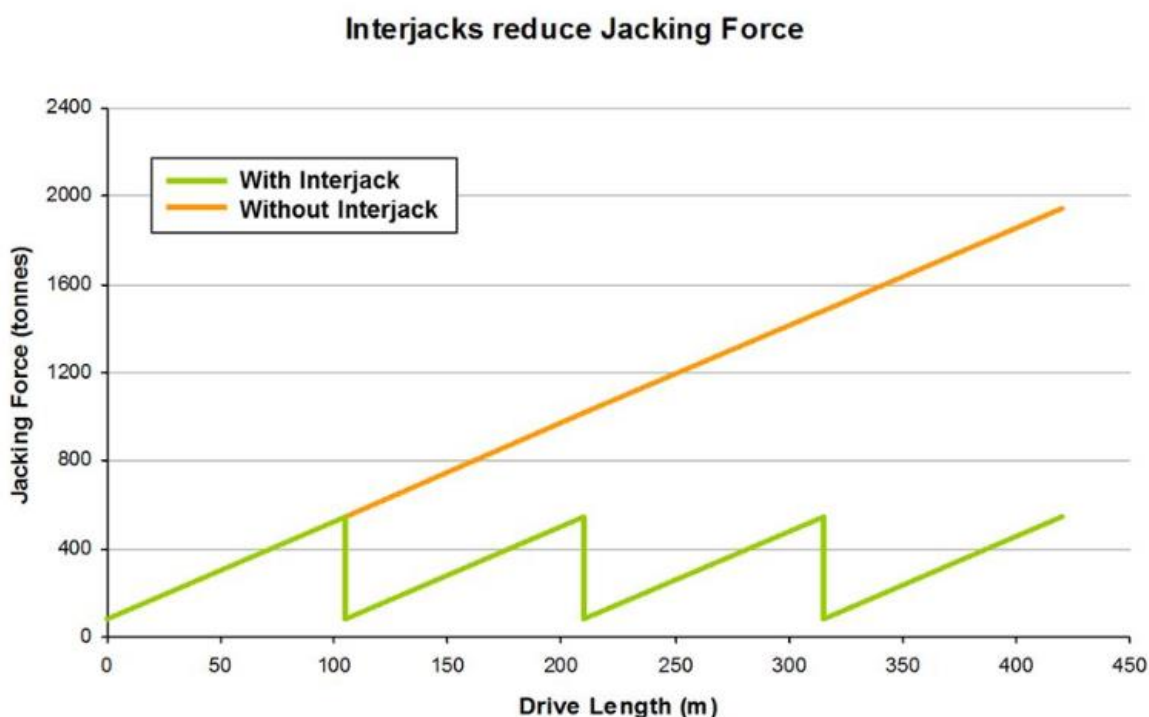


Figura 6-C : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

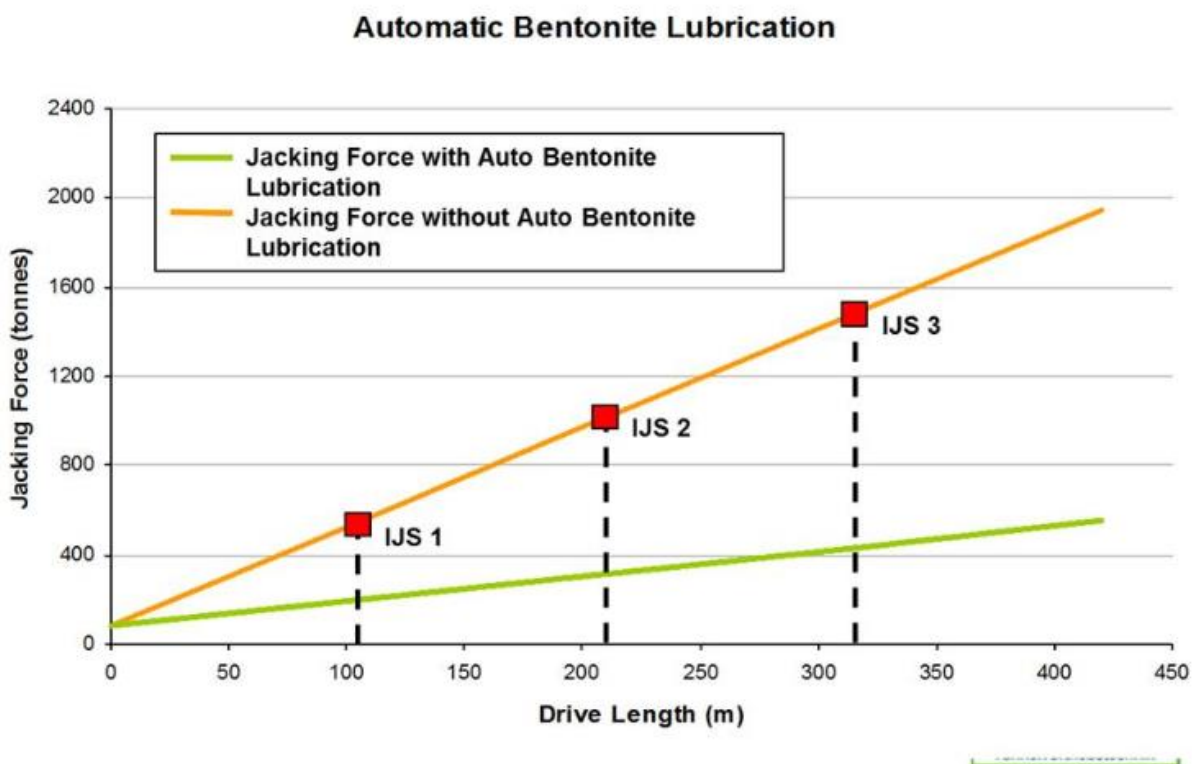


Figura 6-D : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

La quantificazione della spinta totale è comunque fondamentale per la progettazione di un'applicazione *microtunnelling*, in quanto influisce direttamente su una serie di fattori, tra i quali i più importanti sono:

- l'ubicazione di eventuali pozzi intermedi di spinta necessari per realizzare l'intera opera;
- l'uso di *intermediate jacking stations*;
- la tipologia e la potenza della *pressotrivella* o del gruppo idraulico da utilizzare nel pozzo di partenza;
- il dimensionamento del muro di contropinta e del rivestimento dei pozzi di spinta;
- la progettazione della sezione dei tubi da installare;
- la natura e la quantità di lubrificante da iniettare lungo il treno di conci e al fronte.

Da uno studio della spinta totale registrata su circa 191 progetti di *microtunnelling* con scudo di tipo *slurry* in Giappone, Chapman D.N. e Ichioka Y. (1999) hanno calcolato la distanza ottimale (in condizioni di sicurezza) tra i vari pozzi di spinta, in funzione di tre diverse tipologie di terreno e del diametro nominale della condotta di cui in **Figura 6-E**:

Nominal diameter (mm)	Outer diameter of jacking pipe (m)	Outer diameter of jacking pipe (m)	Allowable jacking distance (m)		
			Clay	Sand	Sand/gravel
250	0.360	0.375	141	108	86
300	0.414	0.432	142	109	87
350	0.470	0.490	142	112	90
400	0.526	0.545	144	114	94
450	0.584	0.605	148	118	98
500	0.640	0.660	145	119	97
600	0.760	0.780	147	123	103
700	0.880	0.900	153	130	110
800	0.960	0.980	123	105	90
900	1.080	1.100	132	114	99
1000	1.200	1.220	139	121	106

Allowable axial stress in concrete pipe = 500 kg/cm².

Figura 6-E : Distanza ottimale tra pozzi di spinta in spinte microtunnelling TMB SLURRY, estratto da "Chapman D. N., Ichioka Y., "Prediction of jacking forces for microtunnelling operations", in Trenchless Technology Research, v. 14, n. 1, pp. 31-41, 1999

I valori sopra riportati sono riferibili a spinte senza utilizzo di stazioni intermedie, per cui il ricorso a detta tecnologia, permette di raggiungere lunghezze più elevate.

La spinta necessaria per la realizzazione di un'opera microtunnelling, F_s è pari alla somma di tre forze:

- la risultante delle forze d'attrito dinamico F_{fr} (che si generano lungo la superficie laterale dello scudo e del treno di tubazioni),

- la resistenza F_p che il terreno complessivamente esercita sul fronte di perforazione;
- la risultante F_{int} delle forze d'attrito addizionali legate ai periodi di interruzione dei lavori.

6.1 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 2b – 2a – ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO

Si riporta l'analisi della spinta per la tratta più lunga, compresa tra i pozzi 2b – 2a, per cui la quantificazione della spinta totale è sviluppata in accordo alle raccomandazioni FSST [2006], con le seguenti assunzioni:

- dovrà essere garantita un'adeguata lubrificazione in termini qualitativi e quantitativi, per cui in ragione del contesto geotecnico di perforazione, materiale granulare, il fronte di scavo potenzialmente instabile, in ragione della contropressione di lubrificazione potrà essere considerato stabile;

- in presenza di scavo stabile in terreno granulare la F_{fr} risulta uguale a

$$F_{fr} = 1.5 \mu WL = 1.5 \times 0.1 \times 0.51 \times 120 \approx 9.18 \text{ [kN]}$$

dove

- $\mu = 0.1$, coefficiente di attrito ipotizzando iniezioni continue di miscela bentonitica e volume iniettato maggiore del volume dello spazio anulare;
- $W = 0.51 \text{ [kN/m]}$, peso proprio della condotta per metro lineare considerando tubazione gres DN800;
- $L = 120 \text{ [m]}$, assumendo la lunghezza massima di spinta di progetto (ipotizzando a favore di sicurezza l'assenza di sottostazioni di spinta intermedie);
- Il valore di F_{fr} determinato, estremamente basso, evidenzia l'estrema importanza di una corretta lubrificazione;
- La resistenza all'avanzamento del fronte di perforazione F_p risulta uguale a

$$F_p = f_p \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 1700 \times \pi \times 0.24 = 1.281,94 \text{ [kN]}$$

dove

- $f_p = 1.700 \text{ [kN/m}^2\text{]}$, parametro relativo stress in testa ipotizzando un valore medio per terreno sabbioso-ghiaioso di cui **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**;
 - $D = 0.975 \text{ [m]}$, diametro esterno tubazione DN800;
- L'eventuale resistenza addizionale imputabile a fermo macchina, ipotizzando fermo macchina superiore ad 1 settimana di cui F_{int} , risulta uguale a

$$F_{int} = \pi \times D \times L \times f_{sup} = \pi \times 0.975 \times 120 \times 2,40 = 882 \text{ [kN]}$$

dove

- $D = 0.975 \text{ [m]}$, diametro esterno tubazione DN800;
- $L = 120 \text{ [m]}$, assumendo la lunghezza massima di spinta di progetto
- (ipotizzando a favore di sicurezza l'assenza di sottostazioni di spinta intermedie)
- $f_{sup} = 2.40 \text{ [kN/m}^2\text{]}$, valore suggerito da FSST[2006] paragrafo 6.2.5.3 pag. 129, riferito ad un fermo macchina settimanale;

	Stoppage of a weekend	Stoppage of one night	Stoppage < 3 hours
$f_{sup} \text{ (kPa)}$	2.4 kPa	1 to 2 kPa (*)	0.6 to 0.8 kPa

Figura 6-F : Estratto paragrafo 6.2.5.3 pag. 129 - *French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"*

- il valore della spinta totale risulta pari a

$$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int} = 9,18 + 1.281,94 + 882 \approx 2.173 \text{ [kN]}$$

3.1 TUBI PER POSA A SPINTA

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

Relativamente al progetto in oggetto, la scelta del materiale ricade 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.

Si evidenzia inoltre che in ragione degli orizzonti geotecnici attesi, e definibili come "MISTO PESANTE", appare opportuno ricorrere ad un materiale che presenti le più elevate caratteristiche meccaniche di resistenza a compressione, permettendo quindi ipotizzare delle spinte con maggiore lunghezza rispetto agli altri materiali.

È inoltre opportuno evidenziare che la bassa scabrezza superficiale del gres, unita ad una mirata lubrificazione laterale durante la perforazione, permette di ridurre notevolmente il contributo attritivo del terreno, permettendo quindi di limitare la forza di spinta necessaria e rappresentando un elemento fondamentale per la riuscita della spinta.

3.2 SPECIFICHE TECNICHE TUBI PER POSA A SPINTA IN GRES

Si riportano di seguito delle schede riepilogative delle specifiche tecniche dei tubi in gres.

Tabella 6-1 - Scheda tecnica tubi in gres per posa a spinta

Diametri nominali standard							
DN	d_M	Lunghezza	Peso	*Forza di spinta Spinta con sistema pilota / Spinta con microtunneling	Forza di schacciamento	Resistenza alla compressione	Resistenza alla trazione/ flessione
mm	max. mm	m	kg/m	kN	kN/m	N/mm ²	N/mm ²
150	213	1,00	36	150	64	100	18
200	276	1,00	60	300	80	100	18
250	360	1,00 + 2,00	105	600	130	100	18
300	406	1,00 + 2,00	125	750/700	120	100	18
400	556	1,00 + 2,00	240	1750/1700	160	100	18
500	661	2,00	290	2350/2050	140	100	18
600	766	2,00	350	2400/2150	120	100	18
800	970	2,00	460	3250/2900	128	100	18
1000	1275	2,00	855	-/4600	120	100	18
1200	1475	2,00	992	-/5150	114	100	18
Altri diametri nominali							
700	870	2,00	380	2950/2650	140	100	18
900	1096	2,00	508	-/3600	108	100	18

Tabella 6-2 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES

Tubi a spinta da DN 600 a DN 1400 con giunto tipo 2 con anello di precompressione													
<p>Dimensioni in mm</p>													
DN mm	Dimensioni dei tubi			Estremità fresata e ±2	Bicchieri			Anello intercalare in legno			Lunghezza nominale li±1	Spinta massima ammissibile F2 ⁽¹⁾ kN	Peso Kg/m
	d1	d3+0/-1	dM		dK±1	SK±0,2	bK±1	dZ±1	dza±1	dzi±1			
600	599±9	723	766+0/-18	70	731	3	143	19	713	615	1.981	3.100	350
700	695±12	827	870+0/-24	70	837	4	143	19	816	715	1.981	3.300	434
800	792±12	921	970+0/-24	70	931	4	143	19	911	823	1.981	3.700	507
1.000	1.056±15	1.218	1.275+0/-30	70	1.230	5	143	19	1.208	1.077	1.981	5.700	855
1.200	1.249±18	1.408	1.475+0/-36	70	1.422	6	143	19	1.397	1.277	1.981	6.400	990
1.400	1.400±30	1.408	1.630+0/-60	70	1.555	6	143	19	1.530	1.422	1.981	a richiesta	1.240

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

Tabella 6-3 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES

Si evidenzia che la spinta massima di progetto attesa è pari a 2.173 kN riferita alla tratta 2b – 2a, compatibile con la spinta massima ammissibile per tubi GRES DN800 compresa fra 2900/3700 kN in funzione della tipologia di anelli e giunti utilizzati.

7 REALIZZAZIONE DI POZZI AUTOAFFONDANTI

Si prevede la realizzazione di un pozzetto autoaffondante, di forma rettangolare o circolare con dimensioni come da progetto, dal piano di campagna e fino alla profondità di progetto, realizzato mediante la discesa di elementi prefabbricati o realizzati in opera, autoaffondanti sovrapponibili, comprensivo della fornitura e posa in opera di soletta portante idonea ai carichi di 1^o categoria, munita camini in cemento fino al piano di campagna, di chiusino a passo d'uomo e scala fissa di discesa.

Il pozzetto dovrà essere realizzato secondo la tecnica di posa in opera dei pozzetti autoaffondanti, e le operazioni di posa in opera consistono nell'infiggere il pozzo nel terreno scavando dentro il pozzo stesso in modo che le pareti sostengano il terreno circostante durante l'affondamento.

Durante le fasi di scavo è necessario prestare attenzione al comportamento del terreno rimosso, in modo da evitare fenomeni di rifluimento o scavamento, che possono essere eventualmente controllati e sanati con opportune iniezioni di consolidamento.

I manufatti da porre in opera sono degli scatolari in calcestruzzo armato prefabbricato o realizzati in opera, che affondano per peso proprio, con scavo all'interno attraverso una benna mordente, mediante la tecnologia dell'autosostentamento del terreno con fanghi bentonitici che contrastano in equilibrio l'eventuale spinta idrostatica.

Lo spessore delle pareti e della soletta carrabile non dovrà essere minore a 20 cm.

Nella realizzazione del manufatto devono considerarsi incluse le seguenti lavorazioni:

- demolizione delle pavimentazioni stradali di qualsiasi tipo;
- esecuzione di scavo di sbancamento della profondità di 1,40 m dal piano campagna e delle dimensioni adatte all'ingombro esterno dei conci da posare;
- realizzazione delle corone circolari di zavorra, in calcestruzzo gettate in opera o prefabbricate;
- posa in opera dei jacking idraulici di spinta/contrasto dei conci autoaffondanti;
 - scavo sia meccanico che a mano, da eseguire all'interno degli elementi prefabbricati anche in presenza d'acqua;

- formazione del getto di fondo in calcestruzzo additivato C25/30, previa pulizia delle pareti mediante idonea attrezzatura (idropulitrici od altro) al fine di garantire una buona aderenza;
 - formazione della platea in c.a. dello spessore indicato nei disegni esecutivi ed esecuzione di giunto idroespansivo all'interno della scanalatura predisposta nelle pareti interne del pozzetto;
 - fornitura e posa in opera dell'armatura in ferro o di rete elettrosaldata compreso gli eventuali ferri di ripresa;
 - giunzioni tra elemento ed elemento come da elaborati di dettaglio atte a garantire una perfetta tenuta idraulica a lungo termine;
 - eventuali aggettamenti delle acque mediante l'uso di pompe idrovore;
 - predisposizione nelle pareti del pozzo di opportune finestre non armate ed alleggerite per permettere la perforazione delle pareti stesse in fase di spinta e di ogni altro dispositivo atto a garantire la tenuta idraulica tra pozzo e tubazioni;
 - predisposizione di opportuni dispositivi di ancoraggio e di vincolo strutturale tra vari elementi del pozzo e di tutti i ganci di sollevamento degli elementi;
 - eventuali movimenti di materie, asporto e il loro trasporto e smaltimento a discarica autorizzata con codice 17.05.04 (terre e rocce di scavo recuperabili e rientranti nei limiti imposti da Allegato 5 parte IV D.Lgs. 152/06 - Tabella 1 Colonna B);
 - sagomatura del fondo in cls per la formazione del canale di scorrimento delle acque;
 - collegamento con la condotta, compresi eventuali pezzi speciali, guarnizioni ed ogni accorgimento utile per assicurare una perfetta tenuta idraulica;
 - oneri per rendere stabile il piano di fondazione alla quota di progetto anche mediante iniezioni cementizie (jet-grouting);
 - affondamento dei vari elementi costituenti il pozzo mediante sovraccarichi provvisori o altri sistemi;
 - qualsiasi altro lavoro per rendere l'opera utilizzabile e costruita a regola d'arte comprese opere e manufatti in cls/muratura di appoggio/contrasto delle condotte
- Sono da considerarsi escluse dalla fornitura le seguenti lavorazioni:
- Permessi per l'occupazione e rottura del suolo ed altri eventuali permessi, che saranno a carico della committenza.
 - Eventuali spostamenti di altri servizi coincidenti con la pianta del pozzo

Figura 7-A : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante

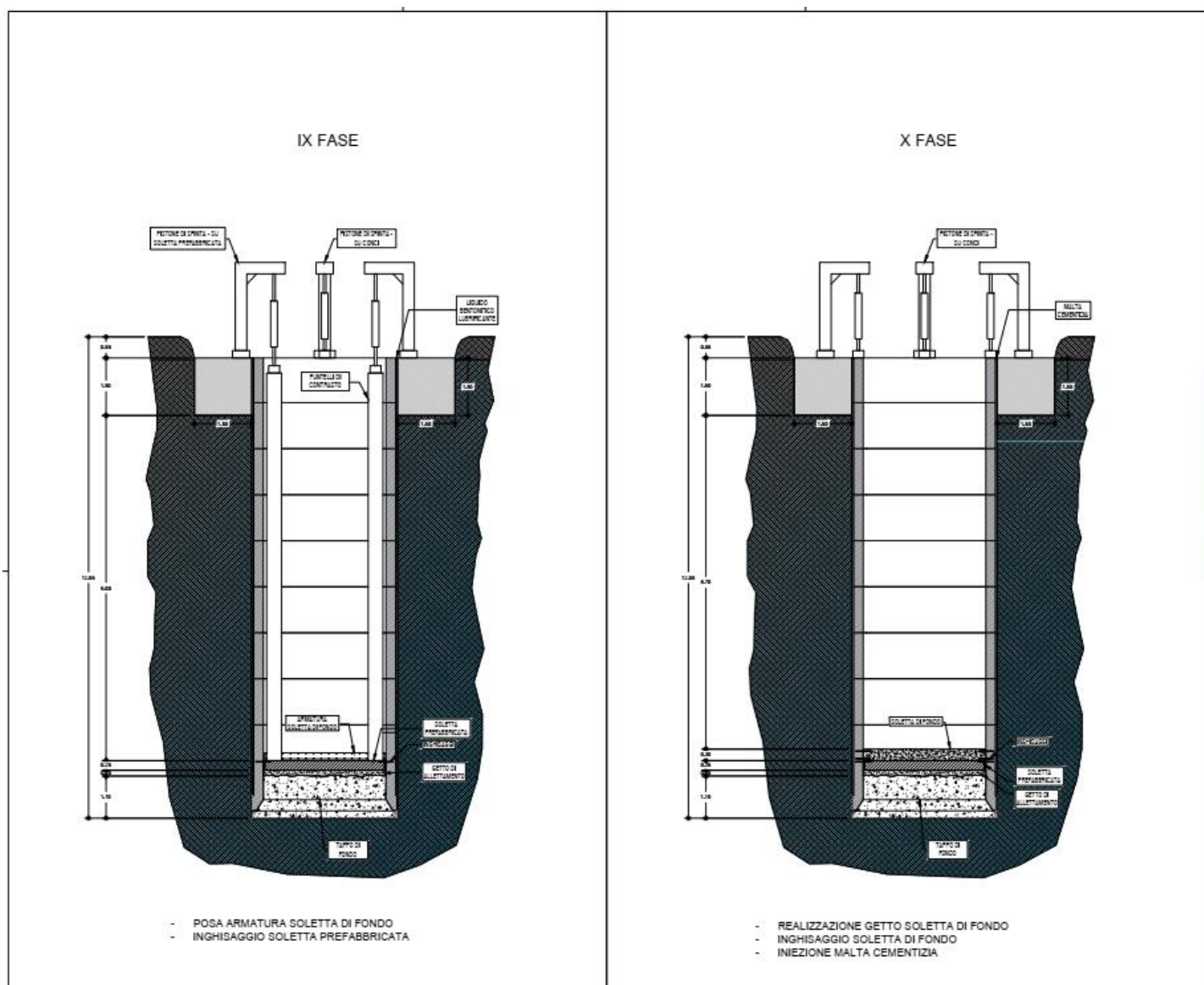


Figura 7-B : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante



Figura 7-C : Posa concio pozzo autoaffondante



Figura 7-D : Posa concio pozzo autoaffondante



Figura 7-E : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante

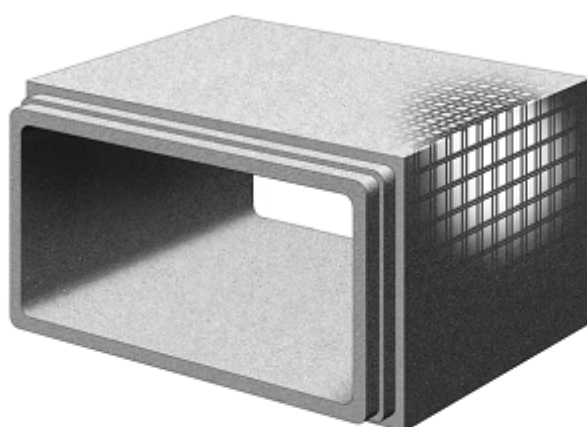
Figura 7-F : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante

7.1 SPECIFICHE TECNICHE DEL POZZETTO

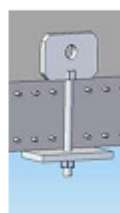
Si riportano di seguito, una serie di specifiche tecniche illustrative dei pozzi rettangolari e circolari da porre in opera.

TUBO VIBROCOMPRESSO AD ALIMENTAZIONE PONDERATA DENOMINATO **Tubo rettangolare armato**

CON GIUNTO A MEZZO SPESSORE
CONFORME ALLE NORMATIVE SUI CEMENTI ARMATI



Sistema di
sollevamento
con golfare



A richiesta,
sistema di
ancoraggio
tipo "DEHA"



Scheda Tecnica

L'impiego del rettangolare armato, con processo di fabbricazione automatica, a vibrocompressione ad alimentazione ponderata, è particolarmente indicato nelle applicazioni fognarie, ponti di 1° cat., irrigazione, bonifica, condotte tecnologiche, sottopassi pedonabili e per veicoli e condotte aeroportuali. Questa tipologia di tubo consente l'impiego orizzontale o verticale, il raggiungimento di elevate pressioni di esercizio, di notevoli profondità di posa, adattamento elastico nel terreno, stabilità alla sottopressione di falda e limitato indice di scabrezza.

Il sistema della vibrocompressione ad alimentazione ponderata, controllata da dispositivi idraulici ed elettronici, distribuisce il calcestruzzo in più strati, lungo tutta la parete interna del tubo, garantendo una compattazione omogenea della miscela, con assenza totale di deformazioni durante il processo di presa.

L'elevato livello tecnologico di questo processo di fabbricazione, associato ad una produzione di qualità controllata del calcestruzzo, dà al produttore e all'utilizzatore la più assoluta garanzia circa la qualità del prodotto, con la possibilità di:

- Migliorare e controllare automaticamente la compattezza del calcestruzzo, garantendo una produzione costante dei tubi fabbricati.
- Impiegare un calcestruzzo che impedisce la formazione di fessure di assestamento e di vespai nei tubi, ottenendo così un manufatto perfettamente impermeabile, durevole, con finitura interna ed esterna liscia.
- Ottenere una perfetta rispondenza del manufatto prodotto, con tolleranze dimensionali ampiamente rispondenti.
- Utilizzare diverse tipologie di guarnizione, di giunto, di rivestimento e cemento impiegato.

A RICHIESTA	DESCRIZIONE
Guarnizione Ring-BTM	Sezione rettangolare, posizionata sul maschio e femmina, per la perfetta tenuta idraulica fino alla pressione di esercizio di $P = 5 \text{ N/cm}^2$ (0,5 atm)
Resina epossidica	Resina epossidica bicomponente, tipo bituminosa, ad alta percentuale di resina epossidica, applicata a spruzzo con arioso
Resina epossidica	Resina epossidica bicomponente, tipo aromatica, ad alta percentuale di resina, priva di solventi e diluenti reattivi applicata a spruzzo con arioso
Cemento AARS	Tipo CEM IV/A-42,5 ad altissima resistenza ai solfati, conforme alla norma UNI 9155, con classe di resistenza caratteristica $R_{ct} = 50 \text{ N/mm}^2$

Figura 7-G : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare

Materiali impiegati

- Cemento: tipo CEM II A-LL 42.5R
- Inerti e acqua: sabbie e pietrischi con granulometrie ben assortite, rispettando il fuso di Fuller, in conformità a quanto prescritto nelle UNI 7163-72 o UNI EN 206-1:2006 - acqua potabile o priva di sali (solforati o cloruri)
- Armatura: rete rigida elettrosaldata in acciaio B450C con barre longitudinali e ferri aggiuntivi
- Guarnizione: a base di resina bituminosa, flessibile, permanentemente plastica, autoadesiva, conforme agli standard ASTM

Caratteristiche impasto

- Massa volumica a calcestruzzo fresco: $\geq 2350 \text{ Kg/mc} \pm 3\%$
- Rapporto acqua/cemento: $\leq 0,45$
- Classe d'esposizione: XA1 ambiente umido debolmente aggressivo(UNI EN 206-1:2006)
- Assorbimento d'acqua: con calcestruzzo indurito $\leq 6\%$
- Rck 28gg minima cubetto: $\geq 50 \text{ N/mm}^2$ (C35/45 UNI EN 206-1:2006)
- Durabilità del calcestruzzo: adeguata per le normali condizioni d'esercizio
- Reazione al fuoco: classe EURO A

Carichi

I carichi applicati sono quelli desunti dalla normativa vigente combinati nel modo più sfavorevole. Si verifica il tubo per sovraccarico verticale mobile effetto del transito di mezzo convenzionale a tre assi da 600 KN, per strade di 1° Cat. (D.M.04/05/90)

Natura del terreno

Viene considerato un terreno di scavo di caratteristiche medie, con peso specifico $\gamma_t=1.8 \text{ t/m}^3$ e angolo di attrito interno $\phi=30^\circ$



Modalità di posa

I valori di ricoprimento riportati nella tabella a pag.3 si riferiscono alle seguenti condizioni di posa:

-il posizionamento della tubazione dovrà avvenire su letto di sabbia o di materiale incoerente convenientemente livellato e battuto. Il tubo verrà avvolto fino a 30 cm sopra il piano tangente alla generatrice superiore della sua superficie esterna e per tutta la lunghezza della trincea, avvalendosi di sabbia o di materiale incoerente esente da zolle e pietre, costipato per strati di 15 cm. Si riempie il resto della trincea o si realizza il rinterro voluto con un materiale ordinario o con della terra battuta.

N.B. le prescrizioni per la movimentazione e stoccaggio si fa riferimento al fascicolo "Indicazioni per l'impiego"

Indicazioni per il sollevamento

I ganci sono dimensionati per:
- angolo massimo inclinazione fune $\alpha=60^\circ$
- velocità massima di sollevamento gru' 90 m/min
- sollevamento verticale



Indicazioni per il montaggio con guarnizione:

- 1) Pulire le superfici di giuntura e se necessario applicare il "PRIMER".
- 2) rimuovere uno dei rivestimenti e applicare con forza la guarnizione, metà sul lato superiore del giunto maschio e metà sul lato inferiore del giunto femmina (vedi disegno), sormontando ogni testa e coda dei rotoli.
- 3) rimuovere il più tardi possibile l'altra pellicola protettiva ed accoppiare gli elementi tenendoli ben allineati ed evitando imbracciamenti del giunto/guarnizione.
- 4) la prova di tenuta è la fuoriuscita della guarnizione dopo la giunzione

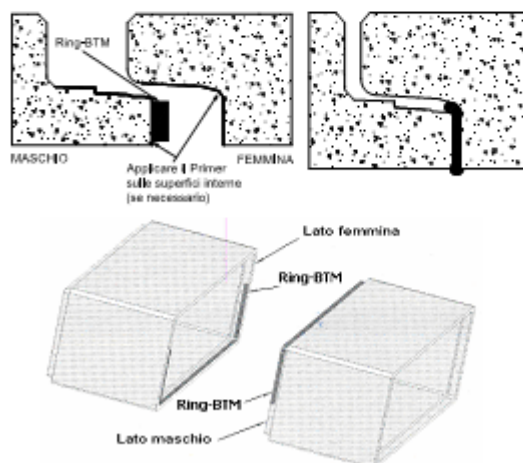


Figura 7-H : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare

TUBO RETTANGOLARE ARMATO CON GUARNIZIONE RING-BTM

Voce di capitolato:

Fornitura e posa in opera di manufatto in cls prefabbricato, realizzato per resistere ai carichi previsti come da progetto, avente le seguenti caratteristiche:

Il tubo dovrà essere vibrocompresso, ben stagionato, compattato, levigato, liscio, perfettamente rettilineo, a sezione interna rettangolare o quadrata, di spessore uniforme su tutte le pareti, scevro da screpolature e fessure, conforme alle norme tecniche emanate con D.M. 14.01.08, UNI EN 14844, UNI EN 13369 e successive modifiche od integrazioni.

Il tubo dovrà essere confezionato con calcestruzzo di cemento tipo 425 Portland o (vedi voce capitolato cementi), con classe di resistenza caratteristica $R_{ck} > 50$ N/mm² (vedi cemento impiegato), con inerti perfettamente lavati di granulometria assortita di almeno 3 granulometrie, rispettando il fuso granulometrico di Fuller, in conformità a quanto prescritto dalla UNI 7163-72 o UNI EN 206-1:2006. Il calcestruzzo dovrà essere prodotto nel cantiere di prefabbricazione con propri impianti di betonaggio, provvedendo oltre al controllo delle miscele, anche il controllo del rapporto acqua cemento tenendo conto dell'umidità degli inerti.

Il tubo dovrà essere armato con gabbia rigida costituita da rete elettrosaldata ($f_{yk} \geq 450$ N/mm²), e da eventuali ferri sagomati, saldati e posizionati correttamente in acciaio B450C, opportunamente calcolata e dimensionata in funzione dei carichi e delle sollecitazioni previste, con copriferro min. di cm.3, con armatura di ripartizione longitudinale maggiore od uguale al 20% dell'armatura principale necessaria, con verifica al rischio sismico secondo O.P.C.M. n° 3274/2003, n° 3316/2003 e successive modifiche.

Il tubo dovrà avere una lunghezza utile non inferiore a mt.1,20 e non superiore a mt.2,00, completo di giunto a risega a tutto spessore, con possibilità di posizionamento di guarnizione (inserire tipo vedi voce di capitolato), alloggiata su apposita sede, atta a garantire la perfetta tenuta idraulica, con rivestimento con resine vedi voce di capitolato, tali da poter sopportare un carico mobile da 60 t. per ponti di I° categoria, con spessore di rinterro e caratteristiche come dai disegni di progetto, in conformità a quanto previsto dalla normativa sui cementi armati D.M. 09.01.96, D.M. 03.12.87, D.M. 04.05.90 e compreso di ganci di sollevamento a fungo per la movimentazione (quando richiesto).

Dovrà essere attestato che le modalità di fabbricazione del tubo, sono conformi alle procedure del sistema qualità di cui alle norme UNI EN ISO 9001, in ogni caso il manufatto dovrà essere fabbricato in officina o cantiere debitamente attrezzato, con procedimento atto a garantire il costante raggiungimento dei requisiti di tutti manufatti prodotti, tutte le operazioni che compongono il processo di lavorazione, dovranno essere ripetute secondo uno schema prestabilito e ben precisato.

Il tubo dovrà essere tale da garantire il rispetto delle prescrizioni contenute nell'allegato 4, dei "criteri, metodologie, e norme tecniche generali" di cui all'art.2, lettere b), d), e), della legge 11 maggio 1999, n°152, recante norme per la tutela delle acque dall'inquinamento.

Il tubo dovrà essere posto in opera su letto di sabbia o materiale incoerente convenientemente livellato e battuto, con riempimento da addossare alle pareti verticali con materiale incoerente (vedere modalità di posa), la formazione delle livellette dovrà essere eseguita con attrezzatura di alta precisione, la giunzione fra le tubazioni dovrà essere realizzata solamente mediante apparecchiatura idraulica o manuale di tipo (TIR-FOR).

La posa del tubo dovrà comprendere i movimenti di terra oltre la larghezza e profondità dello scavo per la posa dei condotti, il sottofondo e i rinterri previsti dai grafici di progetto, compreso ogni altro onere per dare il lavoro finito a regola d'arte.

L'Impresa sarà tenuta a fornire tutti i calcoli di verifica, firmati da un professionista abilitato.

Se richieste e su giudizio insindacabile della Direzione Lavori l'impresa dovrà presentare i certificati di prove dei materiali impiegati per la costruzione del manufatto, rilasciate da un laboratorio autorizzato.

Elenco prezzi:

Tubo rettangolare prefabbricato, in c.a.v., confezionato con calcestruzzo di cemento tipo 425 Portland o (vedi voce capitolato cementi), con classe di resistenza caratteristica $R_{ck} > 50$ N/mm² (vedi cemento impiegato), dimensioni interne di cm.(...) \times (...) spessore cm.(...), con base di appoggio lato maggiore, lunghezza utile cm. (...), spessore delle pareti costanti, peso cad.no Ton. (...), armato con gabbia rigida costituita da rete elettrosaldata ($f_{yk} \geq 450$ N/mm²), e da eventuali ferri sagomati, saldati e posizionati correttamente in acciaio B450C, calcolata come cemento armato, in conformità alle varie normative in vigore, atto a resistere a un carico mobile da Ton. 60, per ponti di I° cat., con un ricoprimento minimo di cm. (...) e massimo di cm. (...), per zona sismica, con giunto a mezzo spessore, completo di guarnizione a sezione rettangolare, alloggiata per metà sulla parte superiore del giunto maschio e metà sulla parte inferiore del giunto femmina, per la tenuta idraulica e compreso di fori per sollevamento con golfari o, a richiesta, di ganci di sollevamento incorporati nel tubo del sistema "DEHA".

Figura 7-I : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare

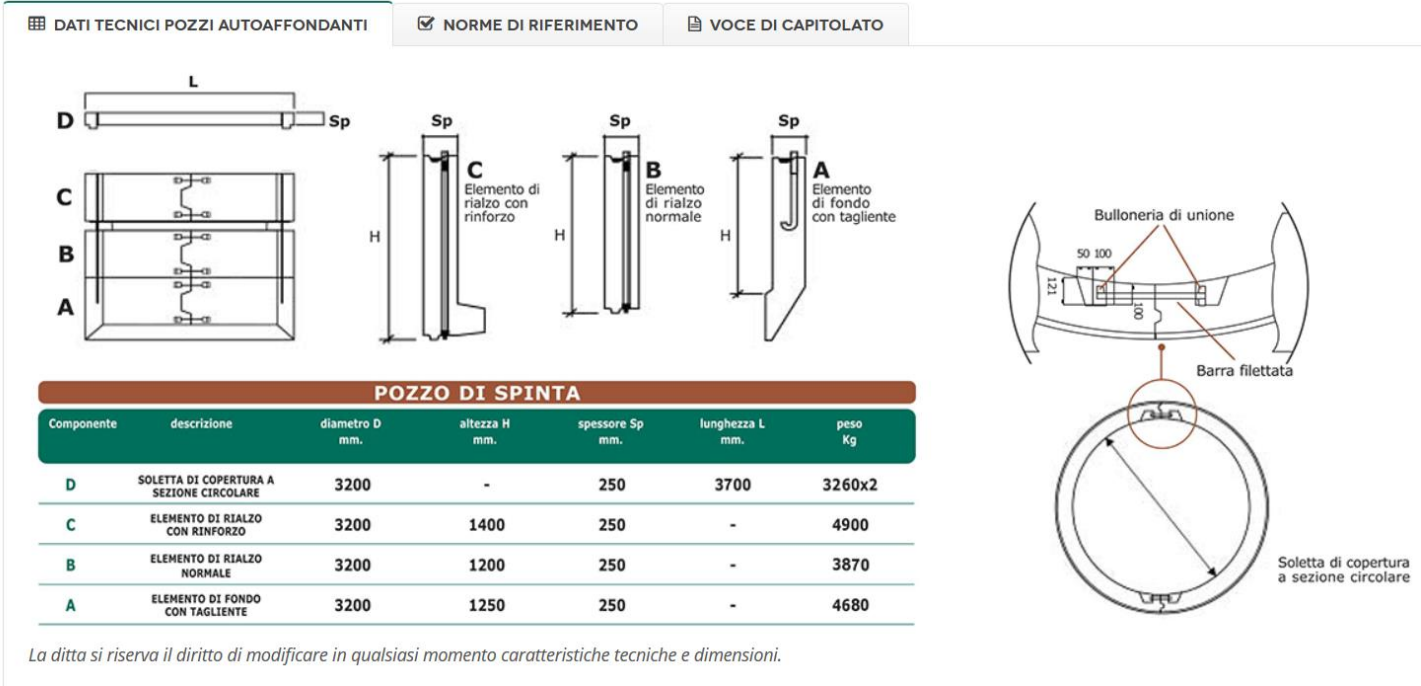


Figura 7-J : Specifica tecnica pozzo autoaffondante circolare

8 CANTIERE MICROTUNNELLING

L'esecuzione delle operazioni di perforazione richiede, per ogni tratta, l'allestimento di 2 distinte aree di cantiere:

- 1) Area di cantiere principale, relativa al pozzo di spinta;
- 2) Area di cantiere secondaria, relativa al pozzo di arrivo.

Presso l'area di cantiere principale, devono essere posti in opera una serie di dispositivi mirati al corretto funzionamento della testa fresante e al processo dello smarino, di cui:

- Cabina di controllo, che permette la guida ed il monitoraggio della testa fresante;
- Generatore, per fornire energia elettrica ai vari apparati;
- Power pack, pompe idrauliche per il sistema idraulica di scavo e smarino;
- Vasche di miscelazione/flocculazione, accumulo, separazione, decantazione e contenimento reflui esausti.

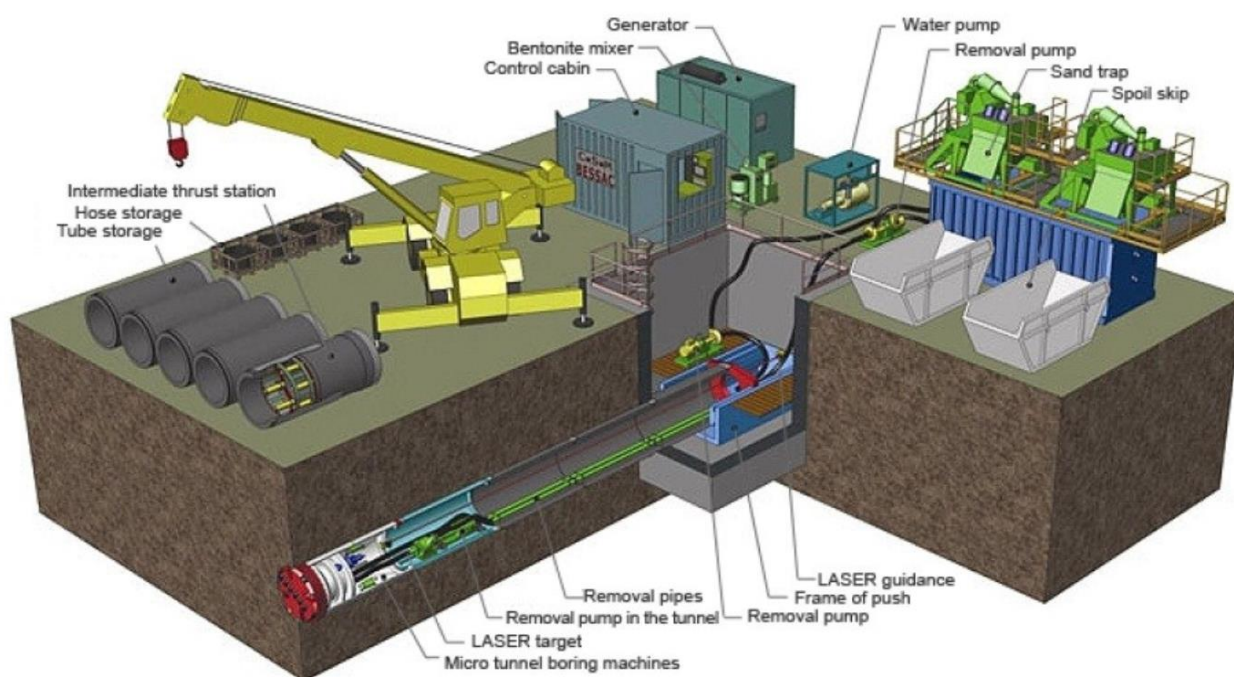


Figura 8-A : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta

Si riportano di seguito degli schemi tipo di allestimento di cantiere sia per il cantiere per perforazione DN600, evidenziando che ove necessario è possibile procedere ad una specifica progettazione del layout di cantiere, per adattarlo a contingenti condizioni logistiche.

Gli ingombri di cantiere, come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono quantificabili a:

- perforazione DN800, sviluppo lineare con dimensioni minime di circa 36m x 8.50m, per un'occupazione areale di circa 310 m²;

Le dimensioni dell'area secondaria sono invece ridotte, e relative alle dimensioni minime necessarie alla scavo e posa del pozzetto autoaffondante, e alle successive operazioni di recupero della testa fresante.

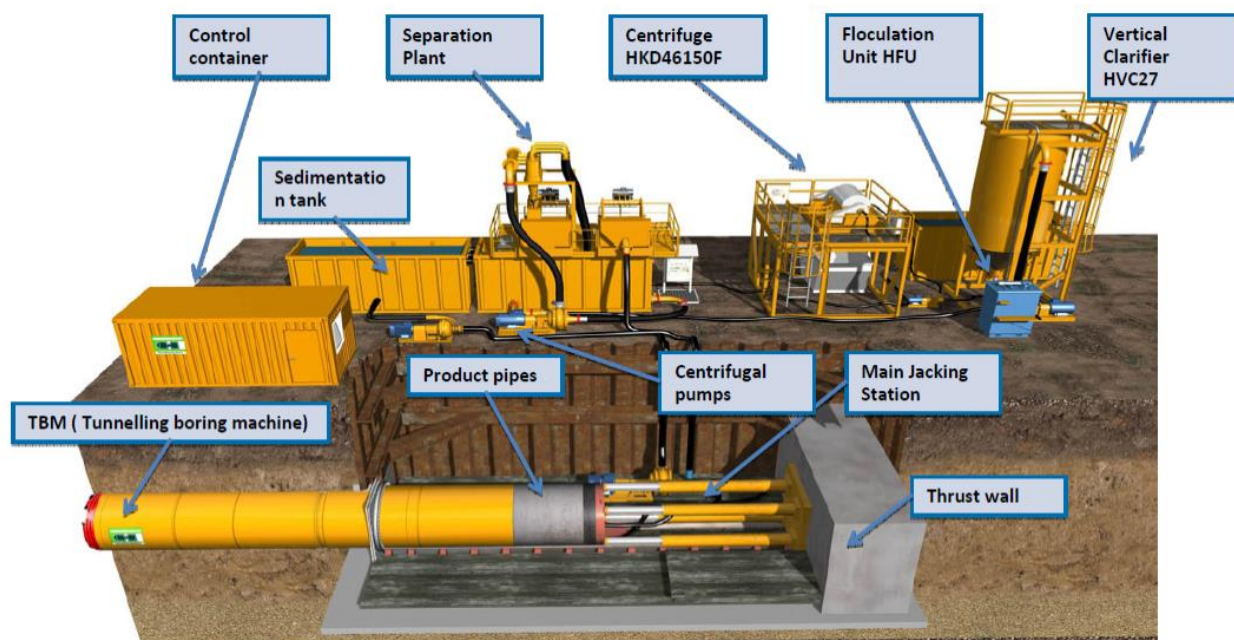


Figura 8-B : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta

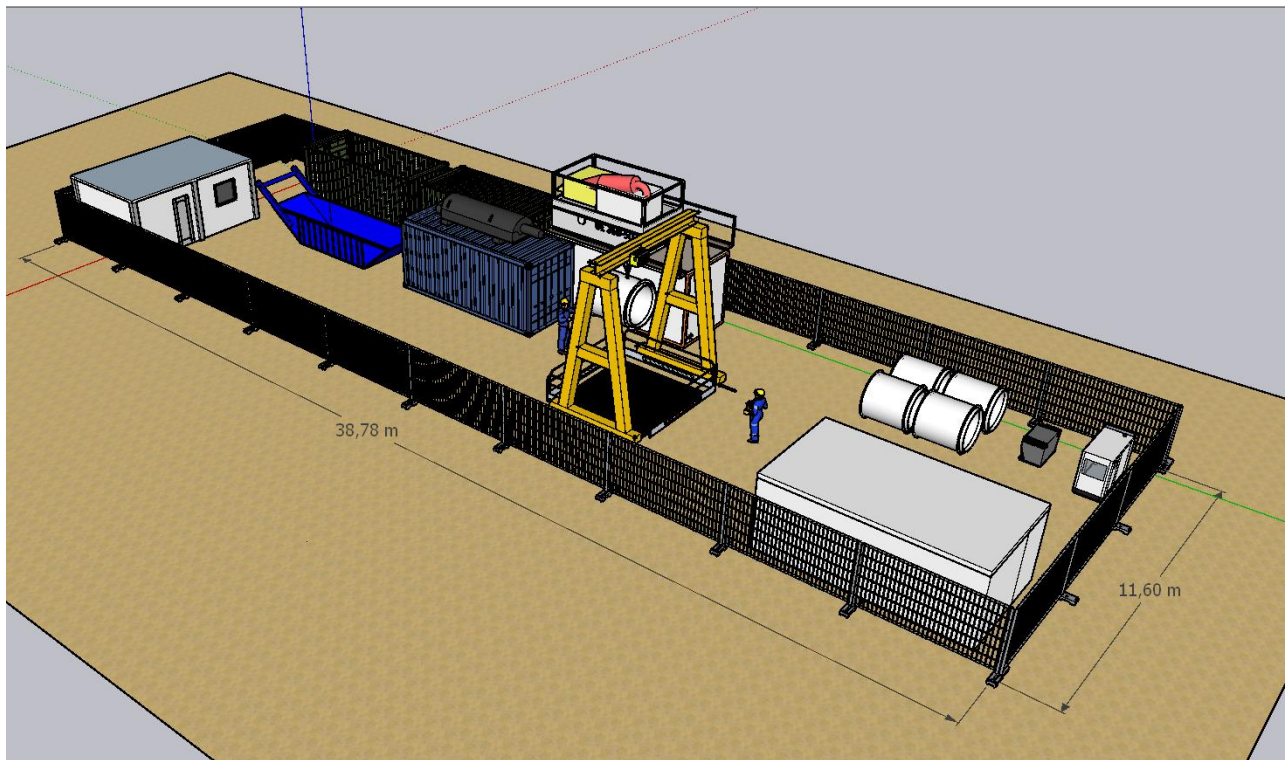


Figura 8-C : Cantiere microtunnelling DN800

INQUADRAMENTO PLANIMETRICO AREA DI CANTIERE POZZETTO DI ARRIVO 2b - SCALA 1:200

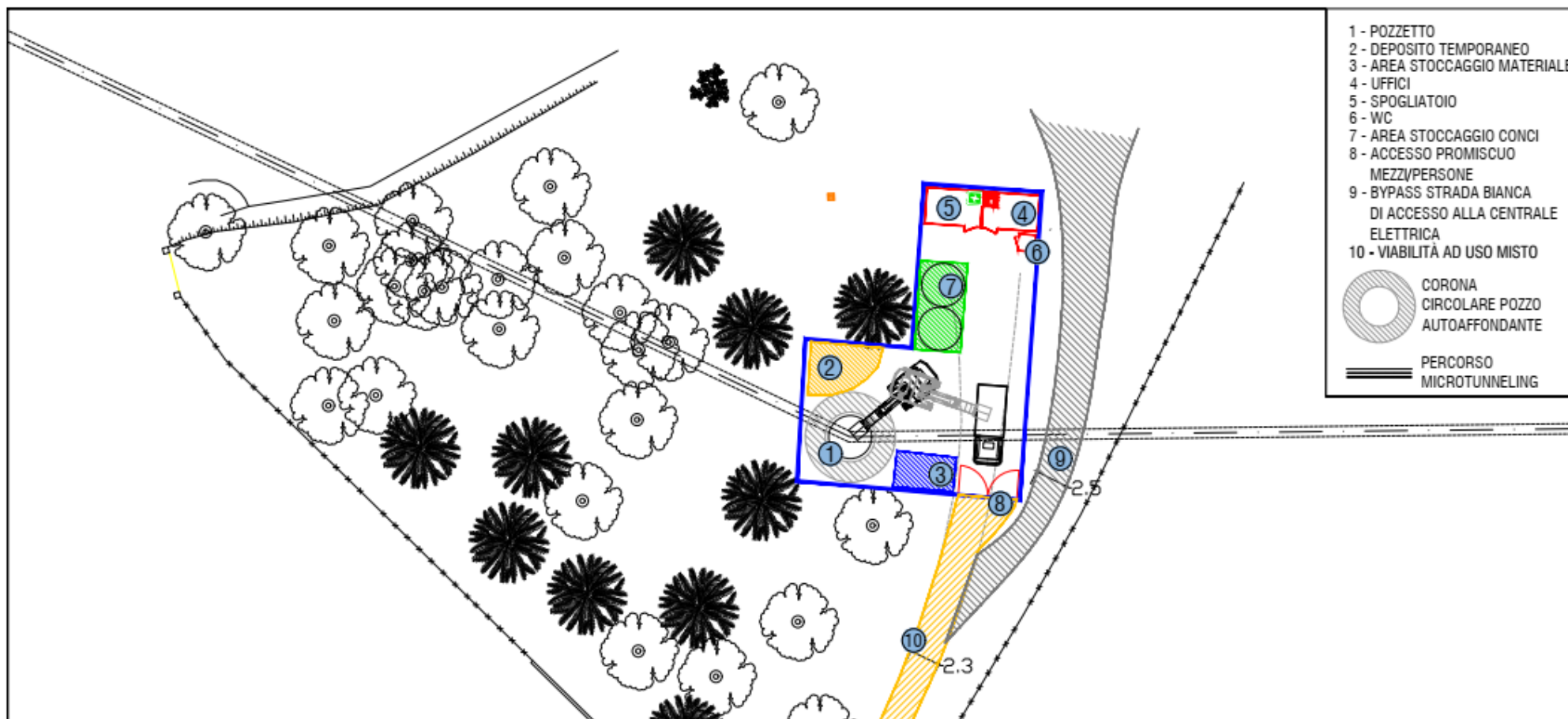


Figura 8-D : Schema cantiere microtunnelling pozzo di spinta S2b – DN800

INQUADRAMENTO PLANIMETRICO AREA DI CANTIERE POZZETTO DI SPINTA 2a - SCALA 1:200

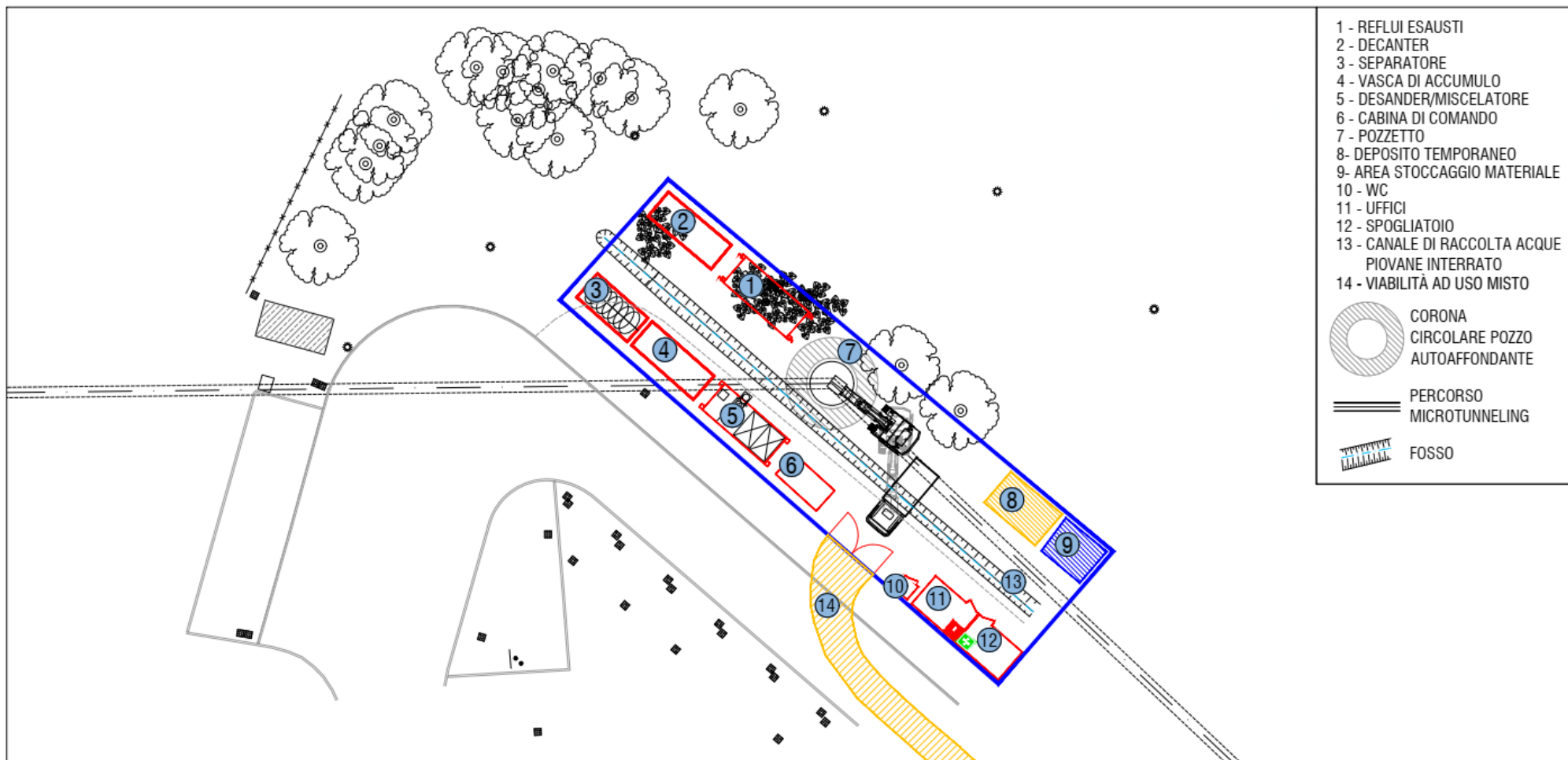


Figura 8-E : Schema cantiere microtunneling pozzo di spinta S2a – DN800



Figura 8-F : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta



Figura 8-G : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta

9 MONITORAGGIO

Una componente fondamentale per la buona riuscita delle perforazioni è il monitoraggio in continuo dei parametri principali in grado di influenzare il buon andamento delle lavorazioni.

Il monitoraggio dovrà essere effettuato secondo le linee guida definite da diverse Norme e guide di cui:

- Normativa Europea EN 12889:2002 “Trenchless Construction and testing of drains and sewes”;
- DAUB recommendations for the selection of tunneling machines” così come redatte dal “German Tunnelling Committee (DAUB)”;
- Standard Design and Construction Guidelines for Microtunneling, ASCE, 2015.

9.1 PARAMETRI DI SCAVO

Si dovranno monitorare i seguenti parametri:

- velocità di spinta;
- momento torcente della testa di scavo;
- la portata del fluido di scavo in ingresso ed in uscita della camera di scavo.

Questi parametri infatti regolano la pressione del fluido di scavo al fronte, che dovrà restare all'interno degli intervalli definiti per ciascuna unità stratigrafica, al fine di garantire la stabilità del fronte di scavo

9.2 TRAIETTORIA

La traiettoria della MTBM verrà controllata e monitorata tramite il sistema automatico di controllo tipo SLS – RV o tipo SLS – LT, che sono stati messi a punto per tracciati in curva.

Si tratta di sistemi che controllano la reale posizione della MTBM tramite un raggio laser, che colpisce l'unità ELS (Electronic Laser System), che è montata sul retro dello scudo della MTBM.

Il sistema ELS è normalmente dotato di due inclinometri interni al fine di definire la corretta posizione dello scudo in termini sia di deviazione verticale ed orizzontale che di rotazione e di deviazione angolare dalla traiettoria di progetto.

Al fine di garantire che il laser di guida continui a raggiungere l'unità ELS anche in presenza di curve, il sistema di guida è dotato di una stazione automatica totale che colpisce l'unità ELS della MTBM e due prismi posti tra la fresa e la stessa stazione totale, andando così a misurare la traiettoria reale.

La posizione della stazione totale è ancorata a dei caposaldi, posti a tergo della stazione stessa, che sono stati definiti tramite precedenti misurazioni.

La stazione totale deve essere installata su di una base di appoggio autolivellante, capace di correggere le eventuali rotazioni del tubo, dove la stazione è installata.

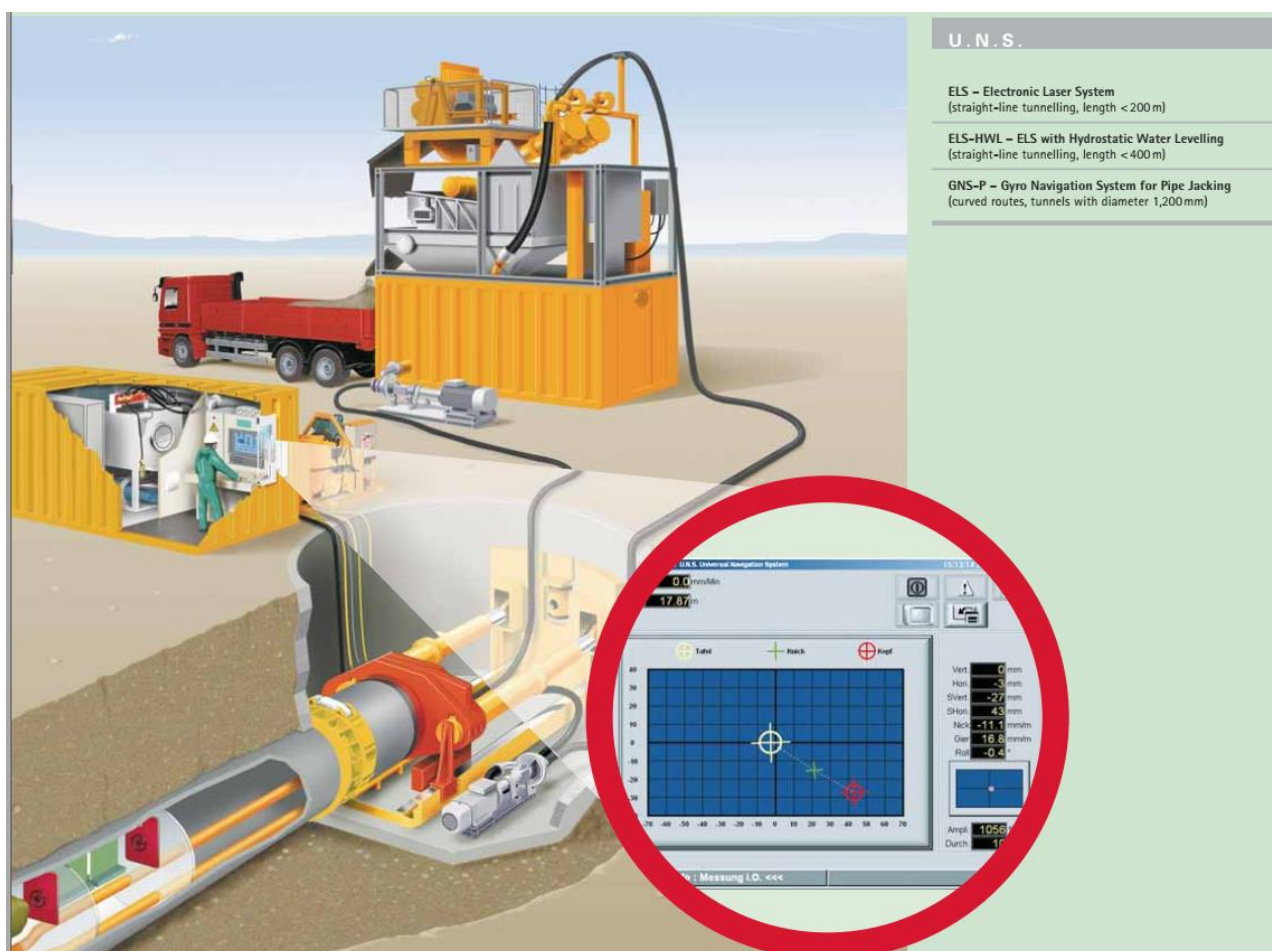


Figura 9-A : Schema tecnico sistema guida microtunnelling

9.3 FLUIDO DI PERFORAZIONE

Il decadimento delle caratteristiche del fluido bentonitico iniettato al fronte di scavo a seguito del suo arricchimento in particelle fini di terreno scavato dovrà essere adeguatamente controllato durante l'esecuzione dei lavori.

In particolare, durante l'esecuzione dei lavori si dovranno controllare i seguenti parametri del fluido di perforazione:

- peso dell'unità di volume che non dovrà essere superiore a 12 (KN/m³);
- viscosità misurata al cono di Marsch che dovrà essere mediamente compresa tra 30 – 40 secondi in terreni fini;
- contenuto in sabbia con valori inferiori a 4 – 5%;
- pH tra 8 e 10.

I valori suddetti devono essere intesi come ordine di grandezza in quanto i valori reali dipenderanno dalle caratteristiche del fluido di perforazione adottato e dalla sua interazione con i terreni scavati.

9.4 INIEZIONE A TERGO DELLE TUBAZIONI

Il sistema di iniezione del fluido bentonitico all'interno del sovrascavo o overcut, durante la perforazione dovrà garantire il monitoraggio in automatico ed in continuo dei volumi e delle pressioni di iniezione.

I volumi di iniezione non dovranno essere inferiori a 2÷5 volte il volume del sovrascavo.

La pressione di iniezione sarà pari a 2 bar e dovrà essere mantenuta costante durante tutta la durata dello scavo tramite iniezioni successive, se necessarie.

L'iniezione non sarà effettuata solamente a tergo dello scudo, ma dovrà essere eseguita tramite idonee stazioni di iniezione, che saranno installate lungo le tubazioni con una interdistanza non superiore a 15/20 m.

10 PRESCRIZIONI TECNICO OPERATIVE SULLA PERFORAZIONE

Si riportano di seguito una serie di indicazioni sugli apprestamenti tecnici operativi delle MTBM da impiegare per la perforazione delle tratte in oggetto.

In particolare, si tratta di indicazioni relative a:

- 1) TIPOLOGIA MTBM – DIAMETRI E LUNGHEZZE TRATTE PERFORAZIONE
- 2) LUBRIFICAZIONE
- 3) STAZIONI INTERMEDIE

10.1 MTBM – DIAMETRI E LUNGHEZZE TRATTE PERFORAZIONE

Si prevede la realizzazione della perforazione con una testa da microtunnelling DN800 per terreni misto pesante.

HERRENKNECHT. SOLUTIONS FOR ALL GEOLOGIES.

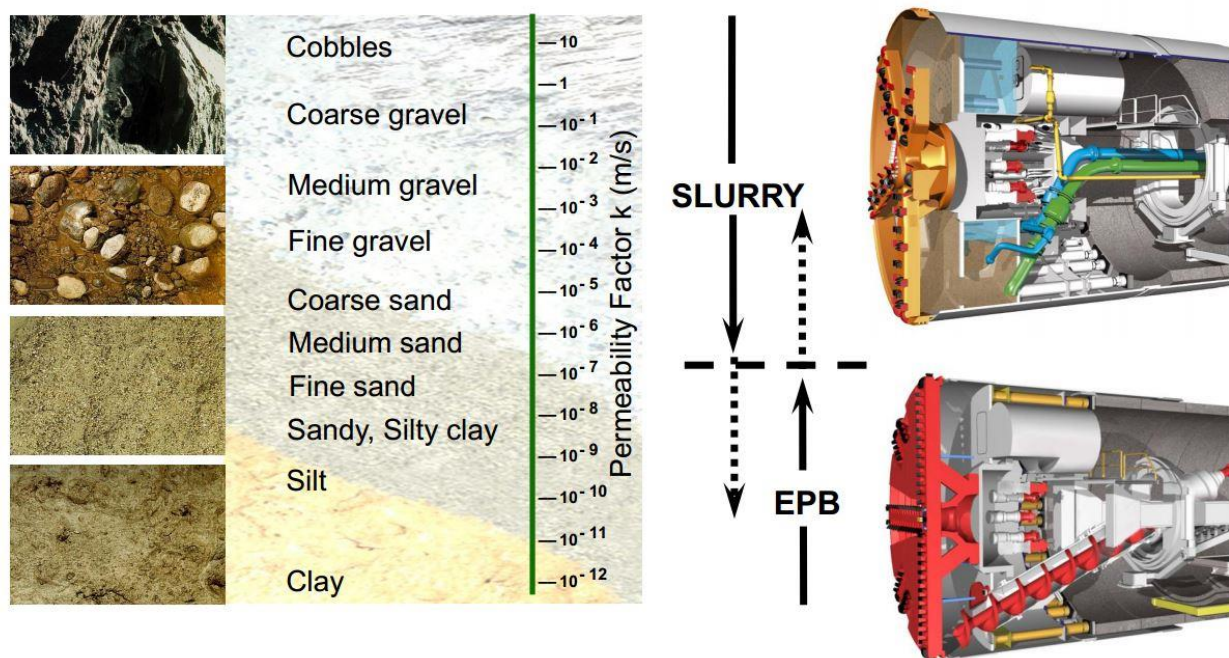


Figura 10-A : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”

È parere dello scrivente che debbano essere prese in attenta considerazione le seguenti indicazioni:

- Si deve prevedere un corretto apprestamento/dimensionamento delle tecniche relative all'**OVERCUT** e alla **LUBRIFICAZIONE** dei conci;
- deve essere preso in considerazione uno specifico dimensionamento e condizionamento degli utensili delle teste fresanti prevedendo numerosi utensili di taglio e disgreganti di dimensioni opportune, come riportato ad esempio nelle figure successive relative a **MTBM HARD MIXED GROUND DN800**.



Figura 10-B : MTBM con testa fresante condizionata da "misto pesante" utilizzata nel cantiere di Bolzano

Relativamente all'indicazione delle massime lunghezze di spinta, si evidenzia che i valori di seguito indicati, sono relativi agli orizzonti di perforazione sin qui evidenziati, per cui è inderogabile disporre di soluzioni tecnologiche che permettano di garantire il buon esito delle operazioni di perforazione, anche a fronte di condizioni situ specifiche maggiormente avverse rispetto a quanto ipotizzato.

Tabella 10-1 - Abaco riepilogativo lunghezze massima di spinta e condizionamenti teste DN800

DIAMETRO PERFORAZIONE	LUNGHEZZA MASSIMA [m]	CONDIZIONAMENTI - DISPOSITIVI
DN800	100 – 120	OVERCUT LUBRIFICAZIONE UTENSILI TAGLIO DISGREGAZIONE STAZIONI INTERMEDIE A DISCREZIONE D.L.

È utile evidenziare che le Norme UNI/PdR 26.2017 al paragrafo 6.3.3.7 relativamente alle tecnologie microtunnelling, riportano indicazioni sulle massime lunghezze di spinta, utilizzando ove disponibili le stazioni intermedie.

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 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.

Figura 10-C : Estratto UNI/PdR 26.2 2017 ¶6.3.1.7"

10.2 LUBRIFICAZIONE

La lubrificazione rappresenta uno degli aspetti critici durante le operazioni di perforazione, in quanto esperienze ormai consolidate e analizzate, permettono di asserire che una ottimale lubrificazione garantisce di ottenere un abbattimento della resistenza di tipo attritivo fino al 90%.

La tipologia e la tecnica di lubrificazione sono strettamente legate alla soluzione tecnologica scelta e al tipo di fresa in uso.

La presente Relazione riporta quindi delle indicazioni relative all'inderogabile ricorso alla lubrificazione delle operazioni di perforazione, demandando a determinazioni operative situ specifiche relativamente alle corrette miscele acqua/bentonite/polimeri da utilizzare.

Con riferimento al coefficiente permeabilità $k = 1,00 \text{ E-04} \text{ [m/s]}$, classificabile come medio permeabile, si ravvisa un basso/medio rischio di evacuazione del fluido di lubrificazione.

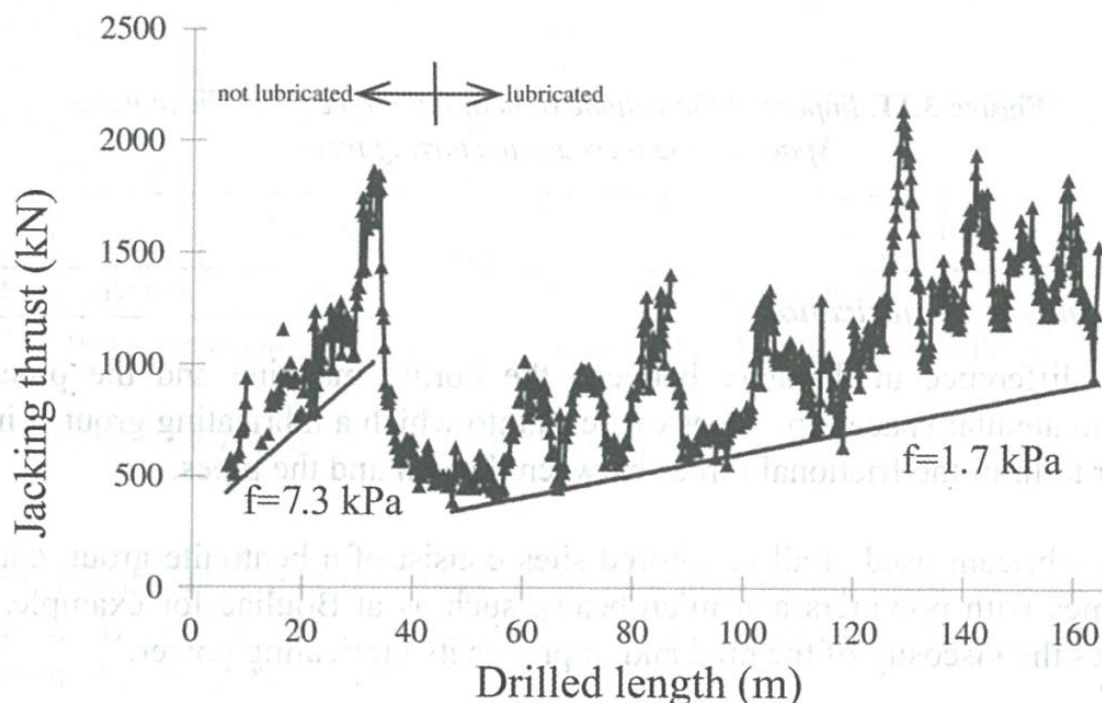


Figure 3.12. Variation in the jacking thrust at Châtenay-Malabry

Figura 10-D : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, *Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations*

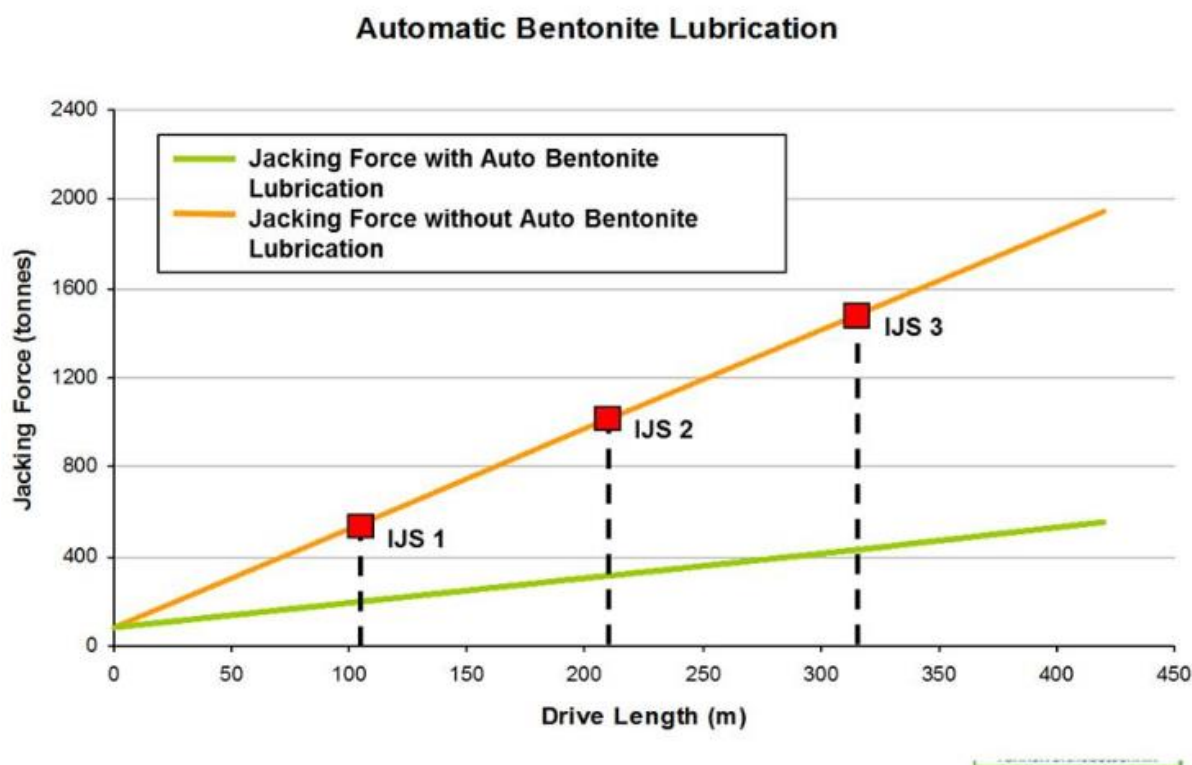


Figura 10-E : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

10.3 STAZIONI INTERMEDIE

In ragione delle lunghezze di perforazione e della tipologia di materiale, si ritiene che sia necessario ricorrere a stazioni di spinta intermedie ove tecnicamente possibile, in quanto le stesse dovranno garantire il mantenimento dei livelli di spinta sui conci costituenti la condotta entro valori di garanzia contro eventuali rotture.

Come sopra evidenziato il livello di spinta atteso è funzione di numerosi parametri, non definibili in dettaglio in termini analitici.

In termini di esperienza empirica, che dovrà essere suffragata dall'analisi dei primi dati disponibili sulla perforazione in esecuzione, si può ipotizzare che in ragione degli orizzonti di perforazione evidenziati, le stazioni spinta intermedie dovranno avere una distanza massima compresa fra gli 80 – 100 m.

Si evidenzia che come riportato nei paragrafi precedenti è prescritto il ricorso alla stazione intermedia per la tratta 3 – 2b – SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE, mentre relativamente alla tratta 2a – 2b il ricorso alla stazione intermedia sarà in funzione dell'andamento delle sollecitazioni in testa e comunque a discrezione della D.L.

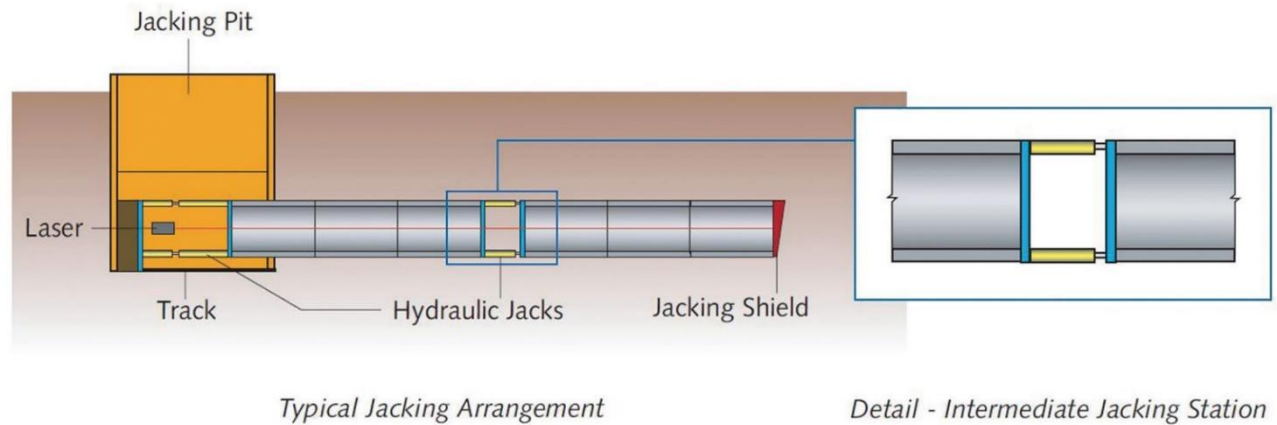


Figura 10-F : Estratto da seminario su "Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

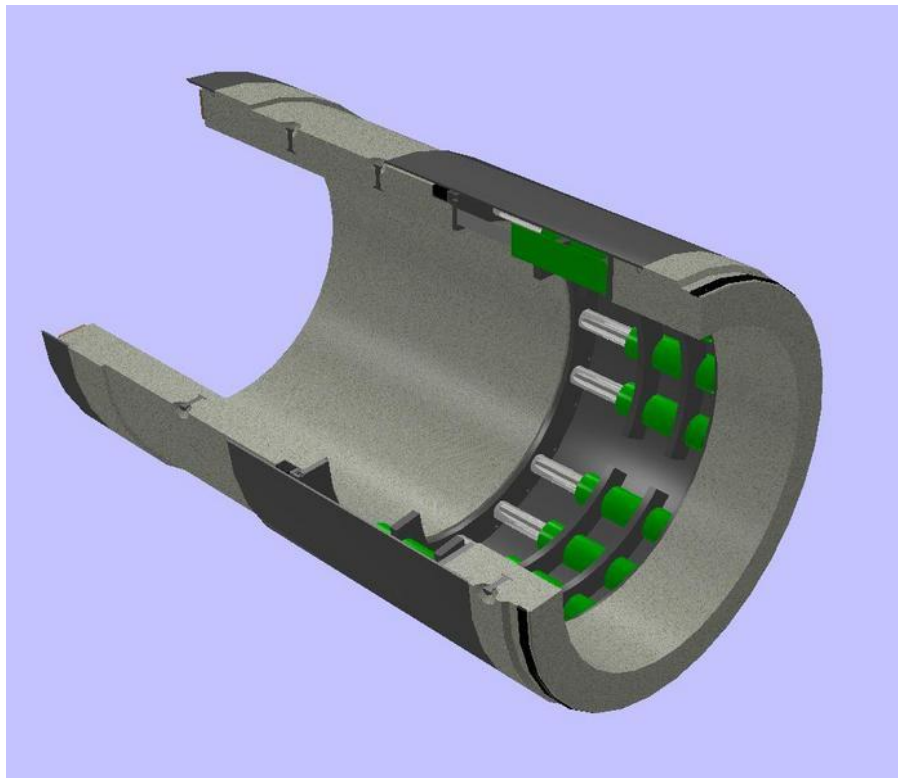


Figura 10-G : Estratto da seminario su "Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

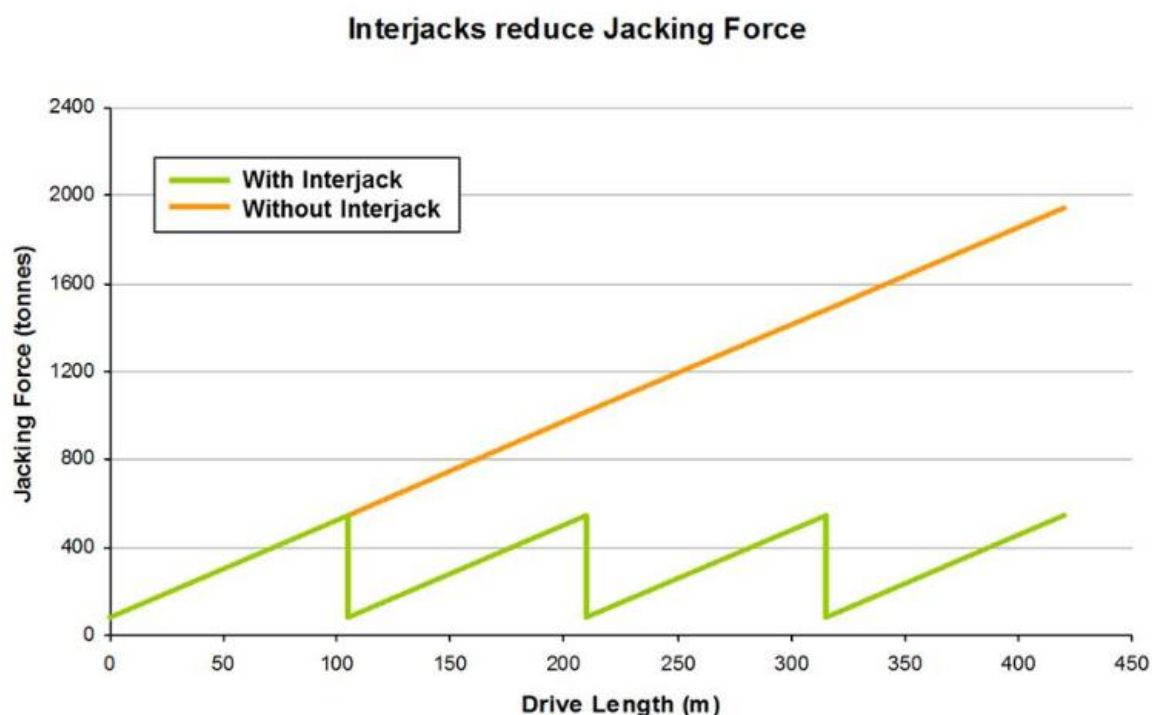


Figura 10-H : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

11 PRESCRIZIONI TECNICHE ATTRAVERSAMENTO F.F.S.S. TRATTO 2a - 2b

Il tratto di condotta che interessa l'attraversamento, ha una lunghezza da pozzetto a pozzetto di circa 118 m - sarà rettilinea e formerà con la normale all'asse dei binari un angolo di 28°.

Durante le lavorazioni saranno seguite le seguenti prescrizioni operative:

- L'attraversamento dovrà essere eseguito in regime di interruzione della linea ferroviaria;
- sarà previsto, a cura dell'impresa esecutrice, il monitoraggio dello stato del binario con rilievo delle due fughe di rotaia per tre volte nell'arco della giornata (mattino, pomeriggio, sera o più ravvicinati qualora si ravvisassero movimenti nell'intervallo). Tali rilievi dovranno essere effettuati ogni 3 metri per una lunghezza totale di 12 metri a cavallo dell'opera dall'inizio dell'attraversamento per una settimana, e una sola lettura giornaliera per la settimana a seguire. I rilievi dovranno essere inviati giornalmente al Responsabile dell'Unità Manutentiva di zona. Qualora si rilevassero

movimenti anomali (differenze di quota sulle mire contigue della stessa rotaia e tra le mire affacciate delle due fughe di rotaia oltre 1,00 cm) la comunicazione sarà immediata e tempestiva.

- L'impresa esecutrice dovrà garantire il pronto intervento in reperibilità e l'eventuale attivazione di una squadra specializzata di armamento per il ripristino delle caratteristiche geometriche del binario nel caso di cedimento dello stesso anche nei giorni successivi alla realizzazione dell'attraversamento. In caso di necessità dovrà essere previsto l'intervento di macchina rinalzatrice pesante.
- Prima dell'inizio dei lavori verranno trasmessi ai Responsabili Tecnici F.F.S.S. i certificati attestanti le caratteristiche meccaniche dei materiali formanti la condotta posata.

12.1 SPECIFICHE TECNICHE CONDOTTA

Le sezioni della condotta in GRES CERAMICO DN800 saranno unite di testa mediante giunzione acciaio/elastomero a tenuta stagna.

La condotta, nel tratto interessante l'attraversamento avrà le seguenti caratteristiche:

Normativa di riferimento	D.M. 14 aprile 2014 n. 137
Fluido trasportato:	Acque reflue
Pressione:	0 bar
Materiale formante il tubo:	GRES CERAMICO
Diametro esterno del tubo:	970 ± 24 mm
Diametro interno del tubo:	792 ± 12 mm
Spessore del tubo:	≈ 178 mm
Lunghezza sezioni del tubo:	1981 mm
Materiali formanti i giunti:	Elastomero a tenuta stagna

Profondità di posa della condotta: La condotta sarà posta in opera ad una profondità di circa 12,80 m misurata dall'estradosso superiore del tubo al piano del ferro.

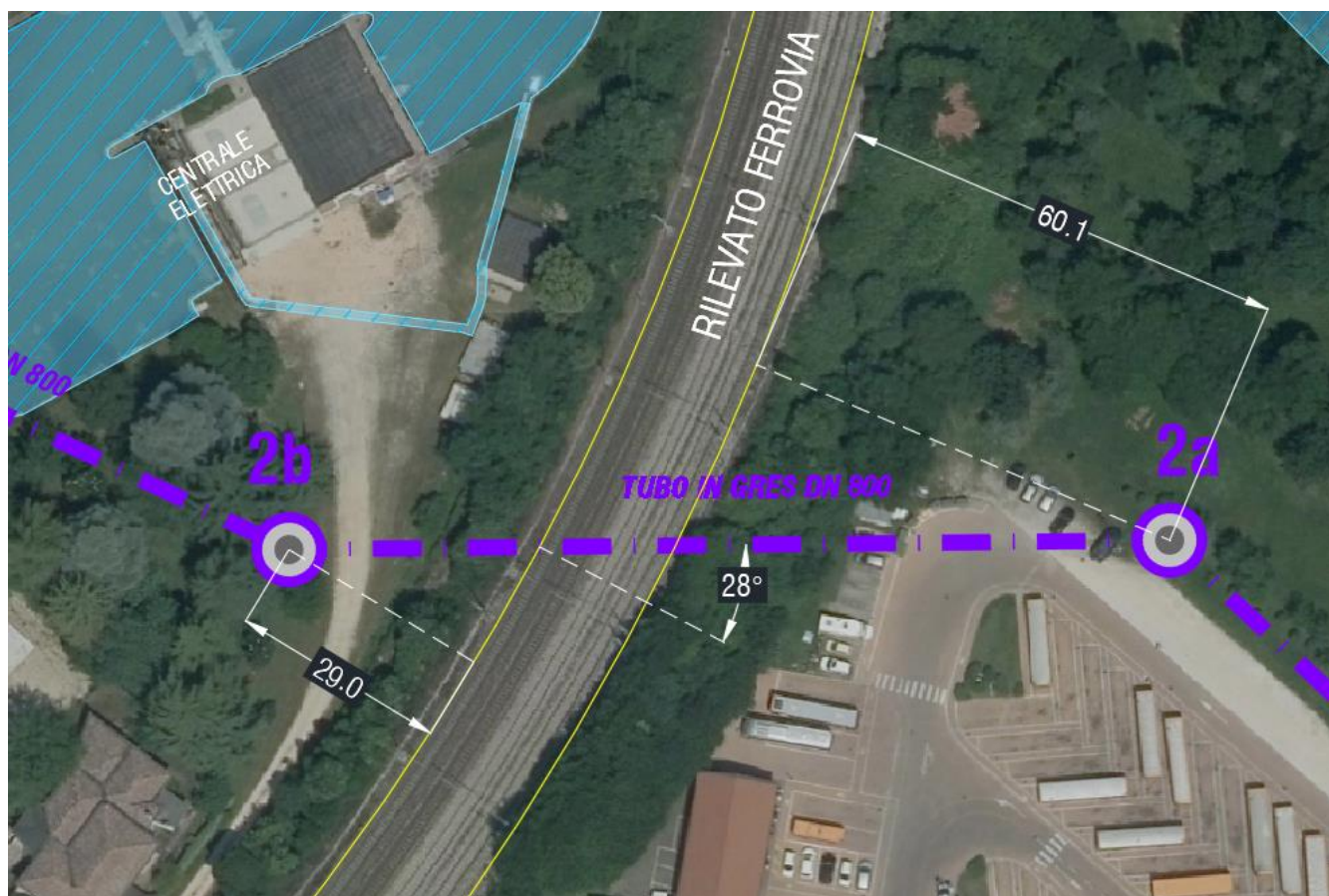


Figura 12.1-A : Estratto planimetrico posa condotta tratto 2a – 2b

12.2 SPECIFICHE TECNICHE GIACITURA CONDOTTA

Per tutta la tratta in attraversamento la condotta sarà interrata ad una profondità minima all'estradosso superiore della condotta di 7.4 m.

Tale profondità garantirà la non sussistenza di possibili interferenze con tutti i manufatti di fondazione del rilevato ferroviario, delle linee elettriche oltre che di condotte idriche e dei cavi elettrici e telefonici interrati di pertinenza delle ferrovie.

Si evidenzia che per tutta la tratta l'altezza minima del terreno sovrastante risulta superiore di almeno m.1,20 per una estesa corrispondente alla distanza tra le due rotaie estreme aumentata di m.3,00 al di là di entrambe, e che se nella suddetta estesa ove ricadessero cunette, la profondità minima di interramento della condotta, rispetto il fondo di esse, risulta di almeno m.0,80. Oltre detta estesa, e fino a 20 metri dal filo esterno delle rotaie, la profondità di interramento è non inferiore a m. 0,80.

Analogamente sono rispettate le distanze minime di m 2,00 dai blocchi di fondazione delle linee elettriche e di m 0,50 dalle condotte idriche e dai cavi elettrici e telefonici interrati di pertinenza delle ferrovie.

Il tubo costituente la condotta in attraversamento ha una pendenza continua non inferiore a 2 per mille in direzione valle e terminerà in pozzetti praticabili, posti a distanza misurata ortogonalmente ai binari dalla rotaia più vicina di circa 29 m lato monte (pozzetto 2b) e di 60.1 m lato valle (pozzetto 2a).

I suddetti pozzetti hanno lo scopo di consentire l'ispezione della condotta e lo smaltimento delle eventuali perdite dovute all'avaria della stessa.

Tali pozzetti saranno realizzati con presidi che evitano l'accesso di acque parassite ed in particolar modo acque meteoriche o di altre sostanze.

Durante l'esecuzione dei lavori saranno concordate con RFI tutte le fasi di avanzamento dei lavori ed in ogni caso saranno adottati i migliori provvedimenti suggeriti dalla tecnica e dall'esperienza allo scopo di garantire l'incolumità delle persone ed escludere qualsiasi pregiudizio o danno a RFI.

La condotta nel tratto 2a – 2b interessante l'attraversamento, non sarà soggetta a pressione e pertanto non dovrà essere sottoposta a collaudo in opera.

ENKI s.r.l.

Ing. Andrea Mazzetti