

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.r.l.

MONTEBELLUNA



**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.

R02.01

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA
DI FATTIBILITA' OPERE MICROTUNNELING**

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.



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	10
2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	11
	2.1 INQUADRAMENTO PLANIMETRICO TRATTE MICROTUNNELING	13
3	DESCRIZIONE TECNOLOGIA MICROTUNNELING	16
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	19
	4.1. PROFILI CONDOTTE FOGNARIE DN800.....	21
5	CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE	26
	5.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RISPETTO AD INDICAZIONI FSST	27
6	PERMEABILITÀ	29
	6.1 PERMEABILITA' TRATTE ESTERNE SILE	29
	6.2 PERMEABILITA' SUBALVEO SILE.....	30
7	VALUTAZIONI SUI VALORI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE UCS	32
	5.2 VALUTAZIONI SULL'ABRASIVITA' ATTESA.....	34
6	JACKING FORCE.....	37
	6.1 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 2b – 2a.....	41
	6.2 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 3 – 2b – SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE 43	
	6.3 TUBI PER POSA A SPINTA.....	45
	6.4 SPECIFICHE TECNICHE TUBI PER POSA A SPINTA IN GRES	46
	6.5 ABACO RIEPILOGATIVO CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	47
7	INDICAZIONI SUGLI APPRESTAMENTI DELLA TBM	48
	7.1 MTBM – DIAMETRI E LUNGHEZZE TRATTE PERFORAZIONE.....	48
	7.2 OVERCUT	62
	7.3 LUBRIFICAZIONE	62
	7.4 STAZIONI INTERMEDIE	64
	7.5 USURA UTENSILI.....	66
8	REALIZZAZIONE DI POZZI AUTOAFFONDANTI	70

8.1	SPECIFICHE TECNICHE DEL POZZETTO.....	82
9	CANTIERE MICROTUNNELLING	86
10	MONITORAGGIO	95
10.1	PARAMETRI DI SCAVO	95
10.2	TRAIETTORIA.....	95
10.3	FLUIDO DI PERFORAZIONE.....	97
10.4	INIEZIONE A TERGO DELLE TUBAZIONI	97
11	CONCLUSIONI	98
12	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	102

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-A : Tecnica di posa condotte con microtunnelling	11
Figura 2-B : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling	14
Figura 2-C : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling	15
Figura 3-A : Schema cantiere microtunnelling	16
Figura 3-B : Schema cantiere microtunnelling – sezione	17
Figura 3-C : Schema cantiere microtunnelling	18
Figura 4-A : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 3a – 3	21
Figura 4-B : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 3 – 2b	22
Figura 4-C : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2b – 2a	22
Figura 4-D : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2a – 2	23
Figura 4-E : Estratto profili condotte fognarie – DETTAGLIO SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE	24
Figura 4-F : Estratto profili condotte fognarie LEGENDA	25
Figura 5-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations	27
Figura 5-B : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations	27
Figura 5-C : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations	28
Figura 6-A : Prova permeabilità Lefranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata	29
Figura 6-B : Prova permeabilità laboratorio carico variabile – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata	30
Figura 6-C : Prova permeabilità Lefranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata	31
Figura 7-A : Estratto Criteri applicazione e selezione frese – Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations	33
Figura 7-B : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”	34

Figura 7-C : Figure estratte da:" Cerchar abrasivity index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones - Ahmet Hamdi Deliorman"	35
Figura 7-D : Estratta da "Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004"	36
Figura 6-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"	37
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"	38
Figura 6-C : Estratto da seminario su "Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"	39
Figura 6-D : Estratto da seminario su "Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"	39
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"	40
Figura 6-F : Estratto paragrafo 6.2.5.3 pag. 129 - French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"	42
Figura 6-G : Estratto paragrafo 6.2.5.3 pag. 129 - French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"	44
Figura 7-A : Estratto linee guida "DAUB recommendations for the selection of tunneling machines"	49
Figura 7-B : Estratto linee guida "DAUB recommendations for the selection of tunneling machines"	49
Figura 7-C : Estratto Criteri applicazione e selezione frese – Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"	51

Figura 7-D : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”	52
Figura 7-E : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”	52
Figura 7-F : MTBM DN600 con testa fresante condizionata da “misto pesante”	53
Figura 7-G : MTBM con testa fresante condizionata da” misto pesante”	54
Figura 7-H : MTBM con testa fresante condizionata da” misto pesante”	54
Figura 7-I : MTBM con testa fresante condizionata da” misto pesante”	55
Figura 7-J : MTBM con testa fresante condizionata da “misto pesante”	55
Figura 7-K : MTBM con testa fresante condizionata da “misto pesante” utilizzata nel cantiere di Bolzano	56
Figura 7-L : MTBM con testa fresante condizionata da “misto pesante” utilizzata nel cantiere di Bolzano	57
Figura 7-M : Estratto UNI/PdR 26.2 2017 ¶6.3.1.7”	59
Figura 7-N : Scheda tecnica Herrenknecht DN800	60
Figura 7-O : Scheda tecnica Herrenknecht DN800	61
Figura 7-P : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”	63
Figura 7-Q : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	63
Figura 7-R : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	64
Figura 7-S : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	65
Figura 7-T : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”	65
Figura 7-U : Estratta da “Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004”	66

Figura 7-V : Estratta da "<i>Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004</i>"	67
Figura 7-W : Estratta da "<i>Hardrock Tunnel Boring Machines, B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht, Ernst & Sohn</i>"	68
Figura 7-X : Estratta da "<i>RDR - Metodo empirico predittivo delle performance attese per la perforazione, (Hunt, S.W., Del Nero D.E., 2011)</i>"	69
Figura 8-A : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	72
Figura 8-B : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	72
Figura 8-C : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	73
Figura 8-D : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	74
Figura 8-E : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante	75
Figura 8-F : Posa concio pozzo autoaffondante	76
Figura 8-G : Posa concio pozzo autoaffondante	77
Figura 8-H : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante	78
Figura 8-I : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante	79
Figura 8-J : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante	80
Figura 8-K : Scavo manuale interno pozzo autoaffondante	81
Figura 8-L : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare	82
Figura 8-M : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare	83
Figura 8-N : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare	84
Figura 8-O : Specifica tecnica pozzo autoaffondante circolare	85
Figura 9-A : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta	86
Figura 9-B : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta	87
Figura 9-C : Cantiere microtunnelling DN800	88
Figura 9-D : Schema cantiere microtunnelling pozzo di spinta S3 – DN800	89
Figura 9-E : Schema cantiere microtunnelling pozzo di spinta S2a – DN800	90
Figura 9-F : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta	91
Figura 9-G : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta	92
Figura 9-H : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta	93
Figura 9-I : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta	94

Figura 10-A : Schema tecnico sistema guida microtunneling	96
--	-----------

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6-1 - Scheda tecnica tubi in gres per posa a spinta	46
Tabella 6-2 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES	46
Tabella 6-3 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES	46
Tabella 6-4 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a	47
Tabella 6-5 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a	47
Tabella 7-1 - Abaco riepilogativo lunghezze massima di spinta e condizionamenti teste DN800.....	58
Tabella 11-1 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a	99
Tabella 11-2 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a	99
Tabella 11-3 - Abaco riepilogativo lunghezze massima di spinta e condizionamenti teste DN800.....	101

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA SULLA FATTIBILITA' DELL'OPERA DI MICROTUNNELING

1 PREMESSA

Il presente elaborato tecnico riporta i giudizi di fattibilità sull'esecuzione di un'opera in microtunneling, rispetto al contesto geotecnico così come determinato sulla base di una serie di pregressi sondaggi geognostici, prove ed analisi eseguite, oltre ad una campagna di indagini geognostiche integrative eseguite nel mese di agosto 2021.

In particolare, si tratta dei risultati di cui:

- 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

Si anticipa che le conclusioni della presente Relazione Tecnica hanno permesso di verificare la piena fattibilità dell'esecuzione dell'opera in microtunneling, di cui:

- per le tratte in cui è prevista la perforazione DN800, si ipotizza un livello di difficoltà medio/alto, ma si ritiene che la dotazione dei dispositivi/condizionamenti previsti delle teste garantisca una alta fattibilità.

Per le teste di perforazione è infatti necessario disporre di apprestamenti e soluzioni tecniche, in grado di garantire la fattibilità dell'opera rispetto, ad esempio, all'elevata usura attesa degli utensili, alla potenziale crescita della spinta necessaria per la posa dei tubi, per cui di ravvisa la necessità di disporre dei dispositivi suggeriti ed in grado di garantire il successo delle perforazioni.

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 fognaria mediante la tecnica del microtunnelling per posa condotta DN800.

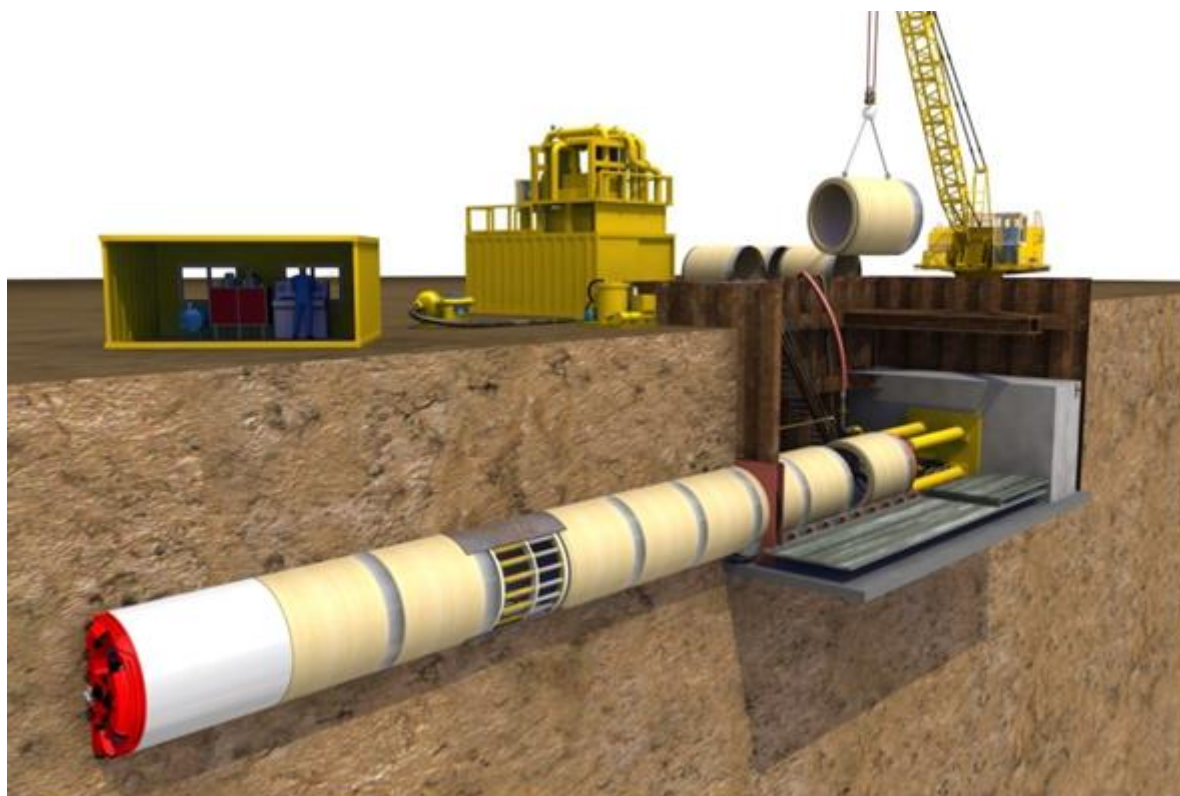


Figura 2-A : Tecnica di posa condotte con microtunnelling

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
 - il sottoattraversamento del fiume Sile a monte della Centrale Idroelettrica SIEM.

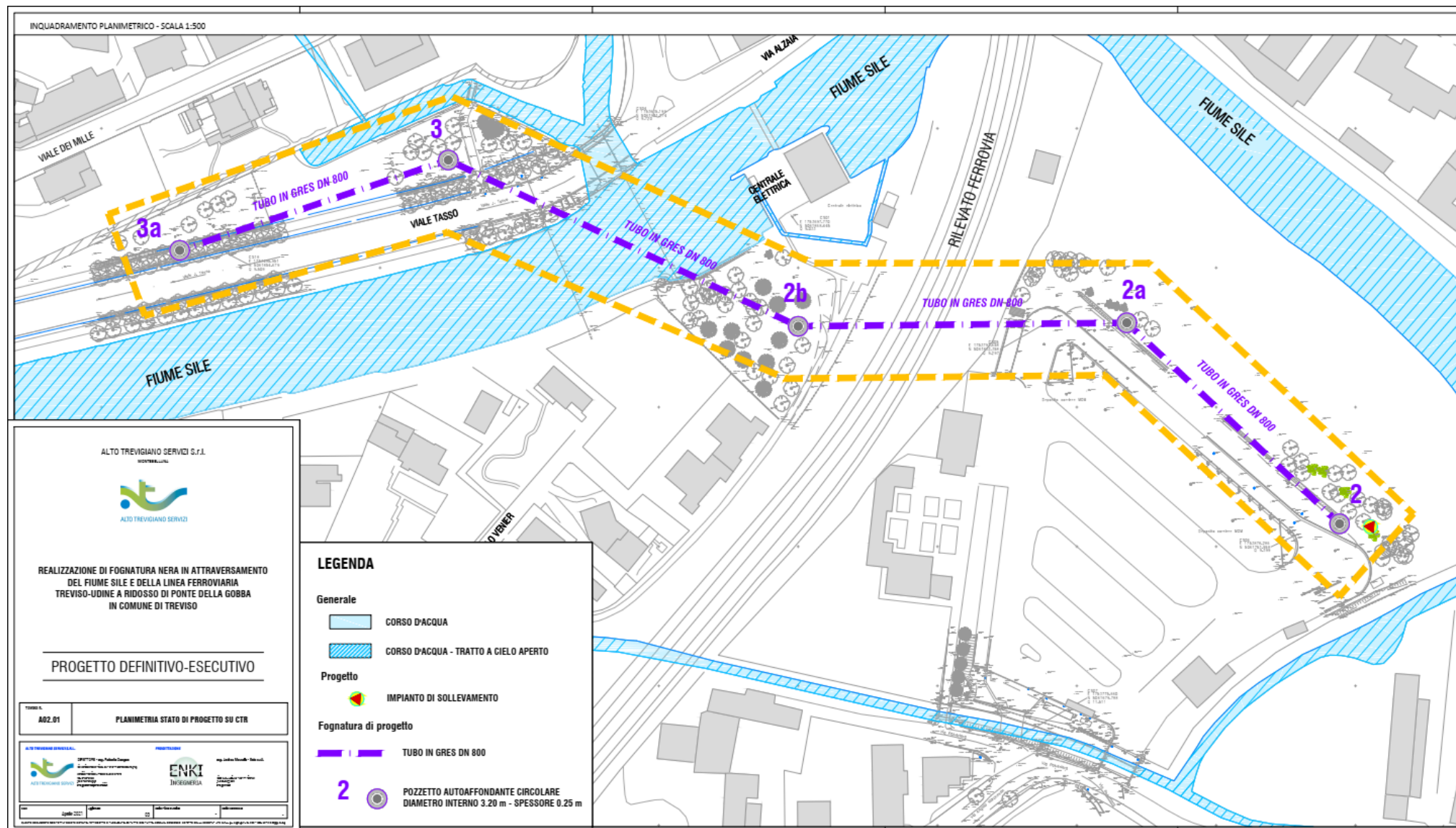


Figura 2-B : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling

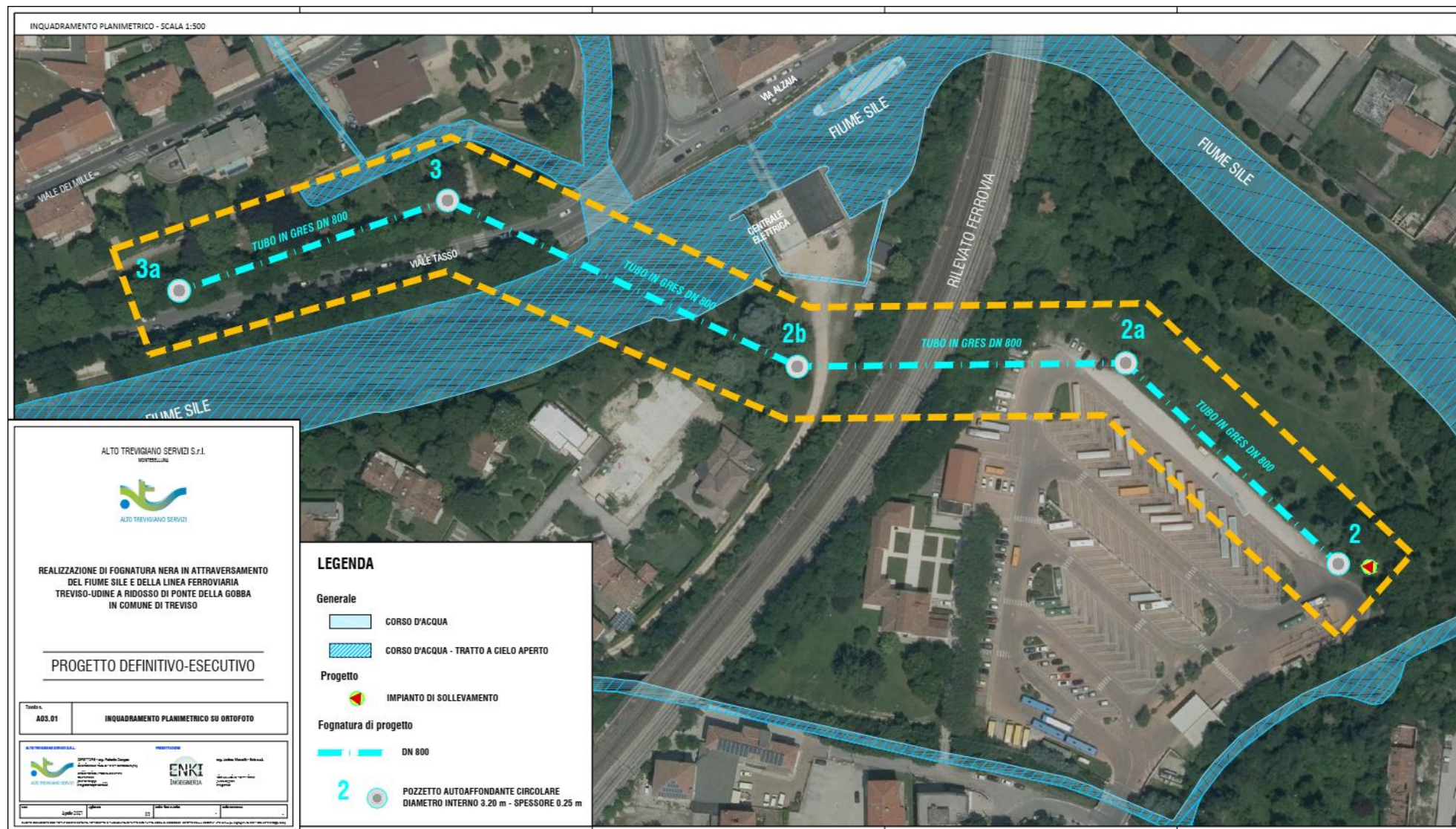


Figura 2-C : Estratto planimetrico giaciture condotte microtunnelling

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

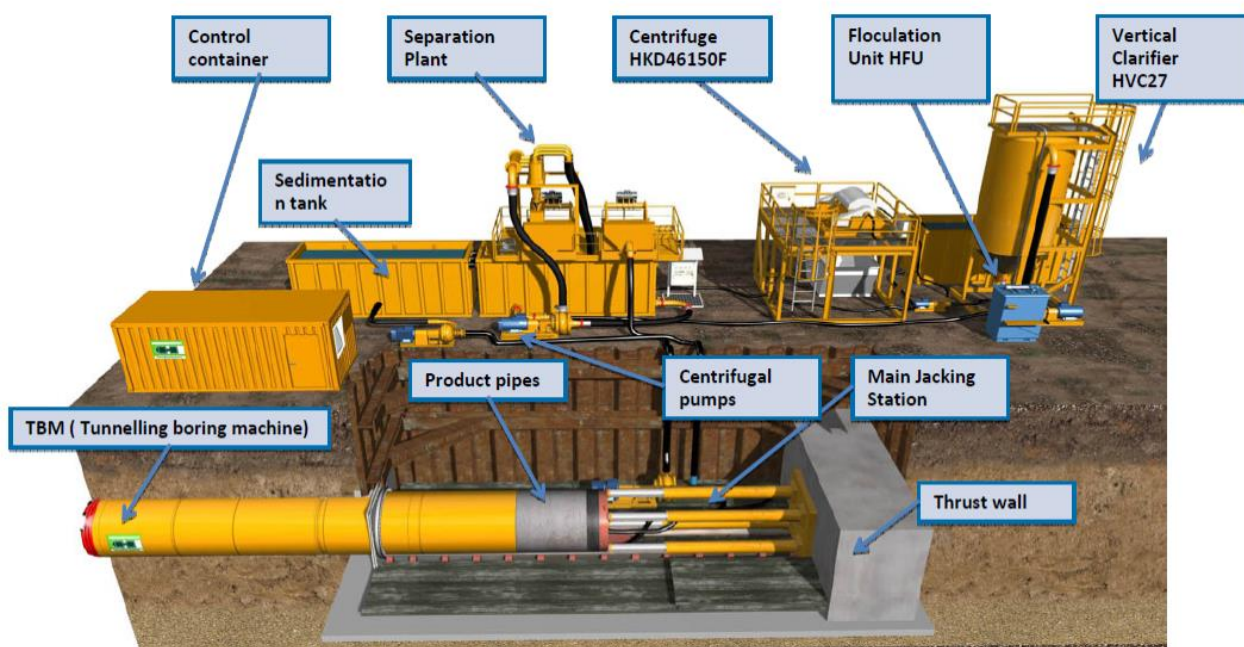


Figura 3-A : Schema cantiere microtunneling

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.

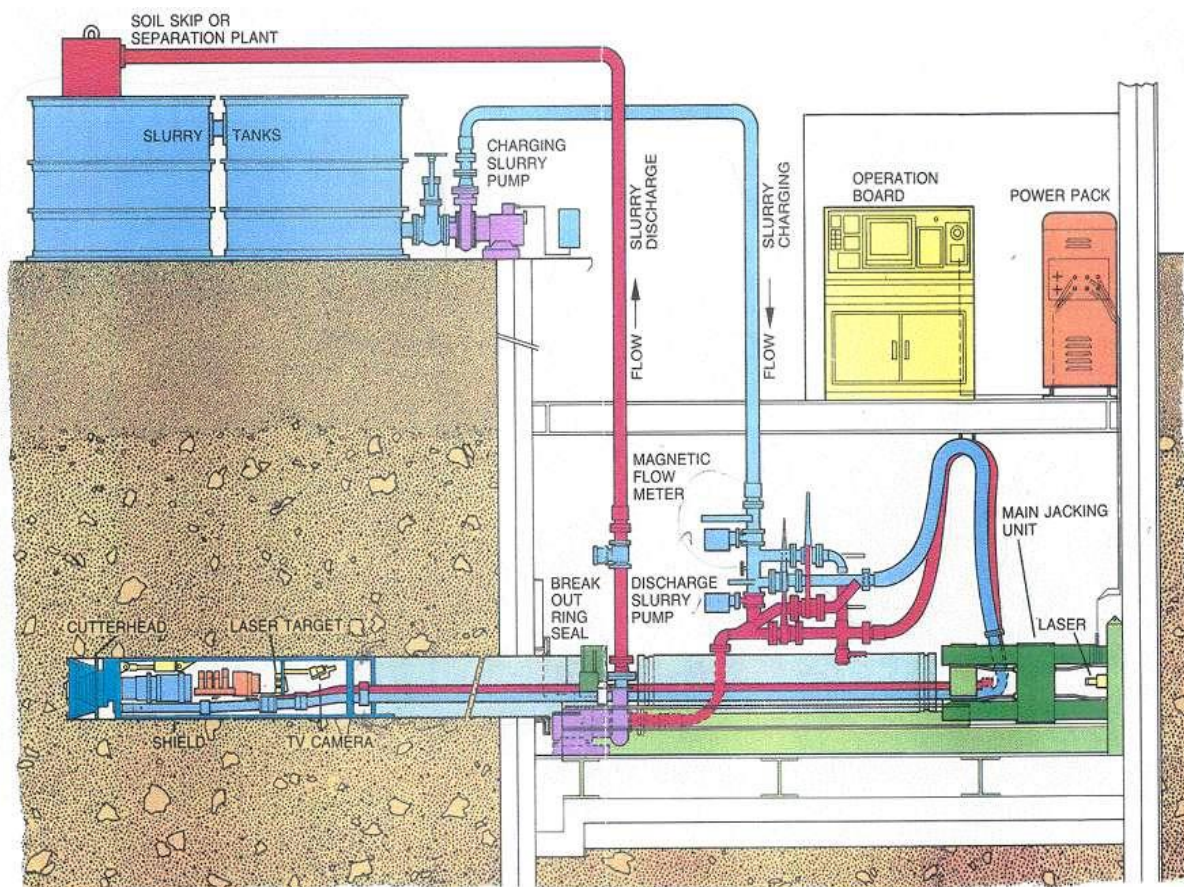


Figura 3-B : Schema cantiere microtunnelling – sezione

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.

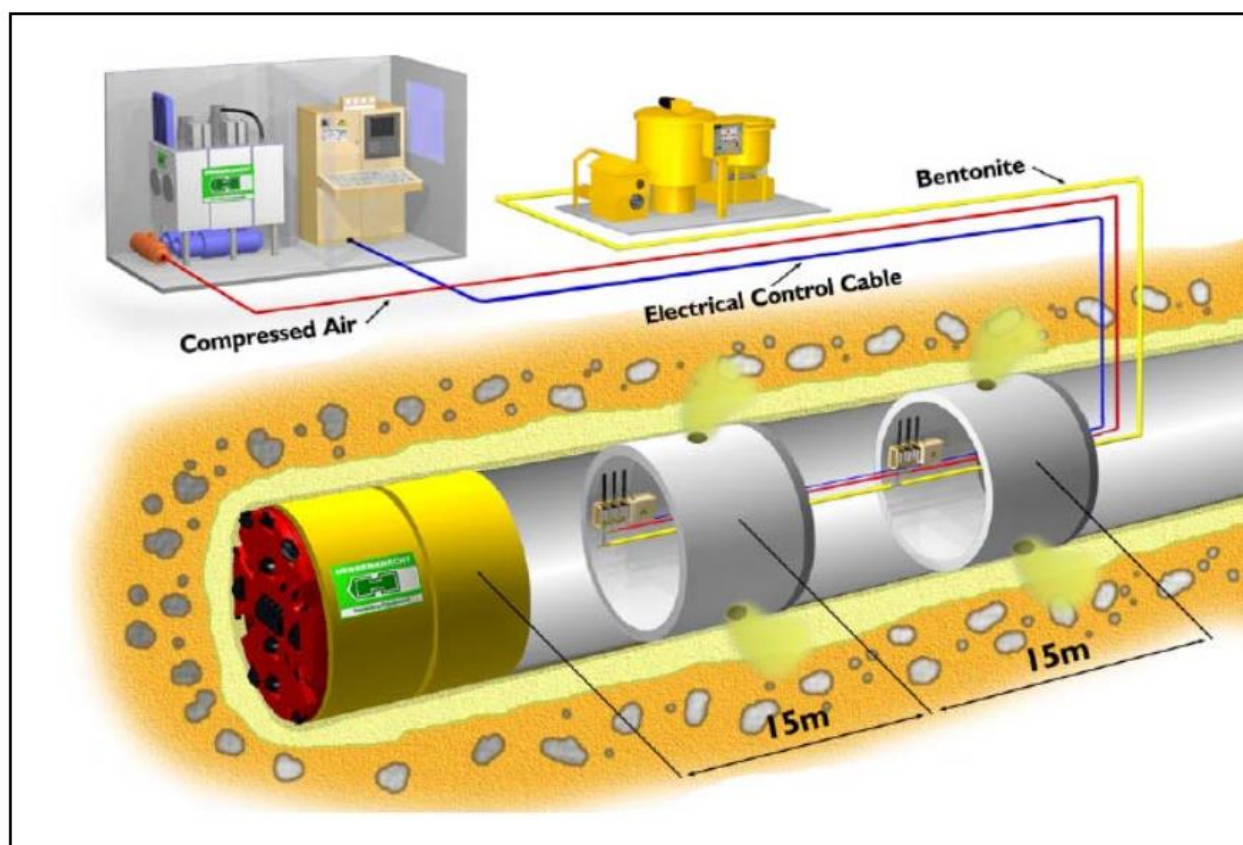


Figura 3-C : Schema cantiere microtunnelling

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

SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA TRATTO 3a-3 - SCALA 1:200

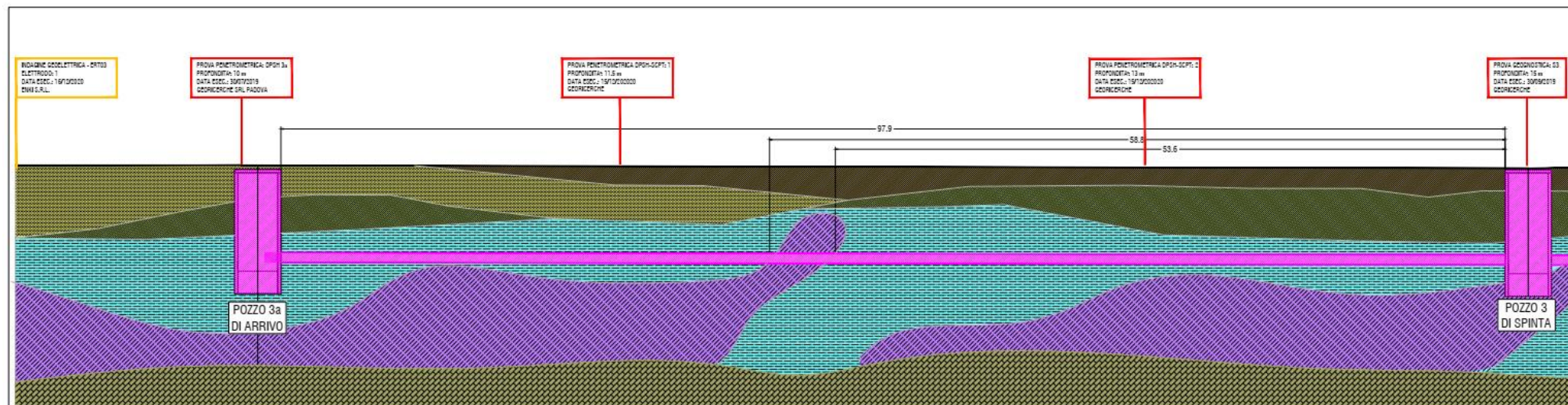
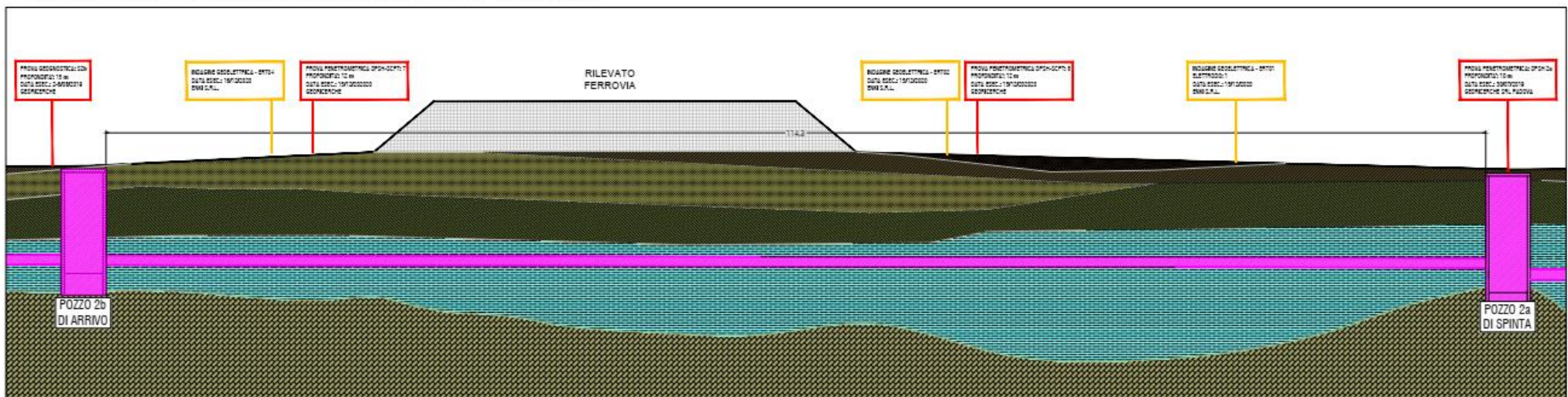


Figura 4-A : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 3a – 3

[illegible]

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



22-100 ENKI s.r.l. Società di Ingegneria Civile e Ambientale – Via G.B. Lulli 62 – Firenze – info@enki.it

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

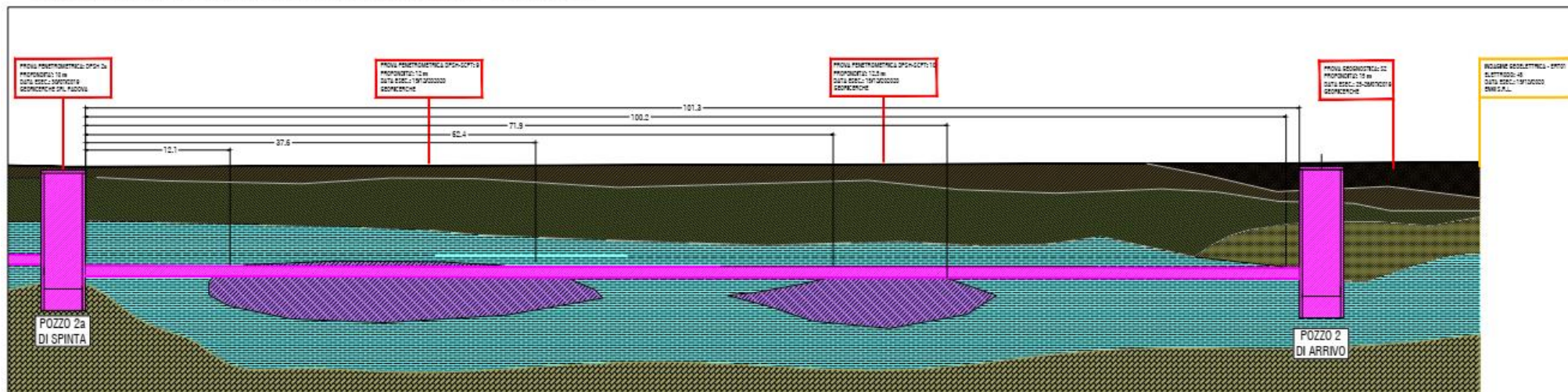


Figura 4-D : Estratto profili condotte fognarie – TRATTO 2a – 2

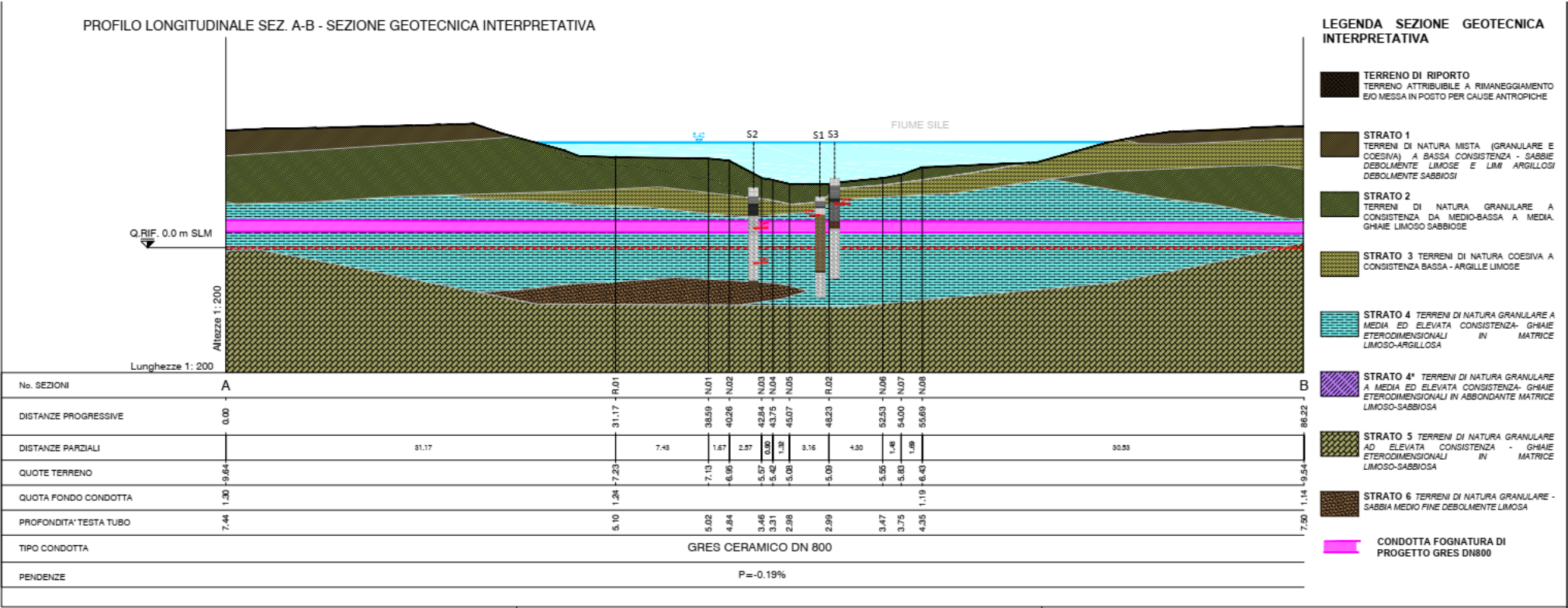
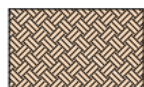


Figura 4-E : Estratto profili condotte fognarie – DETTAGLIO SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE

LEGENDA SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA



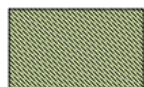
TERRENO DI RIPORTO

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-F : Estratto profili condotte fognarie LEGENDA

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

5.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RISPETTO AD INDICAZIONI FSST

Si riporta di seguito la classificazione dei terreni, secondo quanto riportato dalle Linee Guida della French Society for Trenchless Technology FSST, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations, di seguito definita FSST, per cui sulla base di una serie di studi eseguiti dalla FSST, sono stati definiti dei valori delle sollecitazioni attrittive in funzione della tipologia di terreno di cui:

Soil class	γ (kN/m ³)	P_1 (MPa)	c_u (kPa)	ϕ_u (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)
1 – Coherent soft	17	0.3	20	0	10	17
2 – Granular loose	18	0.6	0	30	0	30
3 – Coherent quite stiff	19	1	40	5	20	20
4 – Granular quite compact	19	1.5	0	34	0	34
5 – Coherent stiff to hard	20	2.5	75	10	25	25
6 – Granular compact	20	3	0	38	0	38

Figura 5-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"

Class of soil	Not lubricated			Lubricated		
	f (kPa)	Number of linear	Values analyzed (ml)	f_{lub} (kPa)	Number of Linear	Values analyzed (ml)
1 – Coherent soft	–	–	–	–	–	–
2 – Granular loose	7.9	3	82	1.8	2	204
3 – Coherent quite stiff	5.6	2	44	3.1	2	153
4 – Granular quite compact	6.5	6	152	2.0	6	320
5 – Coherent stiff to hard	1.7	3	105	0.7	1	140
6 – Granular compact	3.1	3	110	6.9	4	210

Figura 5-B : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"

	Terreno sabbioso	Terreno sabbioso-ghiaioso	Terreno argilloso
Valore massimo di f_p	1800 kPa	2300 kPa	800 kPa
Media dei valori massimi di f_p	1000 kPa	1700 kPa	600 kPa

Figura 5-C : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations"

Sulle base dei risultati della serie di sondaggi, indagini ed analisi, è possibile classificare il sottosuolo dell'orizzonte di perforazione di classe 4 "Granular quite compact" e/o 6 "Granular compact".

6 PERMEABILITÀ

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 possibile ipotizzare un comportamento semi-permeabile.

Si riportano i valori della permeabilità relativamente alla tratta in perforazione esterna all'alveo del SILE e i risultati delle prove eseguite in subalveo al SILE.

6.1 PERMEABILITA' TRATTE ESTERNE SILE

Le prove sono state eseguite in corrispondenza dei sondaggi S2, S2b ed S3, di cui si riportano i risultati:

ID sondaggio	Tratto di prova (m da p.c.)	Tipo di prova	K (m/s)	Quantità di acqua (l)	Tempo (s)
S2	4.00-5.00	A carico variabile	> 1E-04	-	-
S2	9.00-9.50	<i>Non raggiunta saturazione del foro</i>	-	200	38
S2b	4.20-5.00	A carico variabile	> 2E-04	-	-
S3	5.00-6.00	A carico variabile	> 7E-07	-	-
S3	8.00-8.70	<i>Non raggiunta saturazione del foro</i>	-	200	52

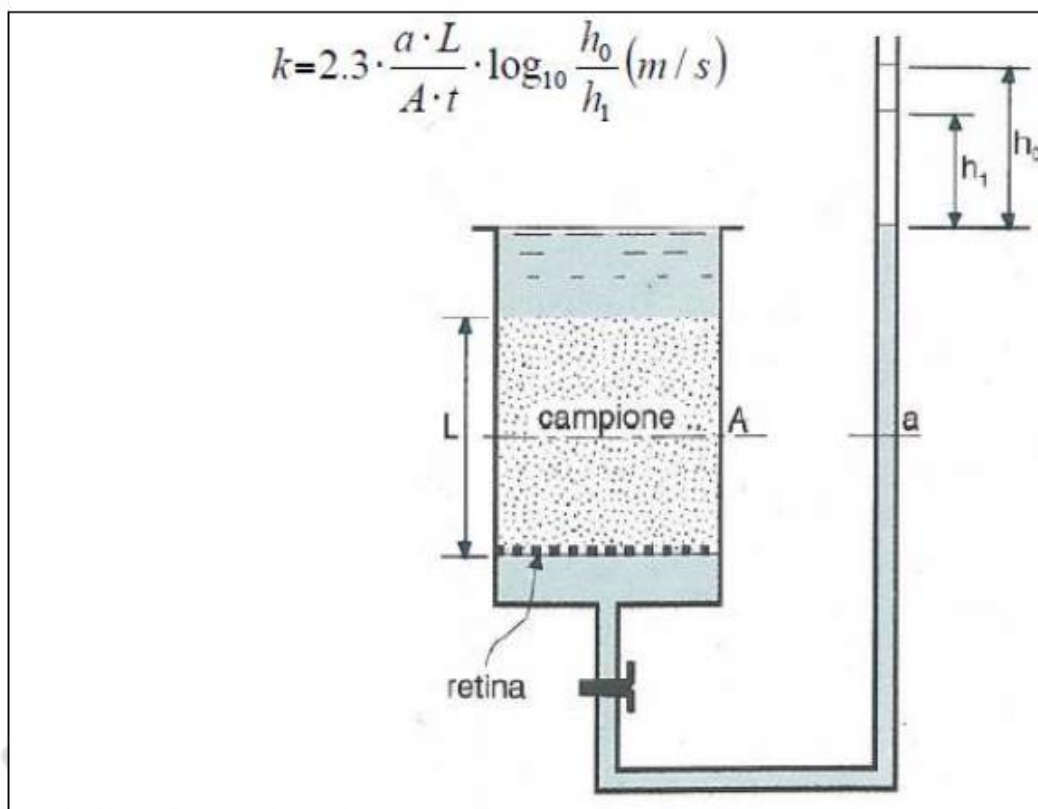
Figura 6-A : Prova permeabilità Lefranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata

6.2 PERMEABILITA' SUBALVEO SILE

Si riportano i valori eseguiti sui campioni di laboratorio con carico variabile, eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi S2 ed S3 del SILE.

Prove di laboratorio permeabilità carico variabile

Il permeametro a carico variabile viene utilizzato normalmente per prove su materiali a medio e bassa permeabilità, poiché le caratteristiche dell'apparecchiatura consentono di eseguire le misure della variazione del carico idraulico e del tempo per un largo campo di valori del coefficiente di permeabilità k .



Schema del permeametro a carico variabile

Nella tabella successiva si riportano i valori delle permeabilità ottenuti con la prova a carico variabile applicando la formula riportata nella figura. Le prove sono state seguite su campioni costituiti dalla frazione passante al setaccio 4 mm.

sondaggio	profondità	litologia	permeabilità cm/sec	permeabilità m/sec
S3	2,0-2,3	Ghiaia matrice limosa sabbiosa	4,35E-03	4,35E-05
S2	3,0-3,2	Ghiaia limosa argillosa	7,20E-03	7,20E-05

Figura 6-B : Prova permeabilità laboratorio carico variabile – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata

Di seguito si riportano le prove eseguite con tecnica LeFranc nei sondaggi del SILE, di cui:

LeFranc

Sul foro dei sondaggi S1, S2 e S3 sono stati eseguiti delle prove di permeabilità tipo LeFranc. A seguito si riporta il grafico delle prove con indicata la variazione del carico idraulico, in m dal livello della falda, in funzione del tempo in secondi. Le prova di permeabilità sono state realizzate nei tratti ghiaiosi e argillosi più superficiali per testare la permeabilità di tale livello.

Coefficienti di permeabilità sono stati calcolati con formule che utilizzano intervalli ove il variare del livello con il tempo è costante:

1. Formula $K=A/(C*(T2-T1)) * (\ln H1) / H2$: nella formula C corrisponde al coefficiente forma e T1 T2 l'intervallo di tempo ove si verifica l'abbassamento di livello H1-H2.

A seguito i risultati delle prove eseguite nei fori dei diversi sondaggi.

sondaggio	Tratto esecuzione prova in metri dal fondo.	litologia	permeabilità m/sec
S1-LEF.1	1.0-1.5	Ghiaia limosa argillosa	2,16E-04
S2-LEF.1	2.0-2.5	Ghiaia limosa argillosa	1,76E-04
S3-LEF.1	1.0-1.5	argilla	Livello acqua rimasto costante durante la prova: permeabilità molto bassa/impermeabile
S3-LEF.2	2.0-2.5	Ghiaia limosa argillosa	1,37E-04

I risultati delle prove di permeabilità in sito (LeFranc) e in laboratorio (permeometro) indicano che i materiali costituiti da ghiaie con matrice limosa argillosa presentano valori di permeabilità tra i 4.3E-04 e 2.2-04 m/s corrispondente secondo la classificazione di Casagrande e Fadum, ad un grado di permeabilità medio, imputabile a miscele di ghiaia e sabbia. La prova LeFranc n° 1 è stata eseguita nel sondaggio 3 in corrispondenza di un livello argilloso: il livello dell'acqua è rimasto praticamente costante durante la prova indice di una permeabilità molto bassa/impermeabile, come ci si attende appunto per terreni argillosi.

Figura 6-C : Prova permeabilità LeFranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata

La serie di prove eseguite confermano che gli orizzonti di perforazione sono assimilabili a materiali con grado di permeabilità medio, per cui si assume un valore medio di progetto pari a 1,00E-04 m/s.

7 VALUTAZIONI SUI VALORI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE UCS

Si definisce UCS, o Unconfined Compressive Strength, la resistenza a compressione semplice dei materiali lapidei grossolani quali ciottoli e trovanti, incassati nella matrice minuta degli orizzonti geotecnici oggetto di perforazione.

Il parametro UCS è normalmente correlato con il CAI, o Cerchar Abrasiveness Index, che quantifica esso stesso l'abrasività dei materiali lapidei grossolani quali ciottoli e trovanti.

L'analisi correlata dei valori di UCS e CAI permette di ipotizzare il livello di difficoltà atteso della perforazione.

I risultati della serie di sondaggi, indagini ed analisi, sono stati caratterizzati DALL'IMPOSSIBILITA' del campionamento di materiale litoide in dimensioni tali da permettere l'esecuzione di prove UCS e CAI.

In particolare, il materiale più grossolano rinvenuto è correlabile a GHIAIE ETERODIMENSIONALI con diametro massimo compreso fra 5cm e 7cm, di natura poligenica a prevalenza CALCAREA.

Pregresse esperienze su materiali e contesti simili, inducono ad ipotizzare dei valori di UCS dei materiali grossolani costituenti gli orizzonti geotecnici oggetto di perforazione fra $100 \text{ MPa} \leq \text{UCS} \leq 250 \text{ MPa}$, correlabili con la probabile natura litologica dei ciottoli e trovanti.

Le Linee Guida Internazionali individuano dei range di valori per la caratterizzazione delle resistenze UCS rispetto alla tipologia di TBM da utilizzare.

Si ritiene quindi correlabile con gli orizzonti geotecnici definiti per l'area, un intervallo individuato dalle Linee Guida compreso fra $100 \text{ MPa} \leq \text{UCS} \leq 250 \text{ MPa}$, per cui è possibile fare delle valutazioni sulla tipologia e gli apprestamenti tecnici della fresa.

Ground	Determining characteristics	Compactness of the matrix	Functionality sought	Choice of -attachments
Rock full section	σ_c of blocks < 200 MPa	Not applicable	Cutting the rock to reduce it into elements of small dimensions	Disc cutters Openings of the head of dimensions compatible with the mucking circuit
	Dimension of blocks < D/3	Not applicable	Enable the blocks to penetrate into the head Reduce the blocks to dimensions < diameter of the mucking system	Open head Crusher
Blocks packed in a matrix	Dimension of blocks > D/3 and σ_c < 10 MPa	Loose	Cutting of blocks relatively easy Avoid pushing too much	Bits (+ disc cutters) Head very open Standard crusher
		Compact	Cutting of blocks relatively easy	Bits (+ rotary cutters) Head open Standard crusher
	Dimension of blocks > D/3 and σ_c > 10 MPa	Loose	Cutting of blocks very easy Avoid pushing too much	Disc cutters and Bits Head very open Powerful crusher
		Compact	Cutting of blocks difficult	Disc cutters and picks Head open Powerful crusher
Silt	IP < 30	—	—	Bits Head very open
	IP > 30	—	Scrapers	Clay Injection nozzle on the head (jetting) Head very open

Table 5.2. Guide to the selection of excavation equipment

Figura 7-A : Estratto Criteri applicazione e selezione frese – Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”

HERRENKNECHT. SOLUTIONS FOR ALL GEOLOGIES.

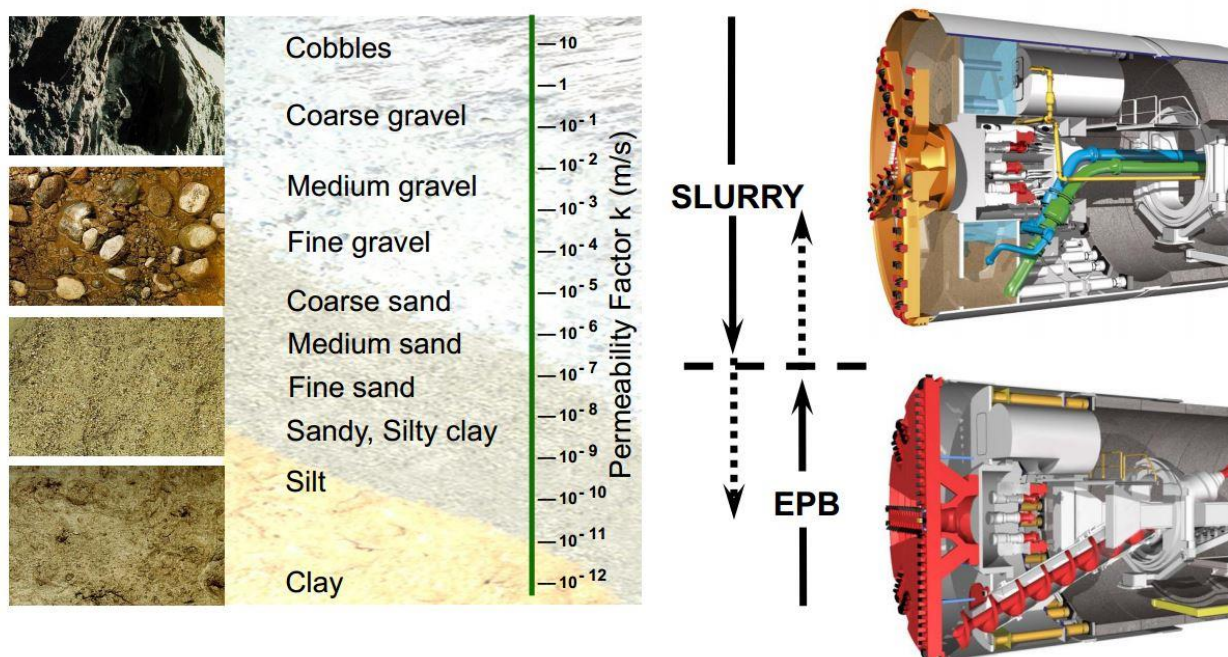


Figura 7-B : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”

5.2 VALUTAZIONI SULL’ABRASIVITA’ ATTESA

Esiste una ben documentata e consolidata relazione di proporzionalità fra i valori di UCS ed i valori di abrasività ottenuti con il test CAI.

Si riportano in Figura 7-C degli estratti di alcune pubblicazioni tecniche che evidenziano come per valori di UCS > 100 MPa i valori attesi di abrasività siano superiori ad 1.5 fino ad un limite di 2.5/3.

Rifacendosi a pregresse esperienze si ritiene che il valore di CAI atteso sia da considerarsi intorno a 1.5/2.0.

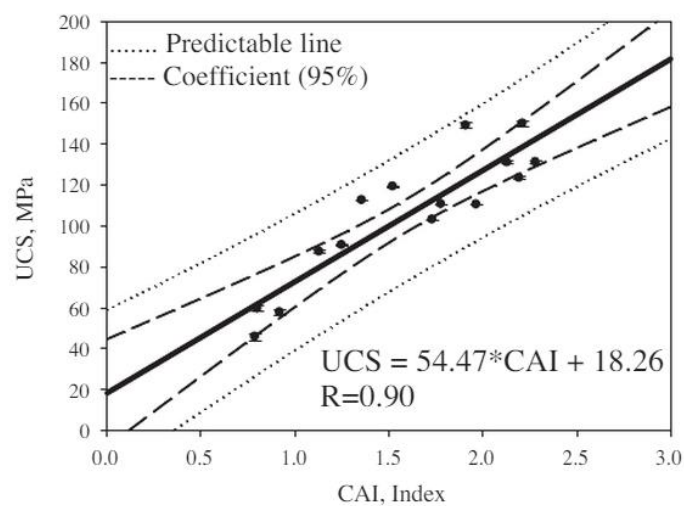


Fig. 4. Scatter and relation graph of UCS versus CAI.

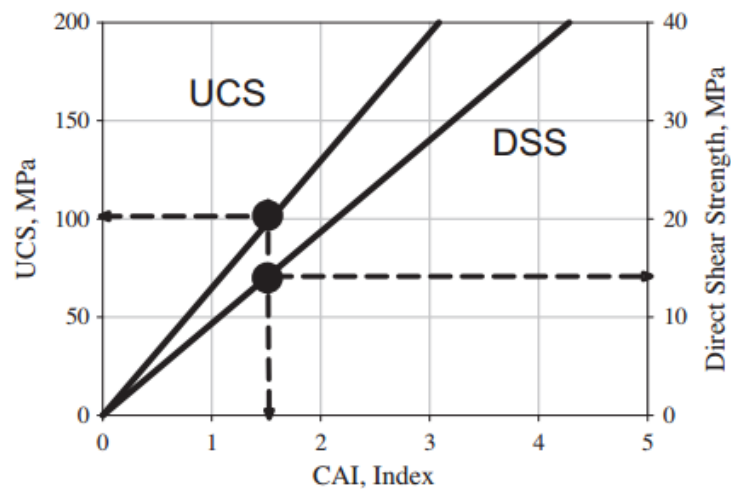


Fig. 8. Converter chart for CAI-UCS-DSS.

Figura 7-C : Figure estratte da: "Cerchar abrasivity index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones - Ahmet Hamdi Deliorman"

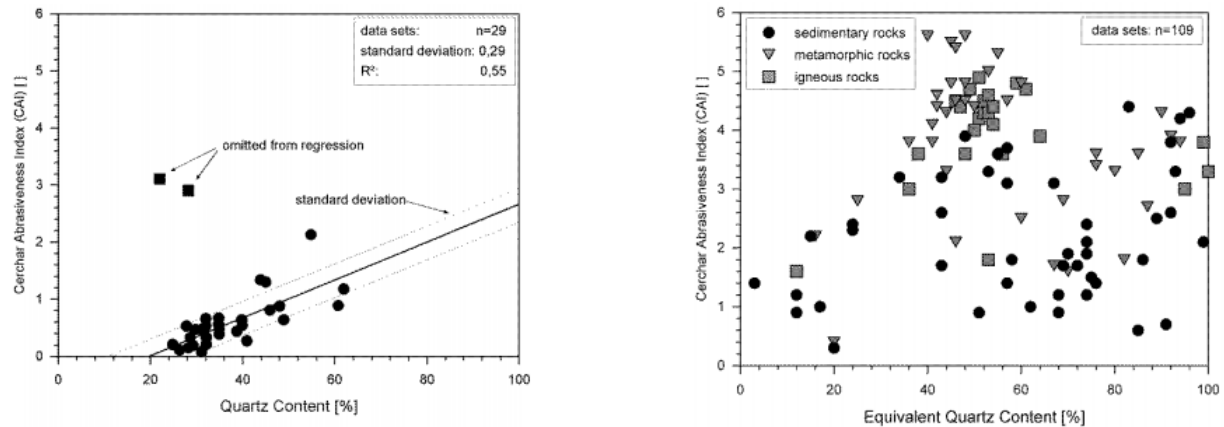


Fig. 4: Cerchar Abrasiveness Index (CAI) plotted against the Equivalent Quartz Content. On the left the results by West [2], on the right the results of the TUM research program.

Figura 7-D : Estratta da "Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004"

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

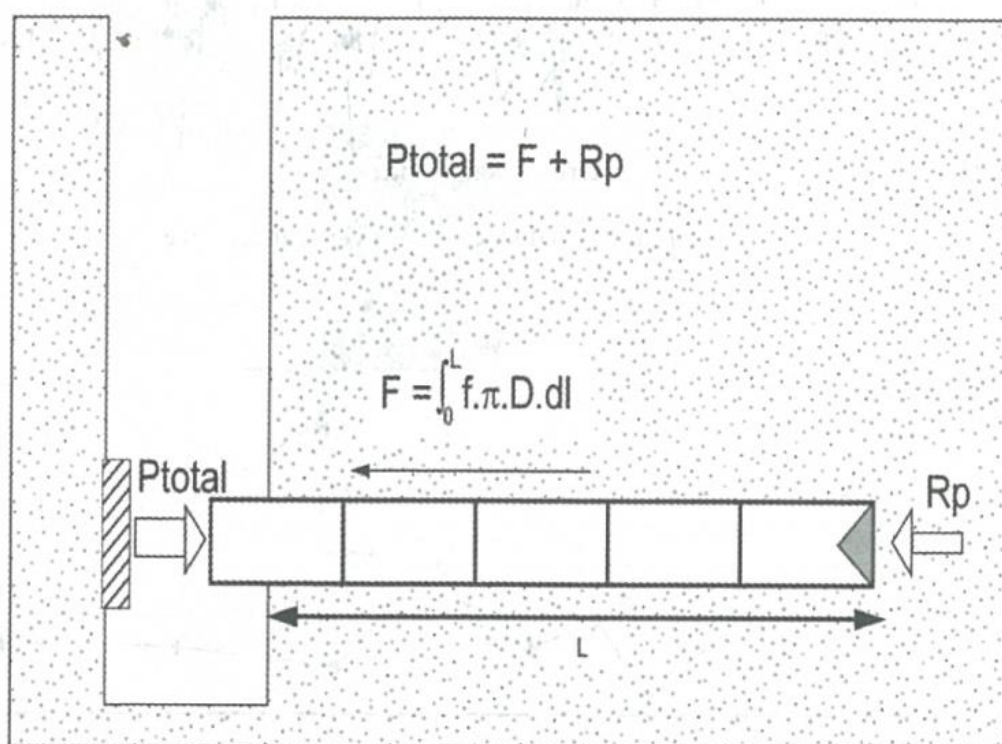


Figure 3.7. Schematic diagram of jacking stresses

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.

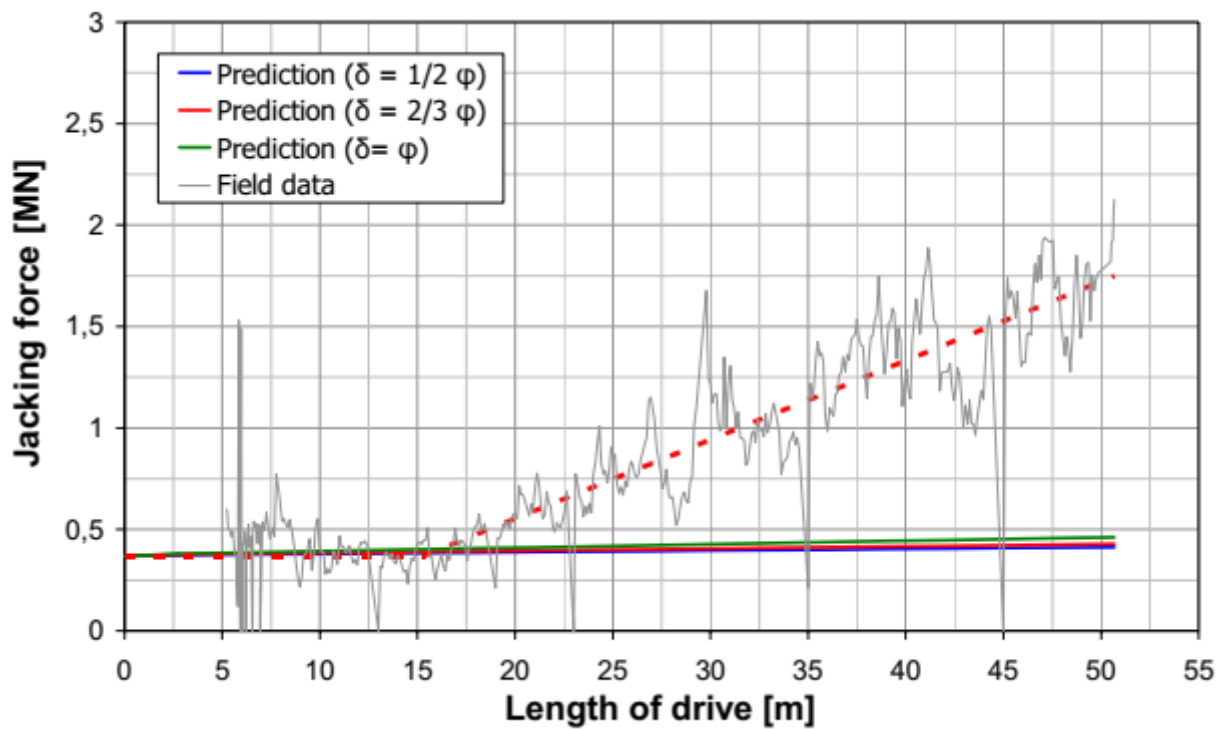


Figura 6-B : Estratta da "Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Underground Space Technology, 2006, Elsevier

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.

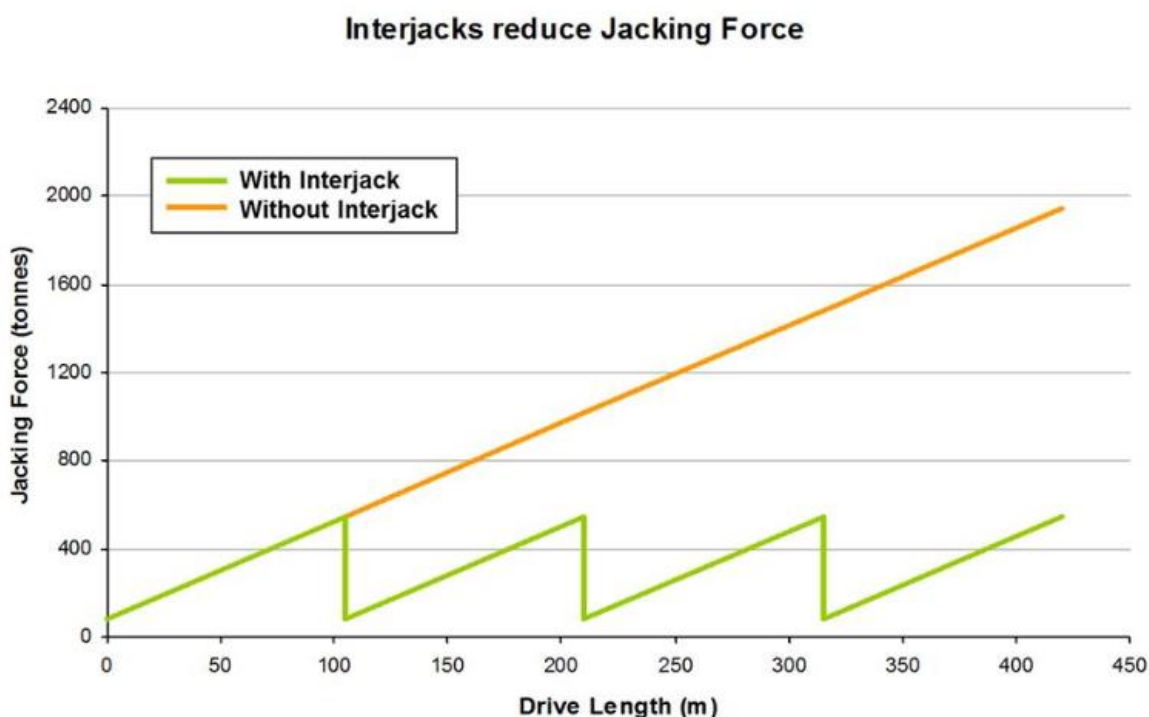


Figura 6-C : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

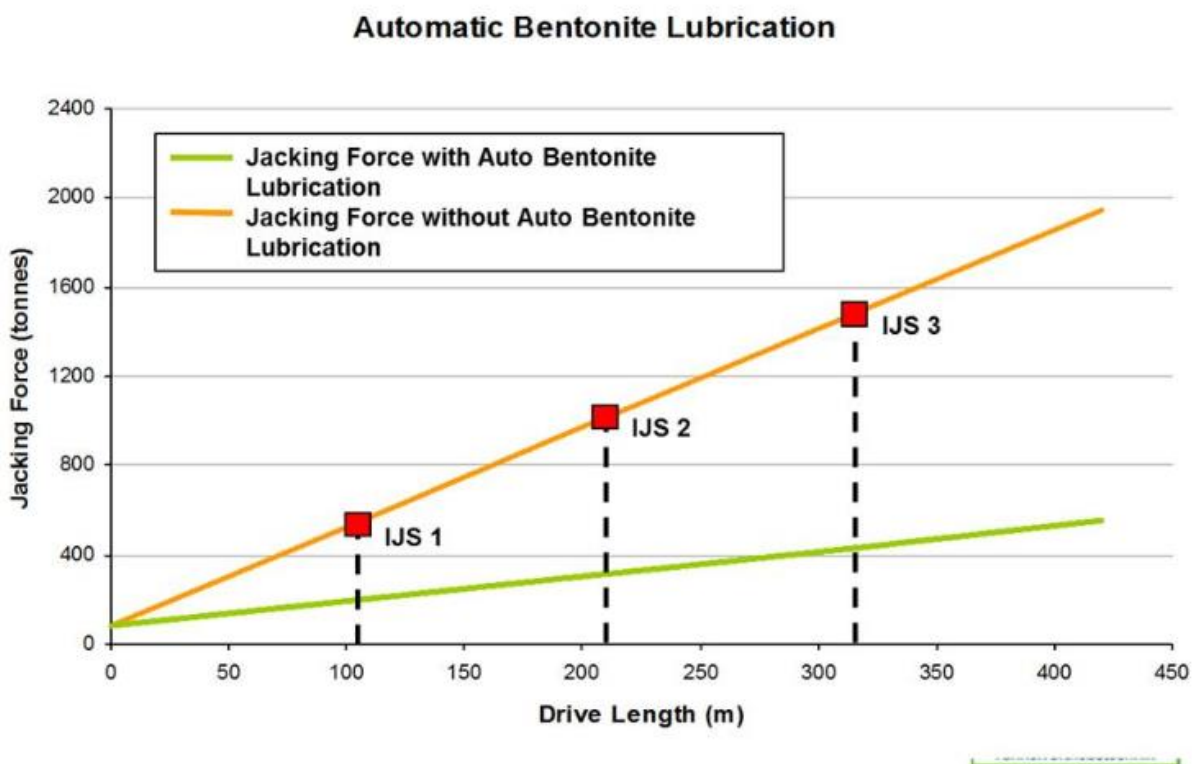


Figura 6-D : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

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

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 Figura 5-C;
 - $D = 0.975 \text{ [m]}$, 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

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

6.2 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 3 – 2b – SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE

Si riporta l'analisi della spinta per la tratta in sottoattraversamento del SILE, compresa tra i pozzi 3 – 2b, evidenziando che per la tratta in oggetto **E' PRESCRITTO UTILIZZO DI STAZIONE INTERMEDIA**, 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

$$F_{fr} = 1.5 \mu WL = 1.5 \times 0.1 \times 0.51 \times 140 \approx 10,71 \text{ [kN]}$$

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;
 - $L = 140 \text{ [m]}$, 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 Figura 5-C;
- $D = 0.975 \text{ [m]}$, 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

$$F_{int} = \pi \times D \times L \times f_{sup} = \pi \times 0.975 \times 140 \times 2,40 = 1.029,19 \text{ [kN]}$$

dove

- $D = 0.975 \text{ [m]}$, diametro esterno tubazione DN800;
- $L = 140 \text{ [m]}$, 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-G : 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

$$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int} = 10,71 + 1.269,25 + 1.029,19 \approx 2.309 \text{ [kN]}$$

- prescrivendo l'utilizzo di stazione intermedia, prevedibilmente inserita in corrispondenza di metà lunghezza tratta, il valore atteso della spinta totale risulta pari a

$$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int} = 10,71 + 1.269,25 + (1.029,19/2) \approx 1.794 \text{ [kN]}$$

6.3 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.

6.4 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													
Dimensioni in mm													
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.

6.5 ABACO RIEPILOGATIVO CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riporta di seguito un abaco riepilogativo dei principali parametri geotecnici caratterizzanti gli orizzonti di perforazione di cui:

Tabella 6-4 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a

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	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$	2173	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=120 m

Tabella 6-5 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a

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
	SPINTA TOTALE ATTESA NO STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$	2309	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=140 m
	SPINTA TOTALE ATTESA CON STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$	1794	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=70 m

7 INDICAZIONI SUGLI APPRESTAMENTI DELLA TBM

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) OVERCUT;
- 3) LUBRIFICAZIONE
- 4) STAZIONI INTERMEDIE
- 5) USURA UTENSILI
- 6) JACKIN FORCE

7.1 MTBM – DIAMETRI E LUNGHEZZE TRATTE PERFORAZIONE

Relativamente a quanto fin trattato si evidenzia che la perforazione negli orizzonti oggetto di analisi presenta della criticità, rispetto principalmente ai valori di UCS e CAI attesi della componente grossolana.

Sulla base delle indicazioni sugli orizzonti di perforazione, e dall'analisi della bibliografia disponibile, è facilmente determinabile che le perforazioni in oggetto sono caratterizzate da **LIVELLI DI DIFFICOLTÀ ALTI**

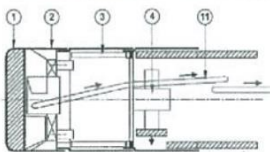

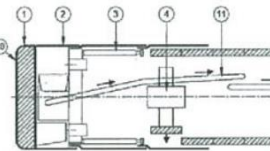

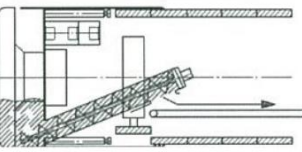

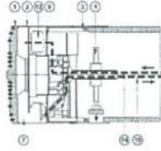

Shield machines (SM)		
SM-V1 ohne Stützung Without support		
SM-V2 mechanische Stützung Mechanical support		
SM-V3 Druckluftbeaufschlagung Full-face and compressed air application		
SM-V4 Flüssigkeitsstützung Full-face and slurry support		

Figura 7-A : Estratto linee guida "DAUB recommendations for the selection of tunneling machines"

19.9.2.6 SM-V4 (full-face excavation, face with slurry support)

The main area of application of slurry shields is in coarse- and mixed-graded soil types. The groundwater table should also be above the tunnel crown with an adequate safety margin. As the ground is excavated, a fluid under pressure, e.g. bentonite suspension, supports the face. Highly permeable soils impede the formation of a membrane. At a permeability of over $5 \cdot 10^{-3}$ m/s, there is a danger that the bentonite flows uncontrolled into the ground. The scope of application can be extended by adding fine-grained material and filler or additives for the improvement of the rheological properties. Alternatively, additional measures to reduce the permeability of the soil (for example filling the pores) can be necessary. Boulders and blocks too large to be pumped can be broken by a crusher in front of the inlet. A high fines content can lead to difficulties with the separation. It should be borne in mind that the rheological properties of the support fluid are worsened by fine-grained material, as the separation of clay fractions and bentonite is not possible.

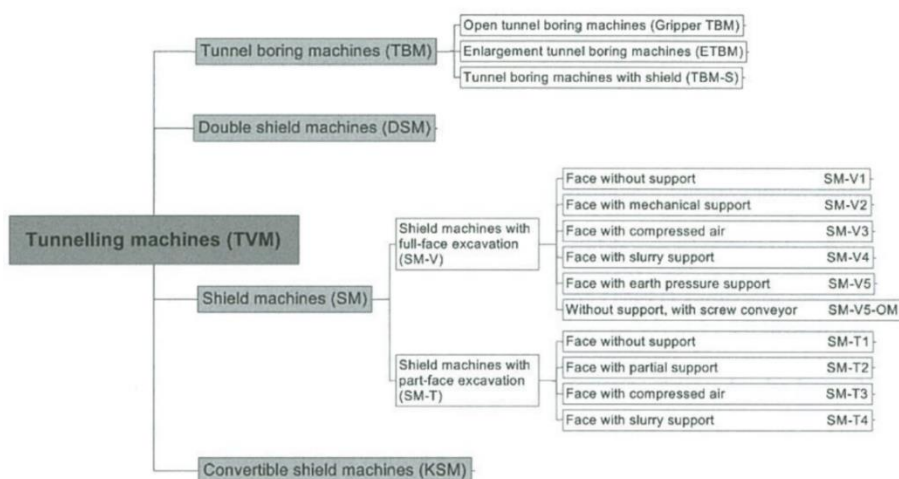


Figura 7-B : Estratto linee guida "DAUB recommendations for the selection of tunneling machines"

Si riporta in Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. seguente i criteri di applicazione e selezione delle “*Shield machine SM-V4*” rispetto a numerosi parametri, tra cui i principali sono UCS e CAI, per cui ad esempio rispetto alla perforazione in “HARD MIXED GROUND”, viene individuato un range di UCS compreso fra 100 – 250 MPa.

Ulteriori indicazioni sulla tipologia di TBM sono ricavabili da quanto indicato dalle Linee Guida della *French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations*, così come meglio riportato in Figura 7-C e Figura 7-D.

Rispetto alla tipologia di TBM si riporta in Figura 7-E un estratto delle linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”, per cui è possibile evidenziare che rispetto agli orizzonti geotecnici attesi, in cui è prevista la presenza di materiale grossolano disperso in matrice fine incassante è previsto quanto segue:

- SLURRY, sta per TBM con smarino idraulico, relativa alle macchine proposte per il caso in oggetto;
- EPB, o Earth Pressure Balance, sta per TBM con smarino meccanico, utilizzabile sono in contesti geotecnici in cui è esclusa la presenza di componenti grossolane.

Ground	Determining characteristics	Compactness of the matrix	Functionality sought	Choice of -attachments
Rock full section	σ_c of blocks < 200 MPa	Not applicable	Cutting the rock to reduce it into elements of small dimensions	Disc cutters Openings of the head of dimensions compatible with the mucking circuit
	Dimension of blocks < D/3	Not applicable	Enable the blocks to penetrate into the head Reduce the blocks to dimensions < diameter of the mucking system	Open head Crusher
Blocks packed in a matrix	Dimension of blocks > D/3 and σ_c < 10 MPa	Loose	Cutting of blocks relatively easy Avoid pushing too much	Bits (+ disc cutters) Head very open Standard crusher
		Compact	Cutting of blocks relatively easy	Bits (+ rotary cutters) Head open Standard crusher
	Dimension of blocks > D/3 and σ_c > 10 MPa	Loose	Cutting of blocks very easy Avoid pushing too much	Disc cutters and Bits Head very open Powerful crusher
		Compact	Cutting of blocks difficult	Disc cutters and picks Head open Powerful crusher
Silt	IP < 30	—	—	Bits Head very open
	IP > 30	—	Scrapers	Clay Injection nozzle on the head (jetting) Head very open

Table 5.2. Guide to the selection of excavation equipment

Figura 7-C : Estratto Criteri applicazione e selezione frese – Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”

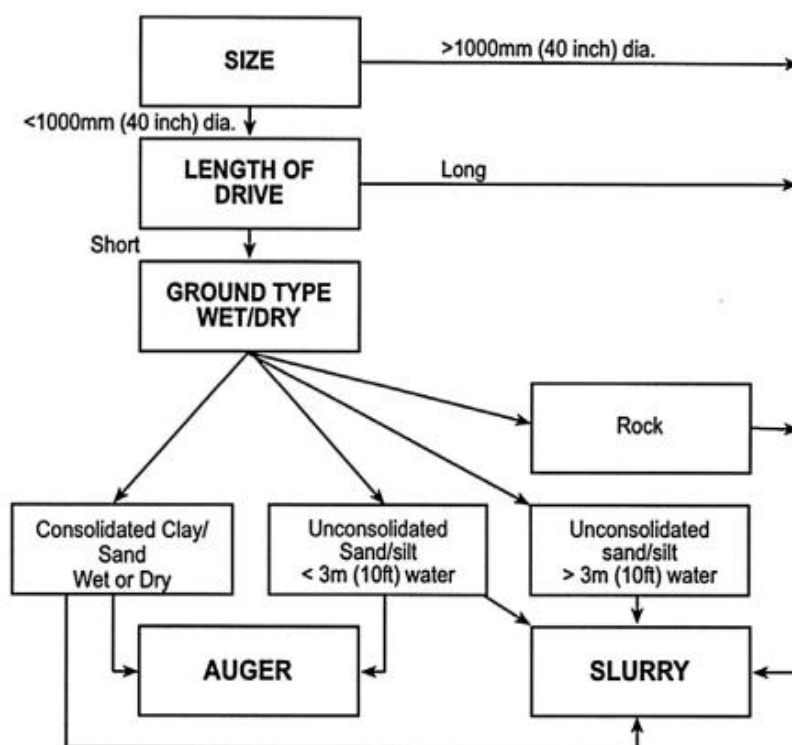


FIGURE 12-1. Slurry-type and auger-type MTBMs

Figura 7-D : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”

HERRENKNECHT. SOLUTIONS FOR ALL GEOLOGIES.

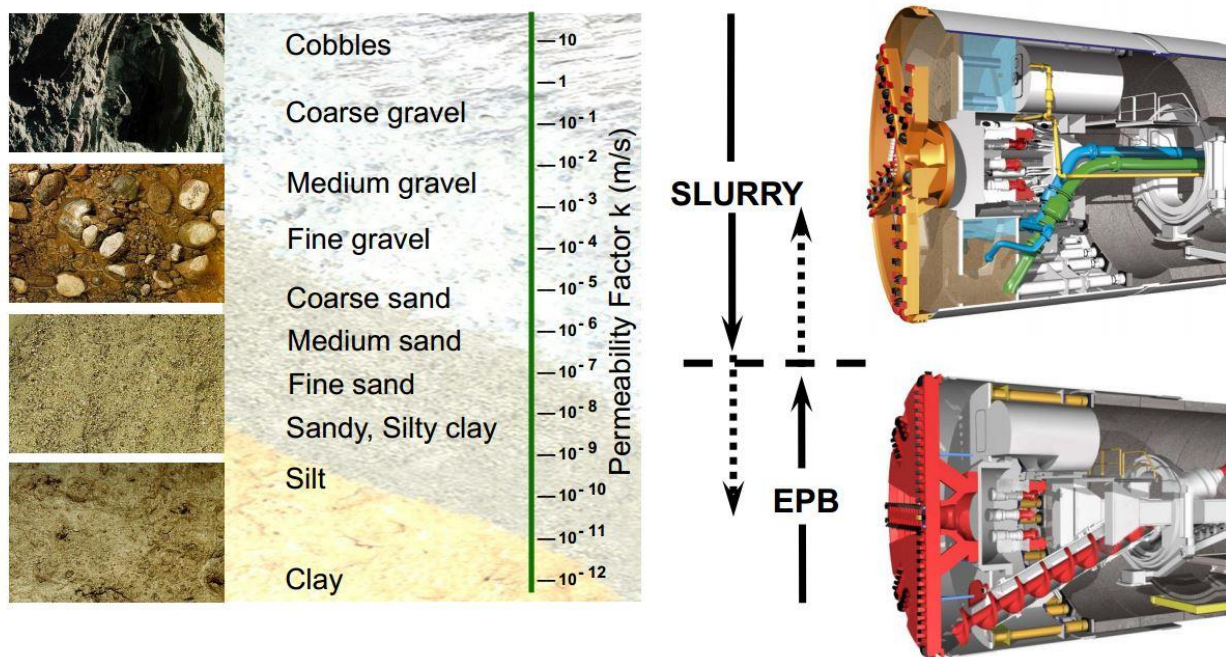


Figura 7-E : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”

Genericamente le dimensioni ridotte della testa DN600 non permettono l'utilizzo di componenti elettromeccaniche potenti, per cui le operazioni di perforazione sono fortemente influenzate dalle condizioni geotecniche.

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 DN400/DN600/DN800**.



Figura 7-F : MTBM DN600 con testa fresante condizionata da "misto pesante"



Figura 7-G : MTBM con testa fresante condizionata da" misto pesante"



Figura 7-H : MTBM con testa fresante condizionata da" misto pesante"



Figura 7-I : MTBM con testa fresante condizionata da "misto pesante"

Max UCS of cobble/boulder 200 MPa
Max UCS of rock 100 MPa



Figura 7-J : MTBM con testa fresante condizionata da "misto pesante"



Figura 7-K : MTBM con testa fresante condizionata da "misto pesante" utilizzata nel cantiere di Bolzano



Figura 7-L : 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 7-1 - 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.
DN800	120 – 200	OVERCUT LUBRIFICAZIONE UTENSILI TAGLIO DISGREGAZIONE STAZIONI INTERMEDIE

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 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 7-M : Estratto UNI/PdR 26.2 2017 ¶6.3.1.7"

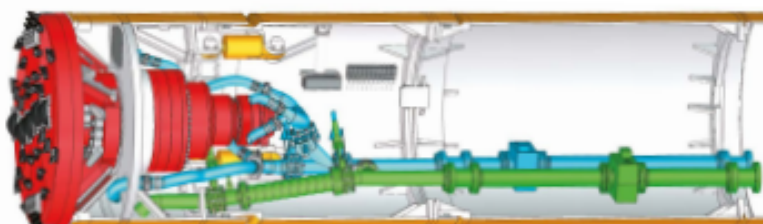
Si riportano a puro titolo indicativo le caratteristiche tecniche della serie

- HERRENKNECHT AG - MTBM MICROTUNNELLING SERIE AVN DN800

HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING

AVN800XC - AVN2000AC

AVN800XC - AVN2000AC PIPE JACKING



SPECIAL FEATURES

- Designed for soft ground, mixed ground and hard rock conditions by use of different cutting wheels (full face excavation).
- Most efficient use for short drives.
- Highly reliable steering operation due to inductive measuring system.

- Different (variable) flushing modes/jet systems to suit different ground conditions.
- High/medium pressure water system for operation in cohesive soil.
- Providing highly effective cone crusher.
- Equipped with heavy duty long-life main bearing and high torque central drive.

- Hydraulic power pack in control container, usable for a certain range of diameters.
- Completely remote-controlled.
- All machines compatible to U.N.S. Guidance System.

TECHNICAL DATA		AVN800XC		AVN800RC		AVN1000XC		AVN1200XC		AVN1400XC		AVN1500RC		AVN1600AC		AVN1800AC		AVN2000AC	
		Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext	Std	Ext
1. Articulated Shield																			
Outer diameter	mm	975	1,110	1,110	1,295	1,295	1,505	1,505	1,740	1,740	1,810	1,810	1,970	1,970	2,150	2,150	2,425	2,425	3,025
Pipe OD	mm	900	1,090	1,090	1,280	1,280	1,490	1,490	1,720	1,720	1,780	1,780	1,940	1,940	2,120	2,120	2,400	2,400	3,000
Pipe ID	mm	700	800	800	1,000	1,000	1,200	1,200	1,400	1,400	1,500	1,500	1,600	1,600	1,800	1,800	2,000	2,000	2,400
Main drive																			
Max. torque	kNm	55	90	90	150	150	195	195	281	281	310	310	310	310	445	445	640	640	
Revolution	UMH/Min	0-7.4	0-7.1	0-7.1	0-5.4	0-5.4	0-3.5	0-3.5	0-3.2	0-3.2	0-3.2	0-3.2	0-3.2	0-3.2	0-3.2	0-3.2	0-2.0	0-2.0	
Rated power	kW	55	75	75	75	75	90	90	110	110	110	110	110	110	132	132	132	132	
Roll correction		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Steering																			
Steering cylinders		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Force per cyl./oil pressure	kN/bar	293/500	293/500	293/500	664/500	664/500	752/500	752/500	1,005/500	1,005/500	1,005/500	1,005/500	1,005/500	1,005/500	1,272/500	1,272/500	1,272/500	1,272/500	1,272/500
Stroke per cyl.	mm	50	50	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	100	100	100	100	100	100
Control																			
Computer data logging system		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fuzzy control (automatic steering)		opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.
Full visualised process control		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Active roll protection (oil-hydr.)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Suitability U.N.S.: ELS		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ELS-HVWL		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GNS		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. Machine Can																			
Lubrication System		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3. General Information																			
Pipe Jacking		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Drive length (recommended)	m	150	150	150	150	150	200	200	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300
Access to cutting wheel		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Waterproofness	bar	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Telescopic and interlocking station		opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.	opt.
Slurry line diam.	mm	100	100	100	100	100	100	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	150	150
High pressure water system		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Medium pressure jet system		-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

All measures and data represent the main feasibility of the machines. Individual solutions are possible. Errors excepted.
*Std = standard; Ext = extension kit

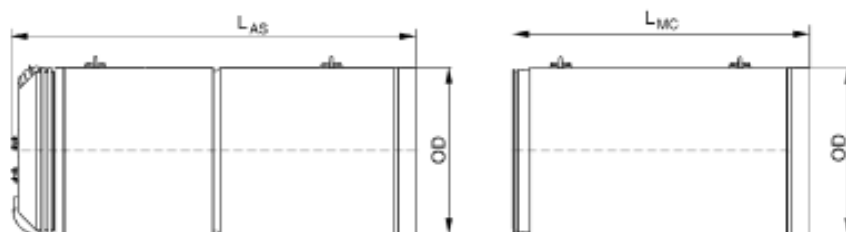


Figura 7-N : Scheda tecnica Herrenknecht DN800

HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING

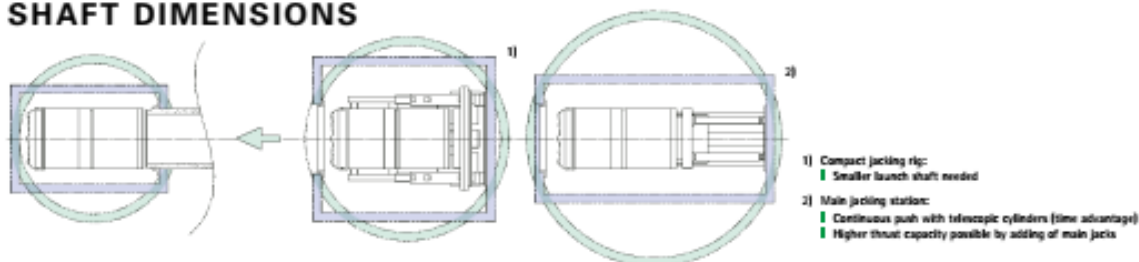
AVN800XC - AVN2000AC

MACHINE DIMENSIONS



			AVN800XC	AVN800RC	AVN1000XC	AVN1200XC	AVN1400XC	AVN1500XC	AVN1600AC	AVN1800AC	AVN2000AC
Outer diameter	OD	mm	975	1,110	1,295	1,505	1,740	1,810	1,970	2,150	2,425
Length artic. shield	L _{AS}	mm	2,400	2,000	3,000	3,200	3,400	3,400	3,900	4,200	4,400
Length machine can	L _{MC}	mm	2,200	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	3,200	3,200	3,200
Max. single weight	W	kg	4,500	6,200	7,600	10,500	13,000	17,000	22,000	25,000	32,000

SHAFT DIMENSIONS



		AVN800XC	AVN800RC	AVN1000XC	AVN1200XC	AVN1400XC	AVN1500XC	AVN1600AC	AVN1800AC	AVN2000AC
Launch Shaft	Pipe									
Compact jacking rig	length	Shaft size	Shaft size	Shaft size	Shaft size	Shaft size	Shaft size	Shaft size	Shaft size	Shaft size
	2,000mm	Ø = 3.2m	Ø = 4.57m	Ø = 4.57m	-	-	-	-	-	-
		4.5m x 3.5m	4.5m x 3.5m	4.5m x 3.5m	-	-	-	-	-	-
	2,000mm	Ø = 3.5m	Ø = 4.57m	Ø = 4.57m	Ø = 4.87m	Ø = 5.27m	Ø = 5.27m	Ø = 6.5m	Ø = 7.0m	Ø = 7.5m
		4.5m x 3.5m	4.5m x 3.5m	4.5m x 3.5m	5.5m x 4.5m	5.5m x 4.5m	5.5m x 4.5m	6.5m x 4.5m	6.5m x 4.5m	7.0m x 5.0m
	3,000mm	Ø = 4.57m	Ø = 4.57m	Ø = 4.57m	Ø = 4.87m	Ø = 6.5m	Ø = 6.5m	Ø = 6.5m	Ø = 7.0m	Ø = 7.5m
		4.5m x 3.5m	4.5m x 3.5m	4.5m x 3.5m	5.5m x 4.5m	5.5m x 4.5m	5.5m x 4.5m	6.5m x 4.5m	6.5m x 4.5m	7.0m x 5.0m
Launch Shaft	2,500mm	-	-	-	-	Ø = 8.5m	Ø = 8.5m	Ø = 8.5m	Ø = 9.0m	Ø = 9.0m
Main jacking station	-	-	-	-	-	8.0m x 4.5m	8.0m x 4.5m	8.0m x 4.5m	8.5m x 4.5m	9.0m x 4.5m
	3,000mm	-	-	-	-	Ø = 8.5m	Ø = 8.5m	Ø = 8.5m	Ø = 9.0m	Ø = 9.0m
		-	-	-	-	8.0m x 4.5m	8.0m x 4.5m	8.0m x 4.5m	8.5m x 4.5m	9.0m x 4.5m
Reception Shaft	L _{AS}	2,000mm	2,000mm	3,000mm	3,200mm	3,400mm	3,400mm	3,900mm	4,200mm	4,400mm
	Circular	Ø = 3.0m	Ø = 3.4m	Ø = 3.6m	Ø = 4.5m	Ø = 4.5m	Ø = 5.0m	Ø = 5.0m	Ø = 5.5m	Ø = 6.0m
	Rectangular	2.9m x 2.0m	3.2m x 2.0m	3.4m x 2.5m	4.5m x 2.5m	4.5m x 2.5m	4.5m x 2.5m	5.0m x 3.0m	5.0m x 3.0m	5.5m x 3.5m

All dimensions according to 10m shaft depth.

Machine type description e.g.	AVN1	1800	T	S
Machine type	ID of jacking pipe	Access to cutting wheel	Type of container, power transfer from container to machine	
		X = no access T = central door A = door above main drive or in top of pressure wall	B = electric cable to machine, power pack in machine C = hydraulic drive from container directly into machine E = electric cable from container directly into machine H = medium voltage supply to machine (> 1000V)	

All rights reserved. Any information contained herein is for informational purposes only. Subject to change without notice.
We are not responsible for typographical errors. All dimensions and data refer to customizable basic product features.

Herrenknecht AG
D-77963 Schwanau
Phone +49 (7824) 302 0
Fax +49 (7824) 302 3640
utility@herrenknecht.com
www.herrenknecht.com

Building the future together. Herrenknecht AG is a technology and market leader in mechanized tunnelling. Herrenknecht is the only company in the world to supply high-tech tunnelling machinery for all ground conditions and in all diameters.



Figura 7-O : Scheda tecnica Herrenknecht DN800

7.2 OVERCUT

La perforazione in “MISTO PESANTE”, e nel caso in oggetto con possibili ciottoli “HARD MIXED GROUND” con UCS \approx 150 MPa richiede un OVERCUT sovradimensionato rispetto alla perforazione.

Esperienze empiriche indicano che il sovradimensionamento dell’OVERCUT debba essere compreso fra il 25% ed il 50% rispetto alla perforazione in suolo o roccia tenera.

La maggiorazione dell’OVERCUT rappresenta infatti una garanzia rispetto all’elevata usura attesa degli utensili.

Nel caso in oggetto si ipotizza di considerare degli OVERCUT compresi fra 20 mm e 40 mm così come indicato al punto 20.2 delle “*Standard Design and Construction Guidelines for Microtunneling, ASCE, 2015*”

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

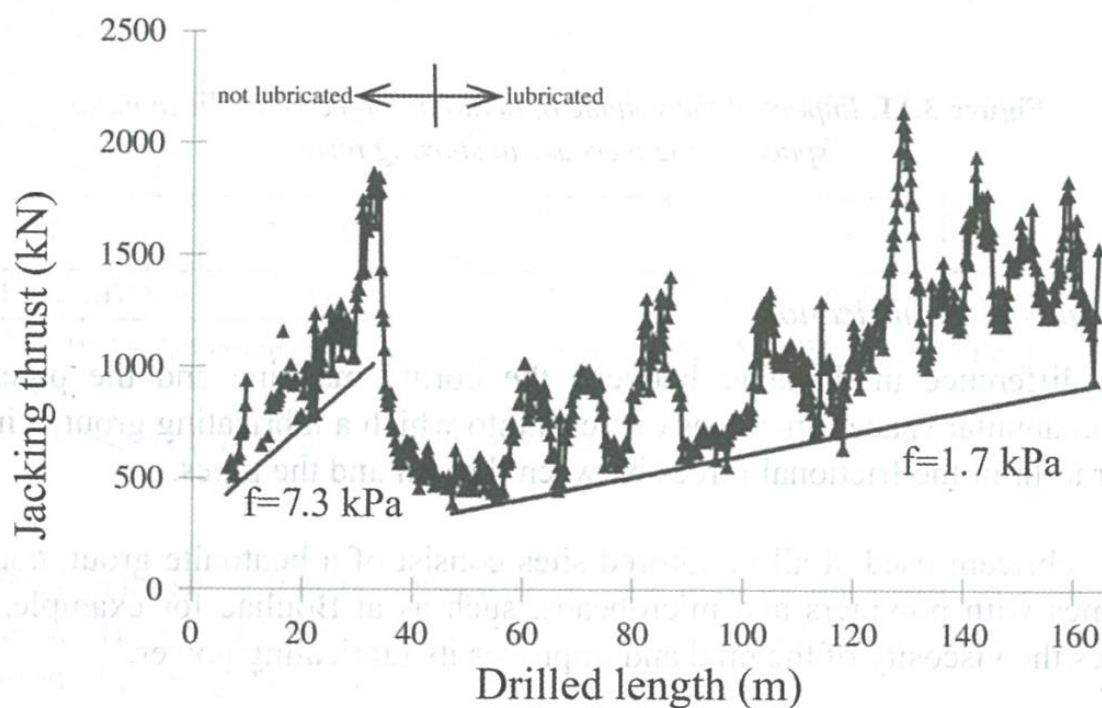


Figure 3.12. Variation in the jacking thrust at Châtenay-Malabry

Figura 7-P : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, *Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations*

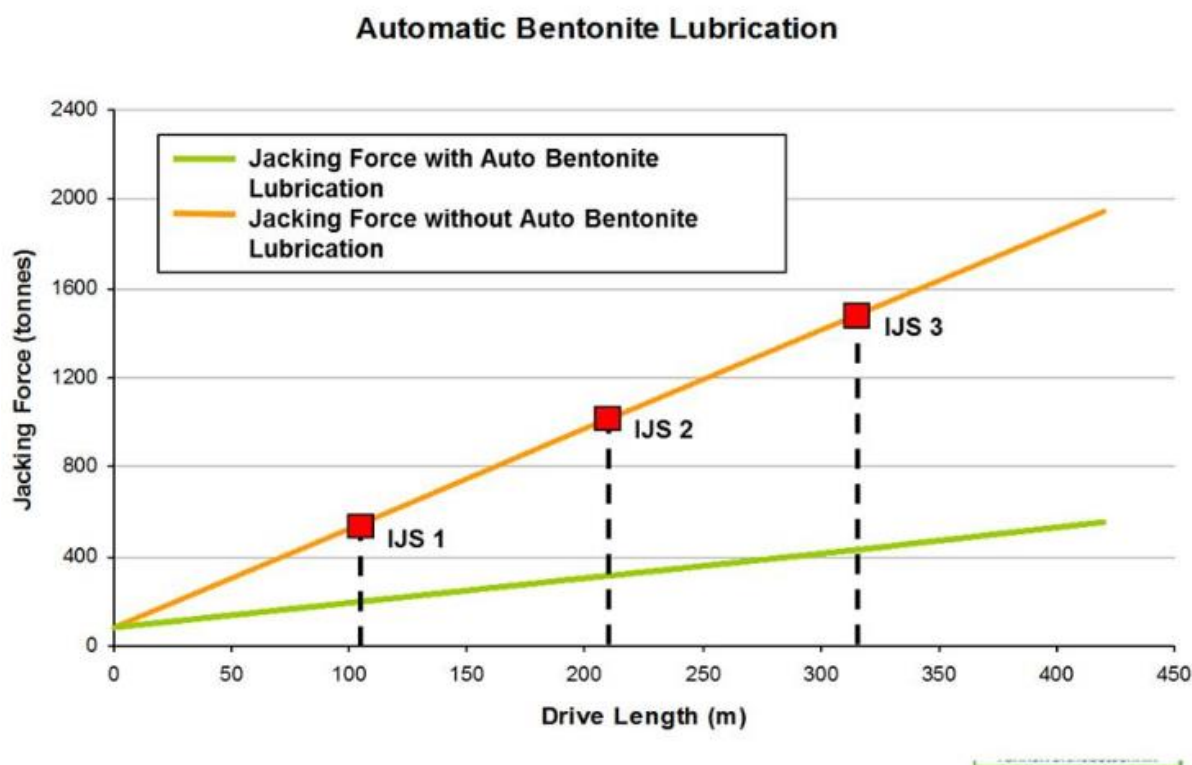


Figura 7-Q : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

7.4 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

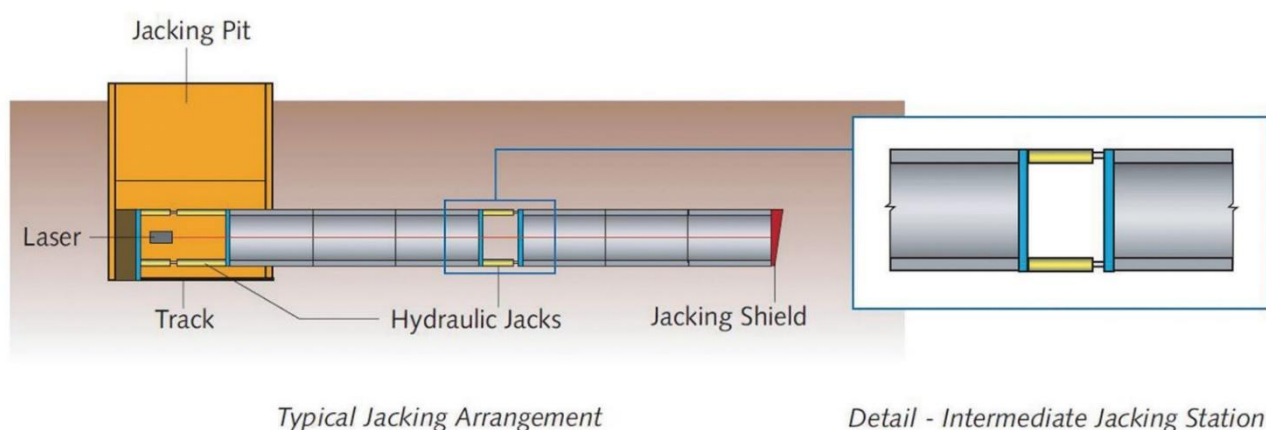


Figura 7-R : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

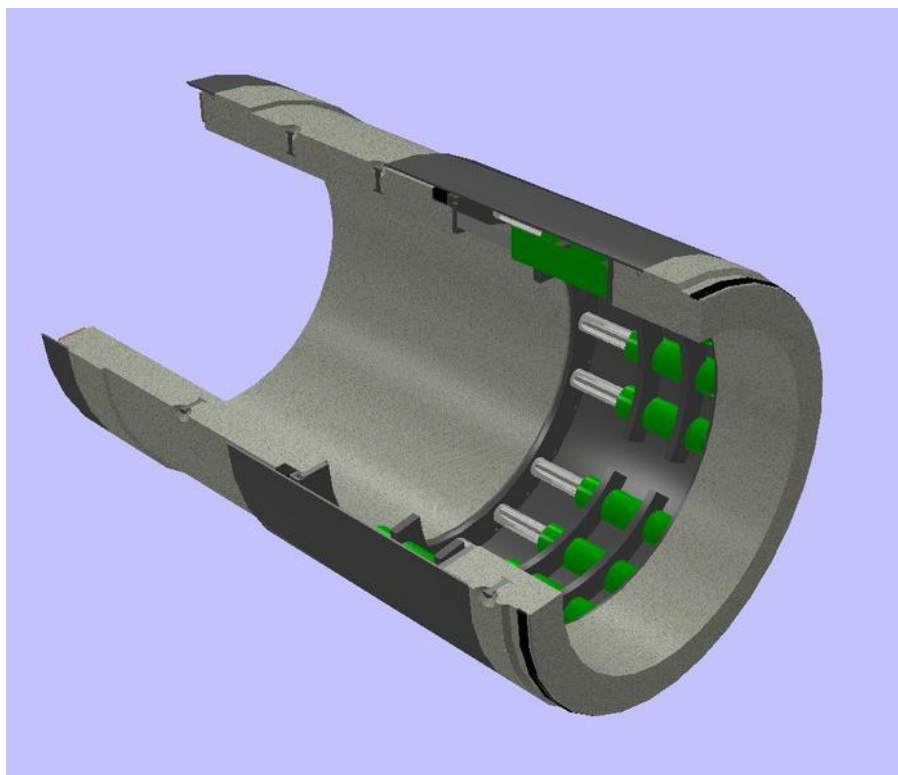


Figura 7-S : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

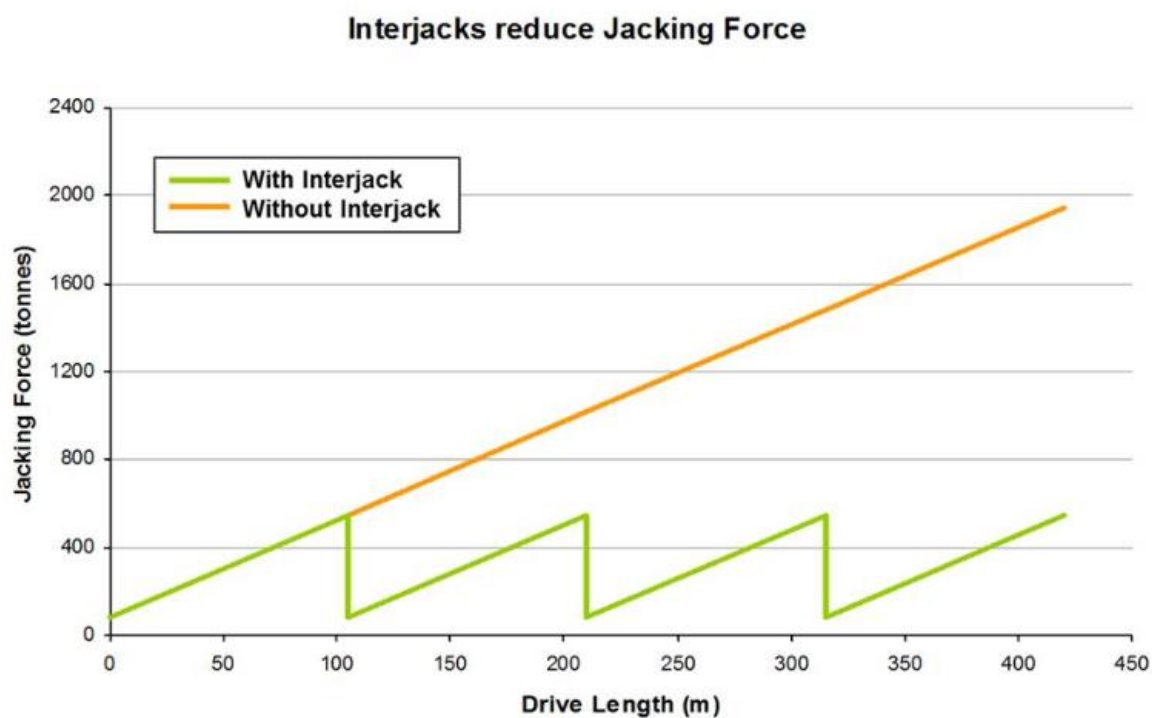


Figura 7-T : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"

7.5 USURA UTENSILI

Il corretto dimensionamento e condizionamento degli utensili di perforazione appare fondamentale relativamente al contesto di perforazione oggetto di analisi.

Si evidenzia infatti che è possibile con facilità determinare il livello di usura degli utensili rispetto sia ai valori di abrasività CAI che alla tipologia di roccia perforata, con riferimento alla **Figura 7-U** e **Figura 7-V**.

Relativamente a quanto riportato si evidenzia quindi che per le tratte in oggetto l'usura attesa degli utensili è definibile come **ALTA**.

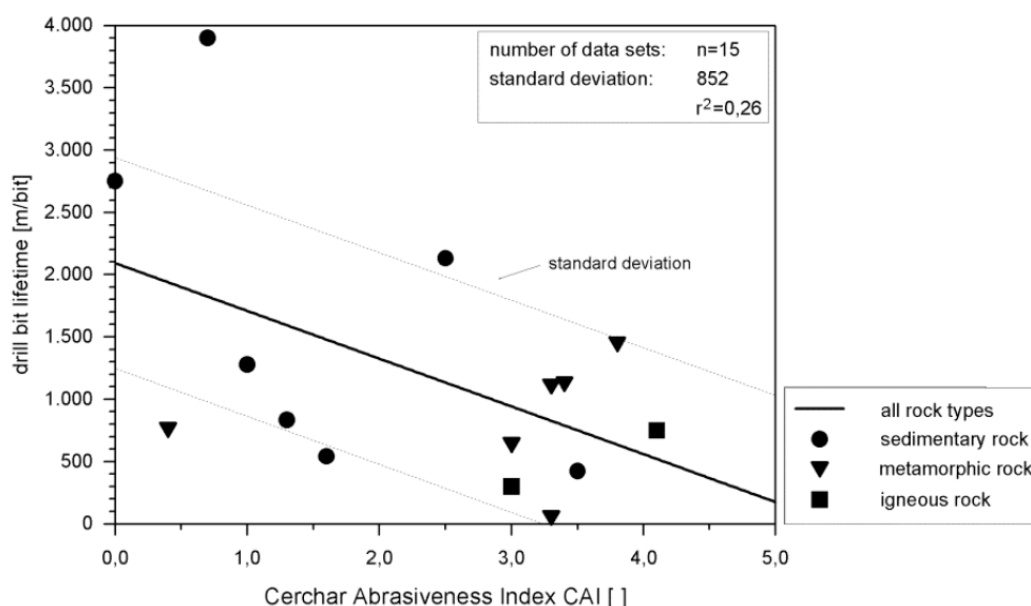


Fig. 8: Correlation of 45mm button bit lifetime [m/bit] and CAI (Plinninger, Spaun & Thuro, 2002)

Figura 7-U : Estratta da "Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004"

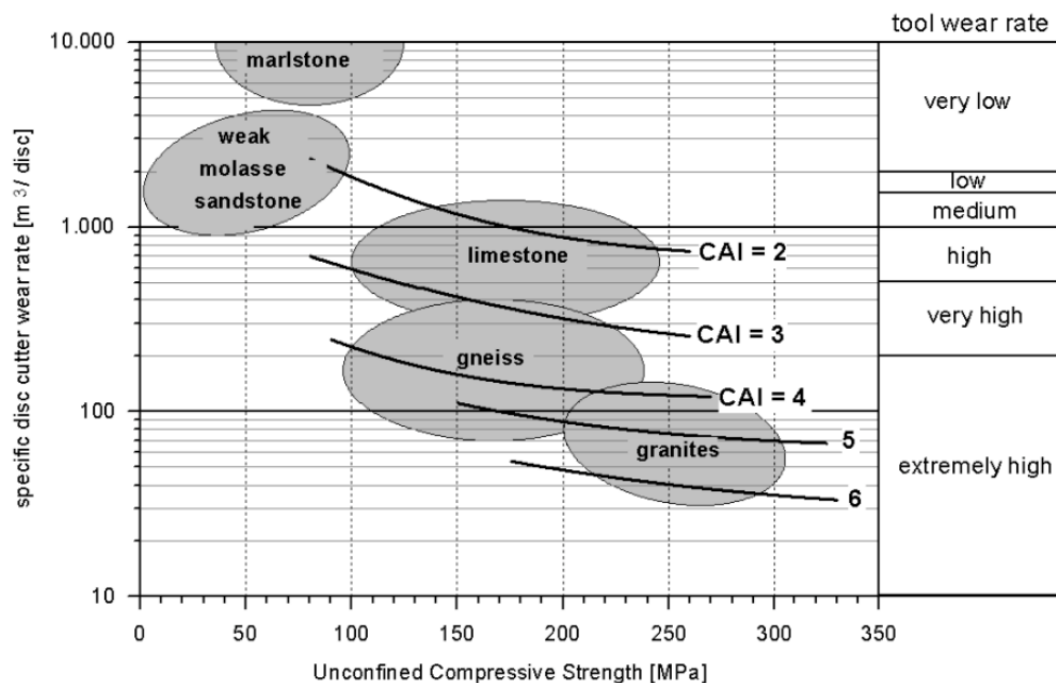


Fig. 10: Correlation of TBM cutter life [m³/disc], UCS and CAI for some common rock types (Maidl, Schmid, Ritz & Herrenknecht, 2001)

Figura 7-V : Estratta da "Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004"

Ulteriori considerazioni di dettaglio possono essere desunte dall'analisi di **Figura 7-W** e **Figura 7-X**, ipotizzando un valore medio della UCS pari a 150 MPa, si ottengono valori del carico medio sull'utensile pari a circa 170 KN, cui corrisponde un valore atteso della penetrazione compreso fra 3 e 5 mm.

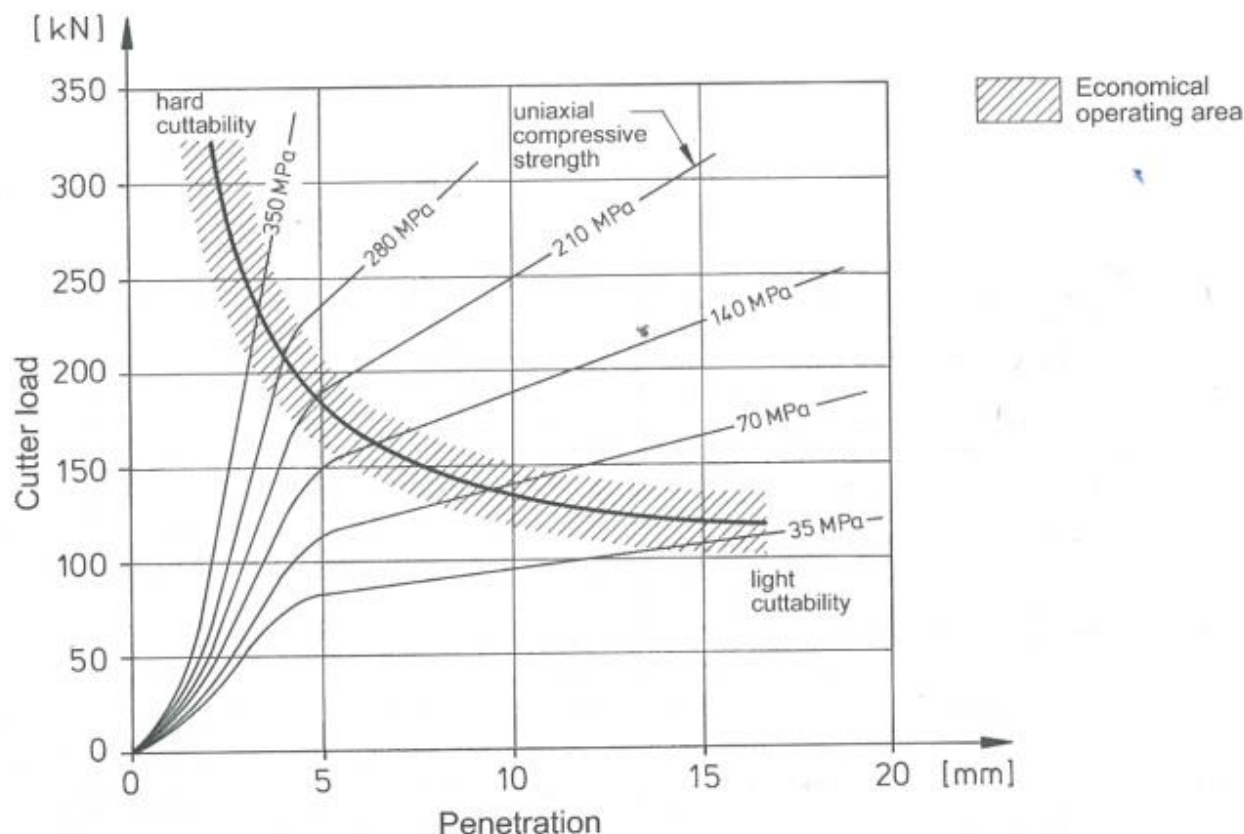


Figura 7-W : Estratta da "Hardrock Tunnel Boring Machines, B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht, Ernst & Sohn"

Come sopra ricordato, la vita degli utensili, non è solo influenzata dal carico e penetrazione attesa, ma anche dalla tipologia di roccia perforata.

Con riferimento ai risultati delle indagini e dati di bibliografia disponibili, si evidenzia che gli orizzonti di perforazione oggetto di analisi, definiti come costituiti da materiali grossolani, sono in buono accordo con i dati bibliografici disponibili.

Pregresse esperienze in contesti simili, permette quindi di asserire che il livello atteso di usura degli utensili anche in termini analitici è comunque **ALTO**.

Esperienze tecniche consolidate a livello internazionale, indicano che per gli orizzonti oggetto di perforazione, caratterizzati da $UCS \approx 150 \text{ MPa}$ e $CAI \approx 2/3$, sia ipotizzabile il ricorso ad utensili tipo **CUTTER DISC**, in grado di garantire riserve meccaniche in termini di durata e capacità di perforazione.

L'usura degli utensili è funzione di numerosi parametri, per cui oltre al valore di abrasività CAI ed UCS, è importante anche la spinta assiale a sua volta funzione della produttività o dei ratei di avanzamento della perforazione.

Table 3 – Relative Drilling Resistance Criteria

RDR	Term	Criteria	Typical Ground Conditions
1	Very Easy	No chatter, very little resistance, very fast and steady drill advance rate	Very soft to soft silts and clays; very loose to loose silts and sands; no gravel, cobbles, boulders or rubble
2	Easy	No chatter, some resistance, fast and steady drill advance rate	Firm to stiff silts and clays; loose to medium dense silts and sands; little or no gravel, no to very few cobbles, boulders or pieces of rubble
3	Moderate	Some chatter, firm drill resistance with moderate advance rate	Stiff to very stiff silts and clays; dense silts and sands; medium dense sands and gravel; occasional cobbles or rubble pieces (2-3 occurrences per 10 ft)
4	Hard	Frequent chatter and variable drill resistance, slow advance rate	Very stiff to hard silts and clays with some gravel and cobbles; very dense to extremely dense silts and sands with some gravel; dense to very dense sands and gravel; very weathered, soft bedrock; frequent cobbles and boulders or rubble pieces (3-4 per 10 ft)
5	Very Hard	Constant chatter, variable and very slow drill advance, nearly refusal	Hard to very hard silts and clays with some gravel; very dense to extremely dense gravelly sand or sandy gravel; very frequent cobbles and boulders (at least 5 per 10 feet); weathered, very jointed bedrock

Figura 7-X : Estratta da "RDR - Metodo empirico predittivo delle performance attese per la perforazione, (Hunt, S.W., Del Nero D.E., 2011) "

8 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

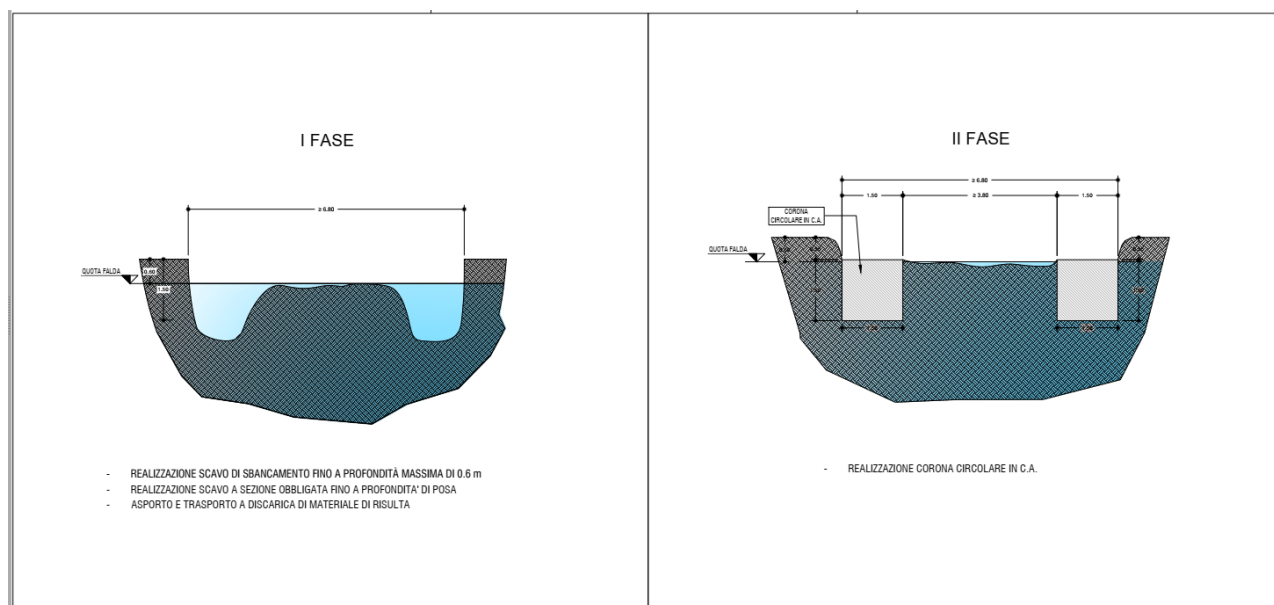


Figura 8-A : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante

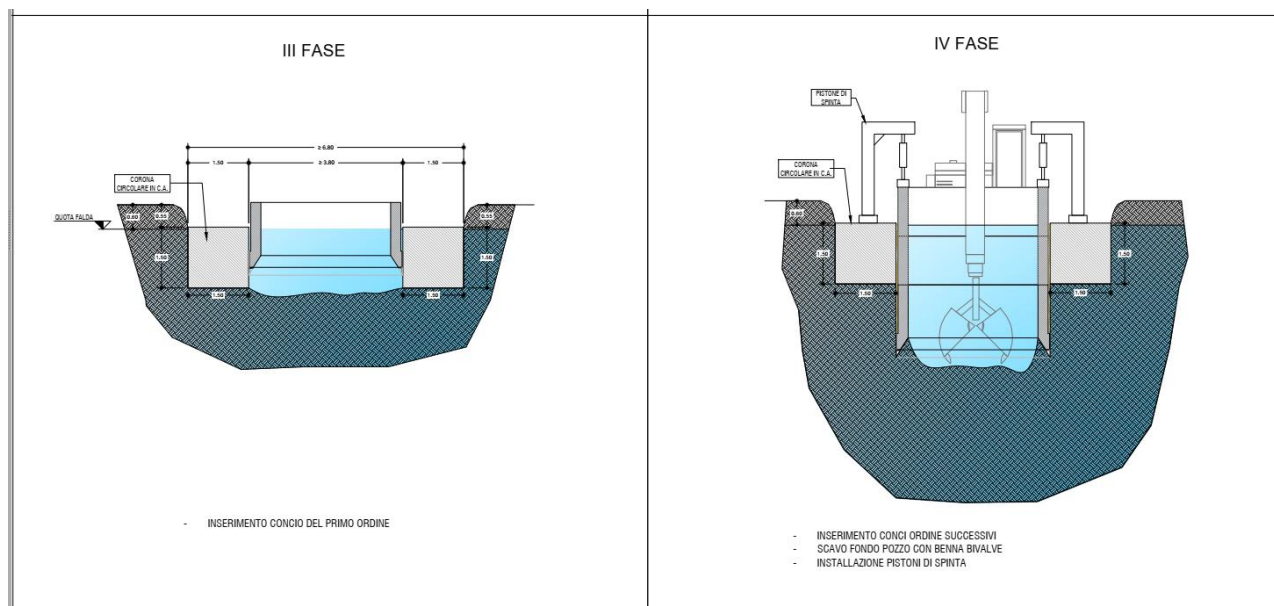


Figura 8-B : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante



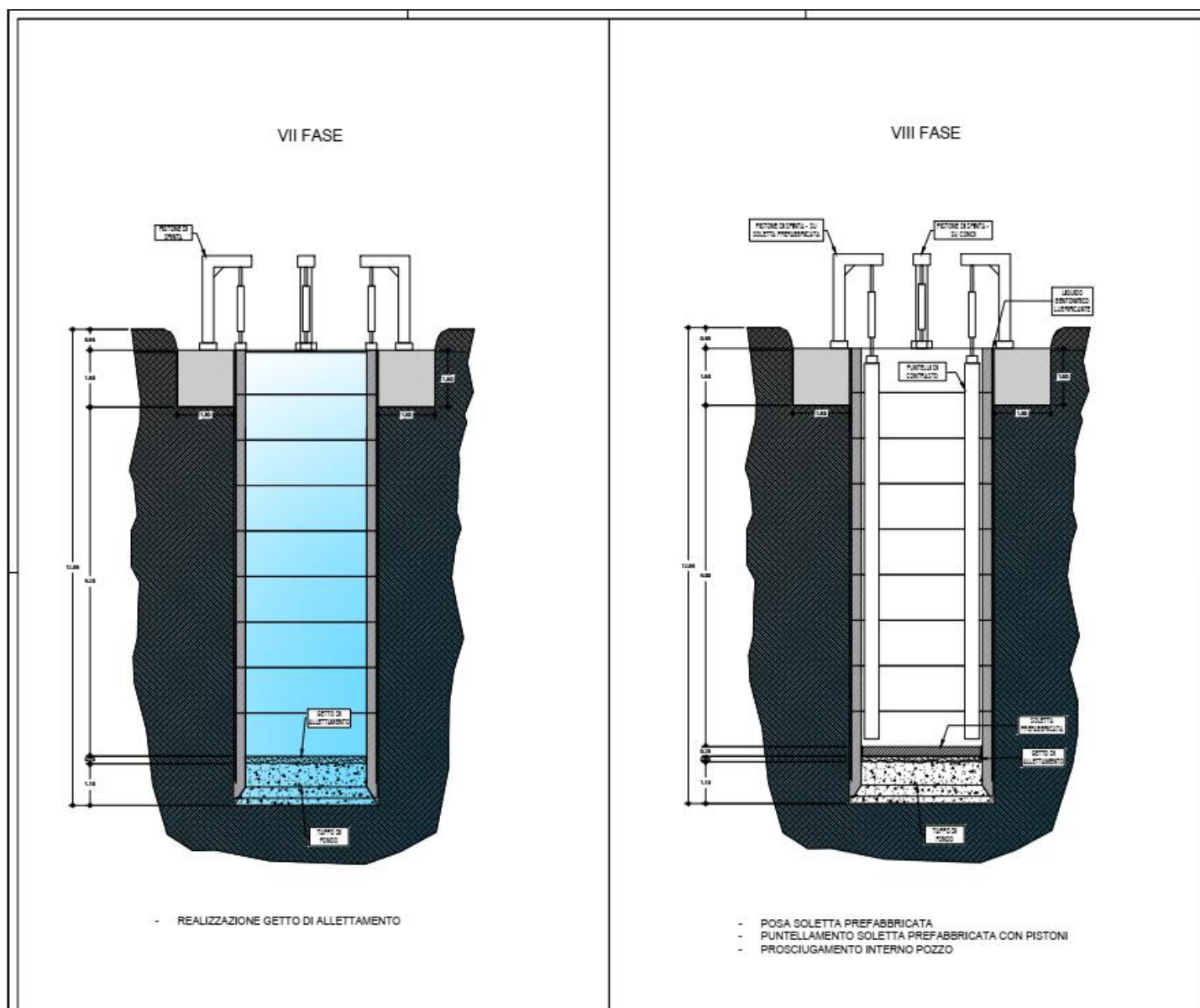


Figura 8-D : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante

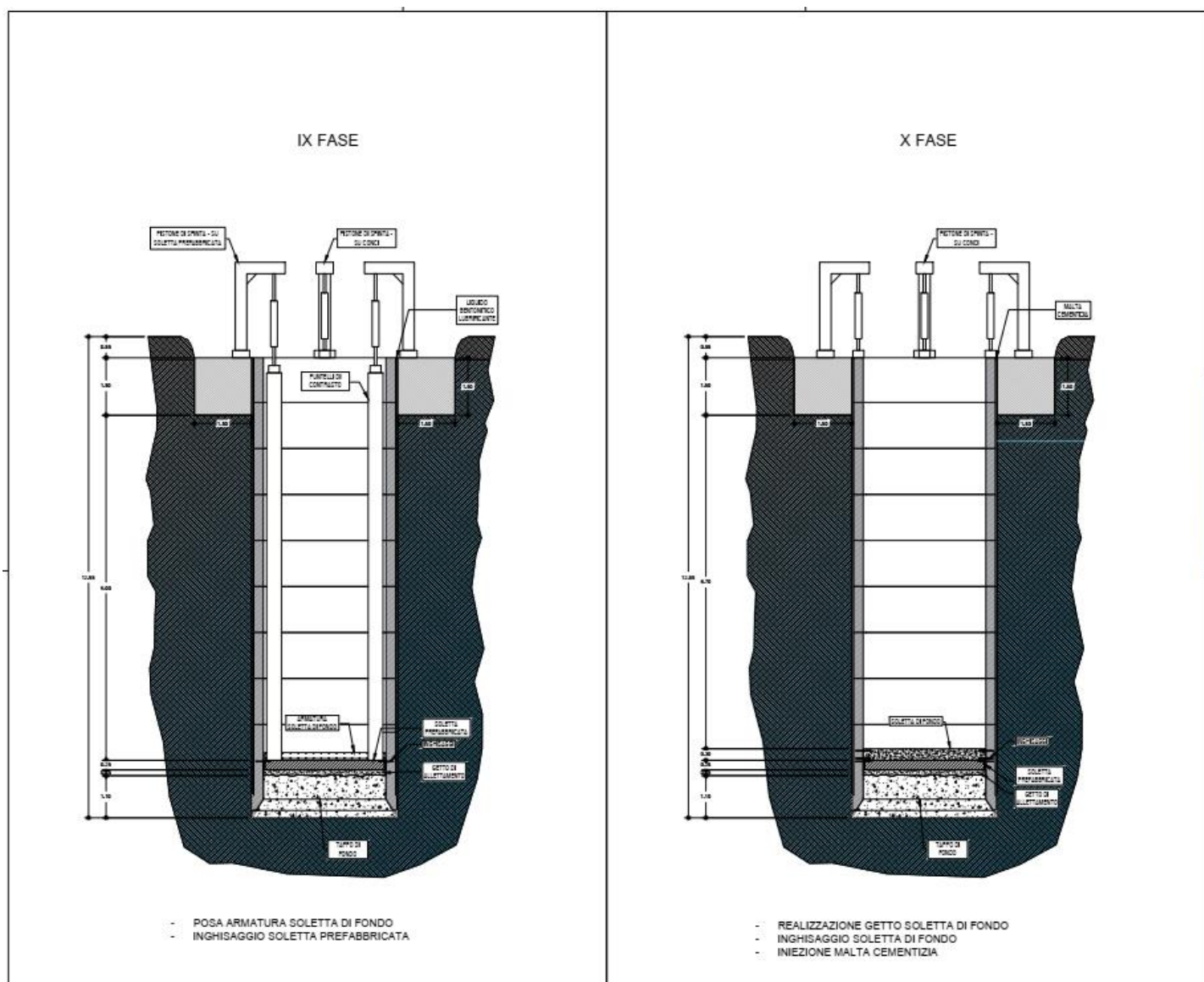


Figura 8-E : Schema tecnico realizzazione pozzo autoaffondante



Figura 8-F : Posa concio pozzo autoaffondante



Figura 8-G : Posa concio pozzo autoaffondante



Figura 8-H : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante



Figura 8-I : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante



Figura 8-J : Scavo con rostro interno pozzo autoaffondante

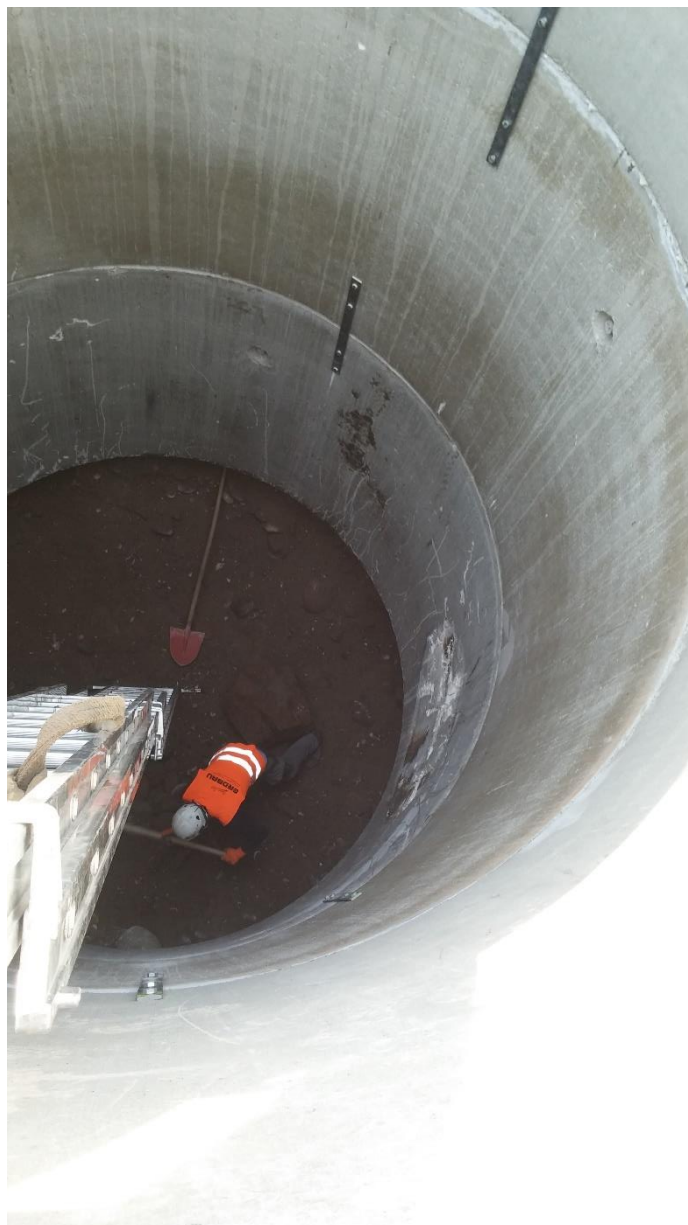


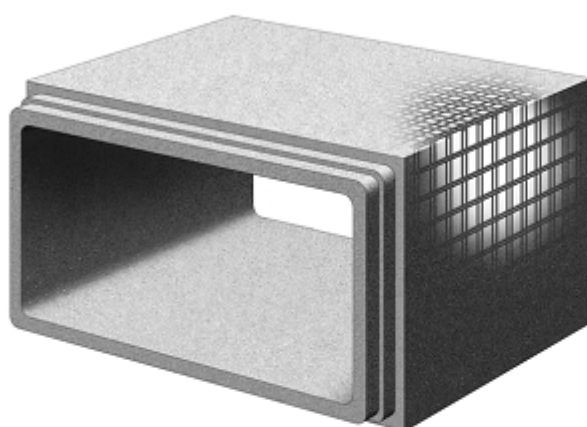
Figura 8-K : Scavo manuale interno pozzo autoaffondante

8.1 SPECIFICHE TECNICHE DEL POZZETTO

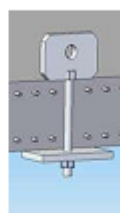
Si riportano di seguito, una serie di specifiche tecniche illustrative dei pozzi rettangolari e circolari da porre in opera.

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

CON GIUNTO A MEZZO SPESSORE
CONFORME ALLE NORMATIVE SUI CEMENTI ARMATI



Sistema di
sollevamento
con goliare



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 9156, con classe di resistenza caratteristica $R_{td} = 50 \text{ N/mm}^2$

Figura 8-L : 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 (solfuri 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 $\gamma_t=1.8 \text{ t/mq}$ 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 riporto 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

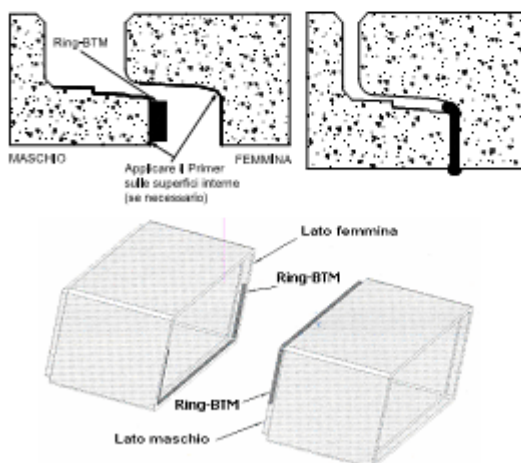


Figura 8-M : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare

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:

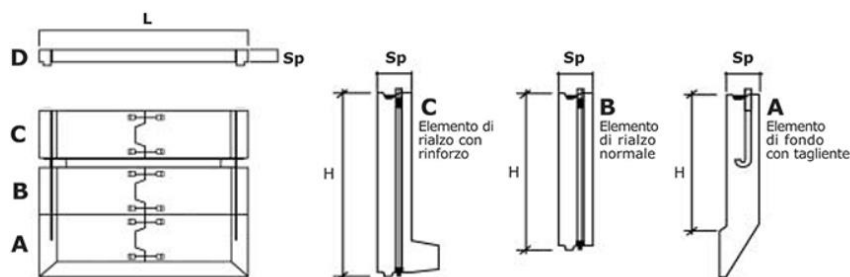
Tubo rettangolare prefabbricato, in c.a.v., confezionato con calcestruzzo di cemento tipo 425 Portland o (vedi voce capitolato cementi), con classe di resistenza caratteristica $R_{ck} > 50$ N/mm² (vedi cemento impiegato), dimensioni interne di cm.(...)(...) spessore cm.(...), con base di appoggio lato 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 8-N : Specifica tecnica pozzo autoaffondante rettangolare

DATI TECNICI POZZI AUTOAFFONDANTI

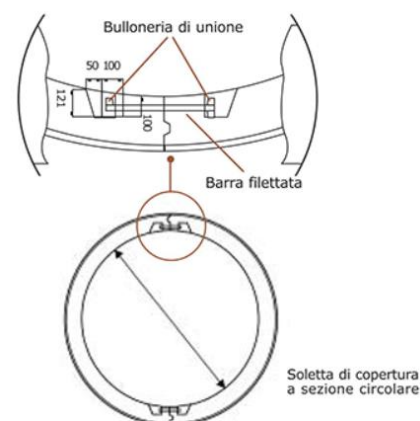
NORME DI RIFERIMENTO

VOCE DI CAPITOLATO



POZZO DI SPINTA

Componente	descrizione	diametro D mm.	altezza H mm.	spessore Sp mm.	lunghezza L mm.	peso Kg
D	SOLETTA DI COPERTURA A SEZIONE CIRCOLARE	3200	-	250	3700	3260x2
C	ELEMENTO DI RIALZO CON RINFORZO	3200	1400	250	-	4900
B	ELEMENTO DI RIALZO NORMALE	3200	1200	250	-	3870
A	ELEMENTO DI FONDO CON TAGLIANTE	3200	1250	250	-	4680



La ditta si riserva il diritto di modificare in qualsiasi momento caratteristiche tecniche e dimensioni.

Figura 8-O : Specifica tecnica pozzo autoaffondante circolare

9 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.

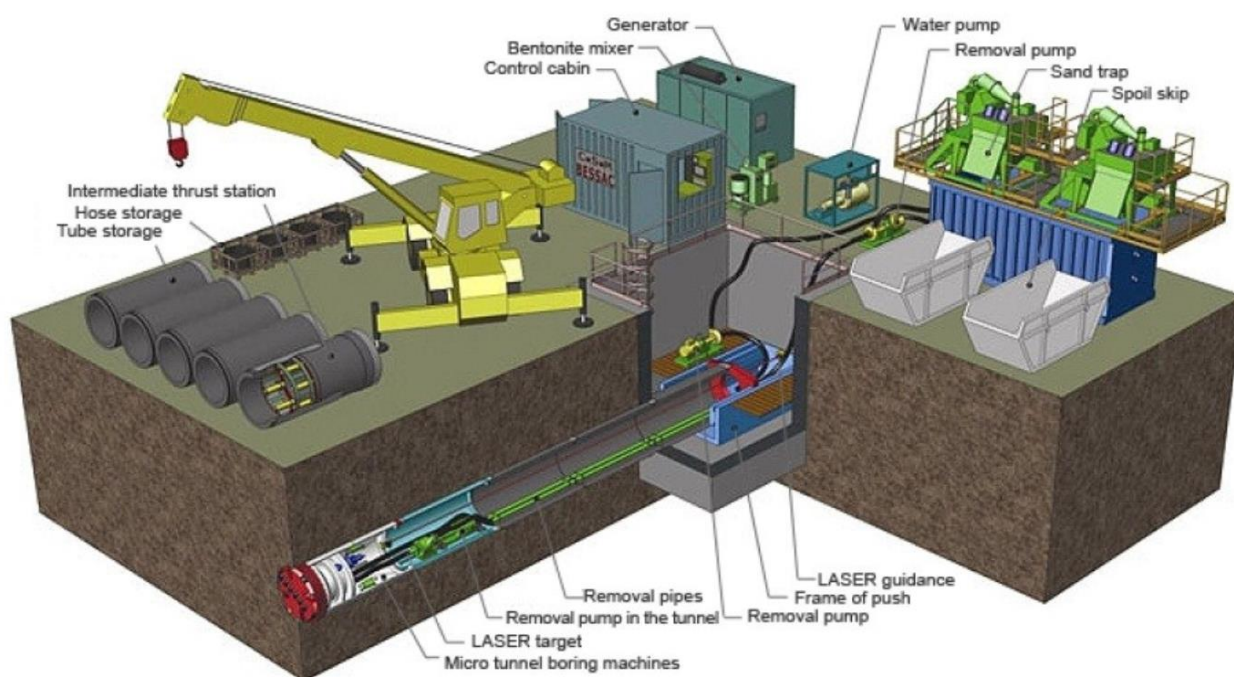


Figura 9-A : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta

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.

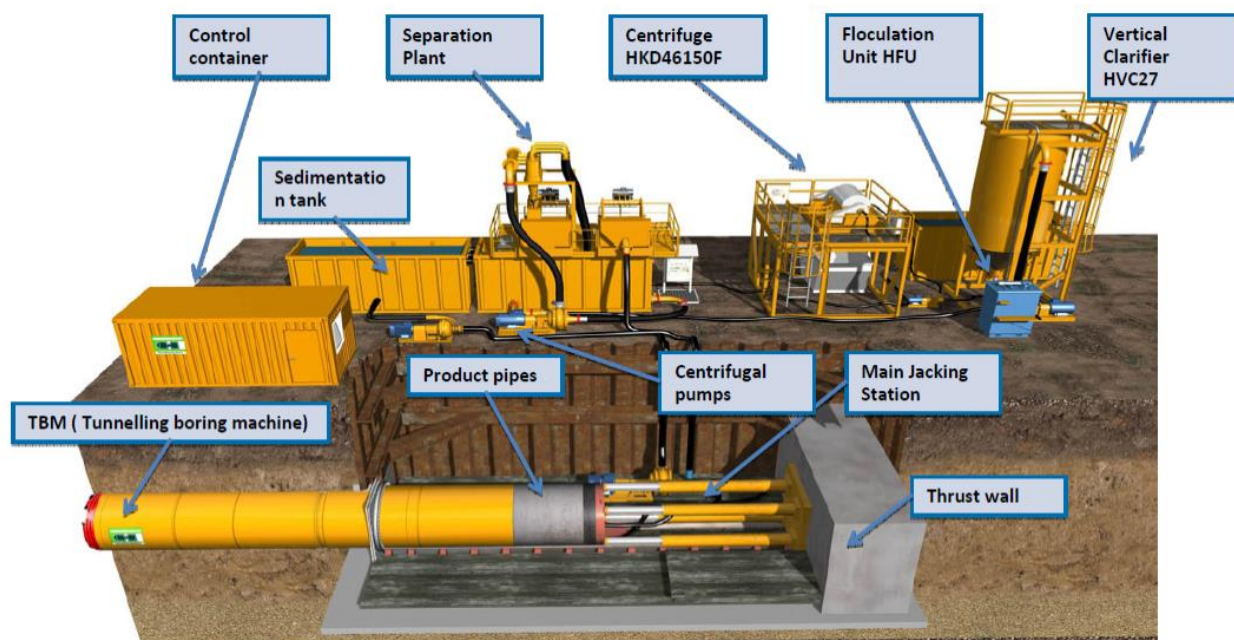


Figura 9-B : Schema tipo cantiere microtunnelling pozzo di spinta

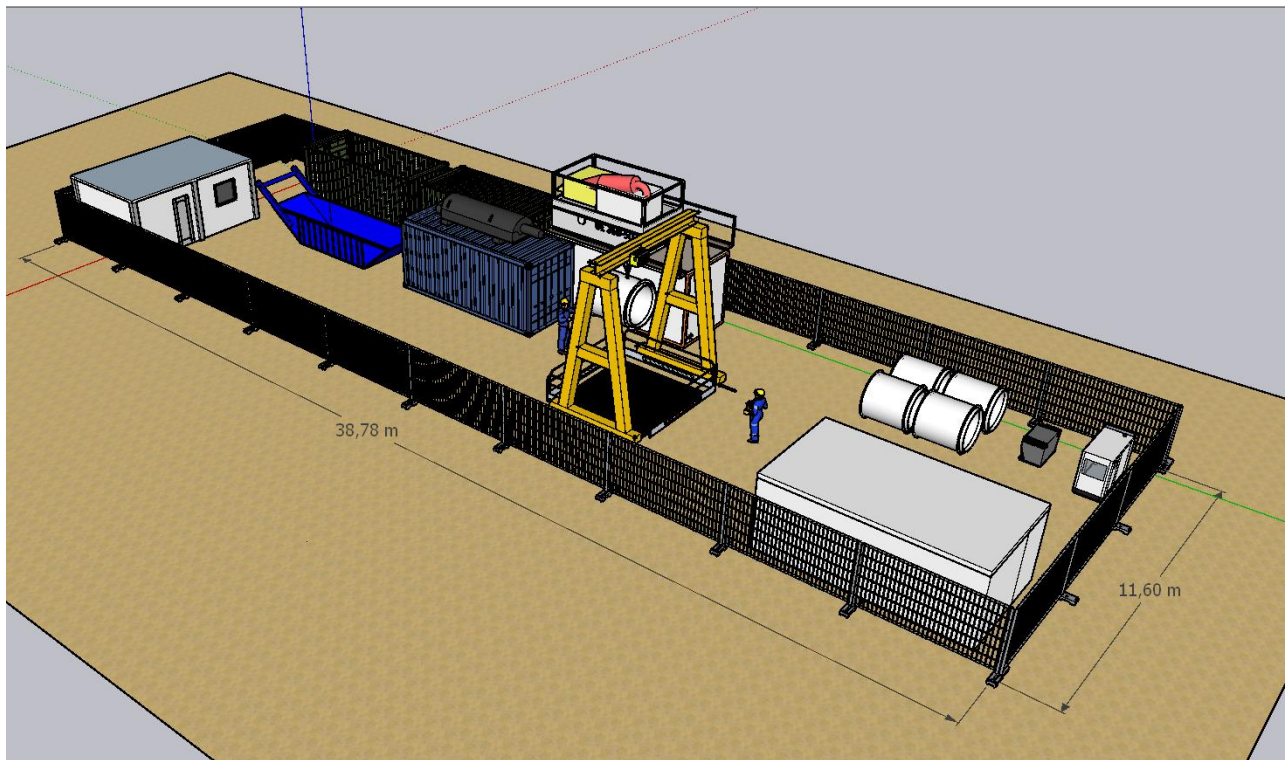


Figura 9-C : Cantiere microtunnelling DN800

INQUADRAMENTO PLANIMETRICO AREA DI CANTIERE POZZETTO DI SPINTA 3 - SCALA 1:200

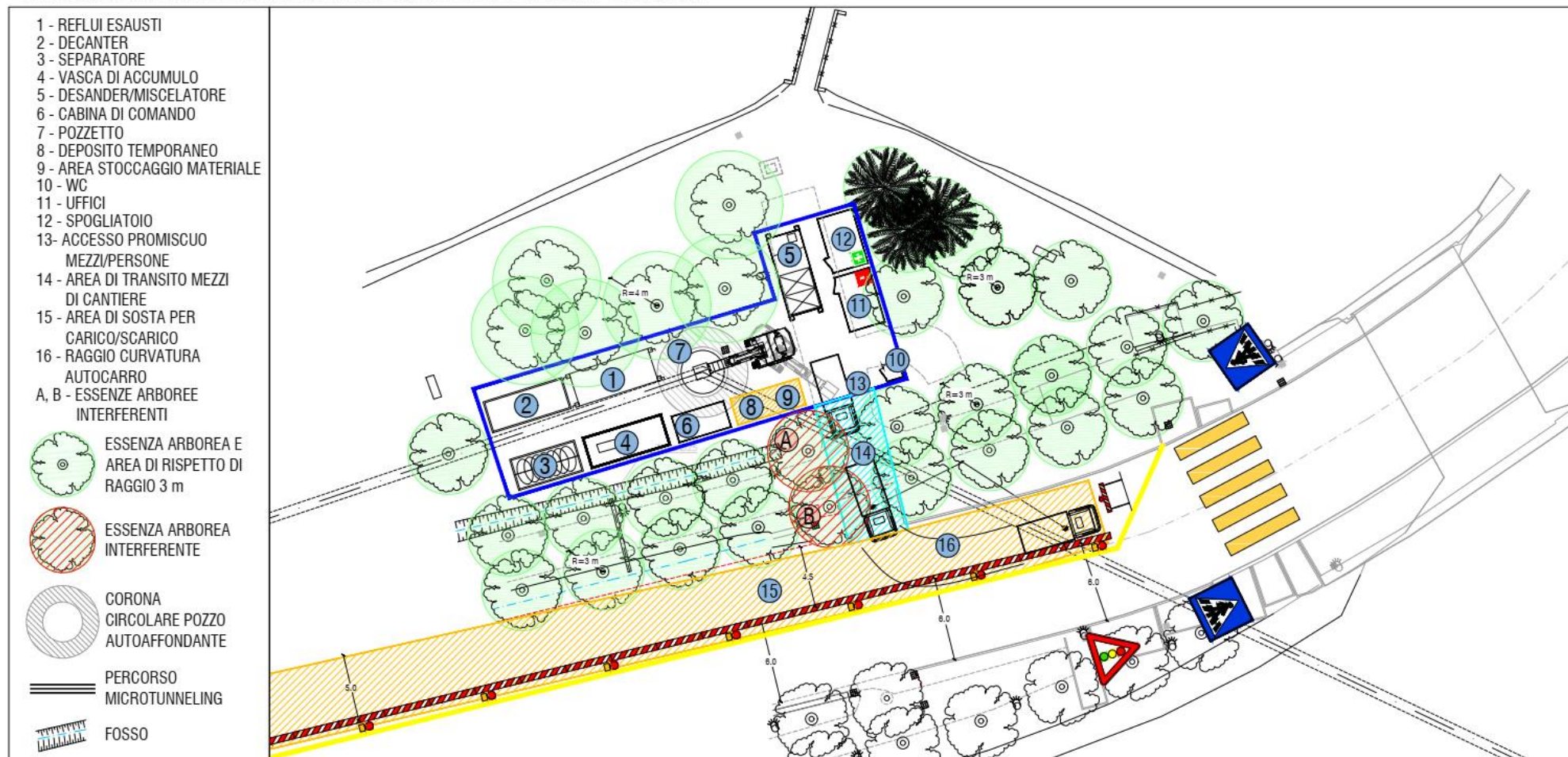


Figura 9-D : Schema cantiere microtunneling pozzo di spinta S3 – DN800

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

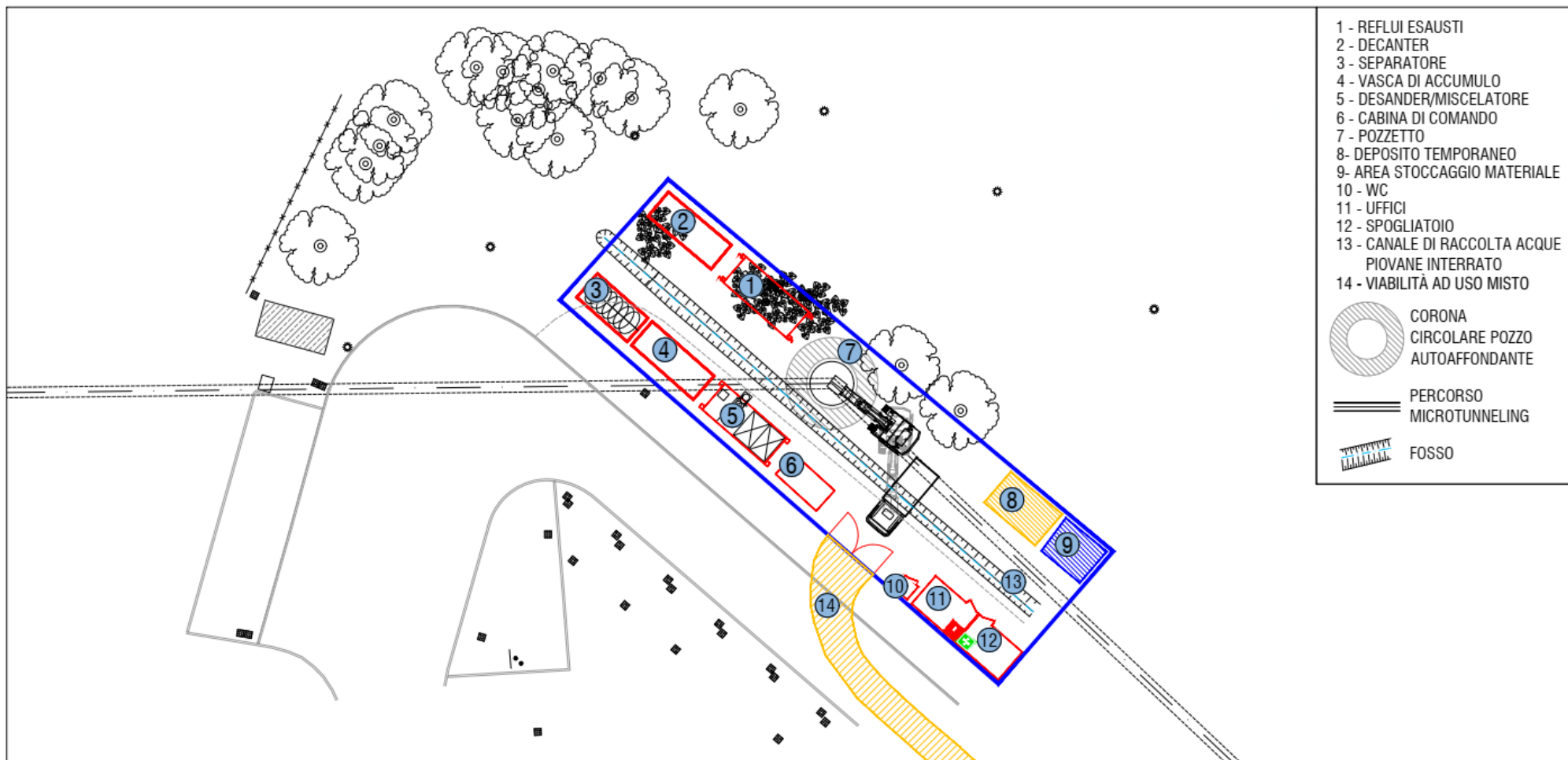


Figura 9-E : Schema cantiere microtunnelling pozzo di spinta S2a – DN800



Figura 9-F : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta



Figura 9-G : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta



Figura 9-H : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta



Figura 9-I : Cantiere microtunnelling pozzo di spinta

10 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.

10.1 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

10.2 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.

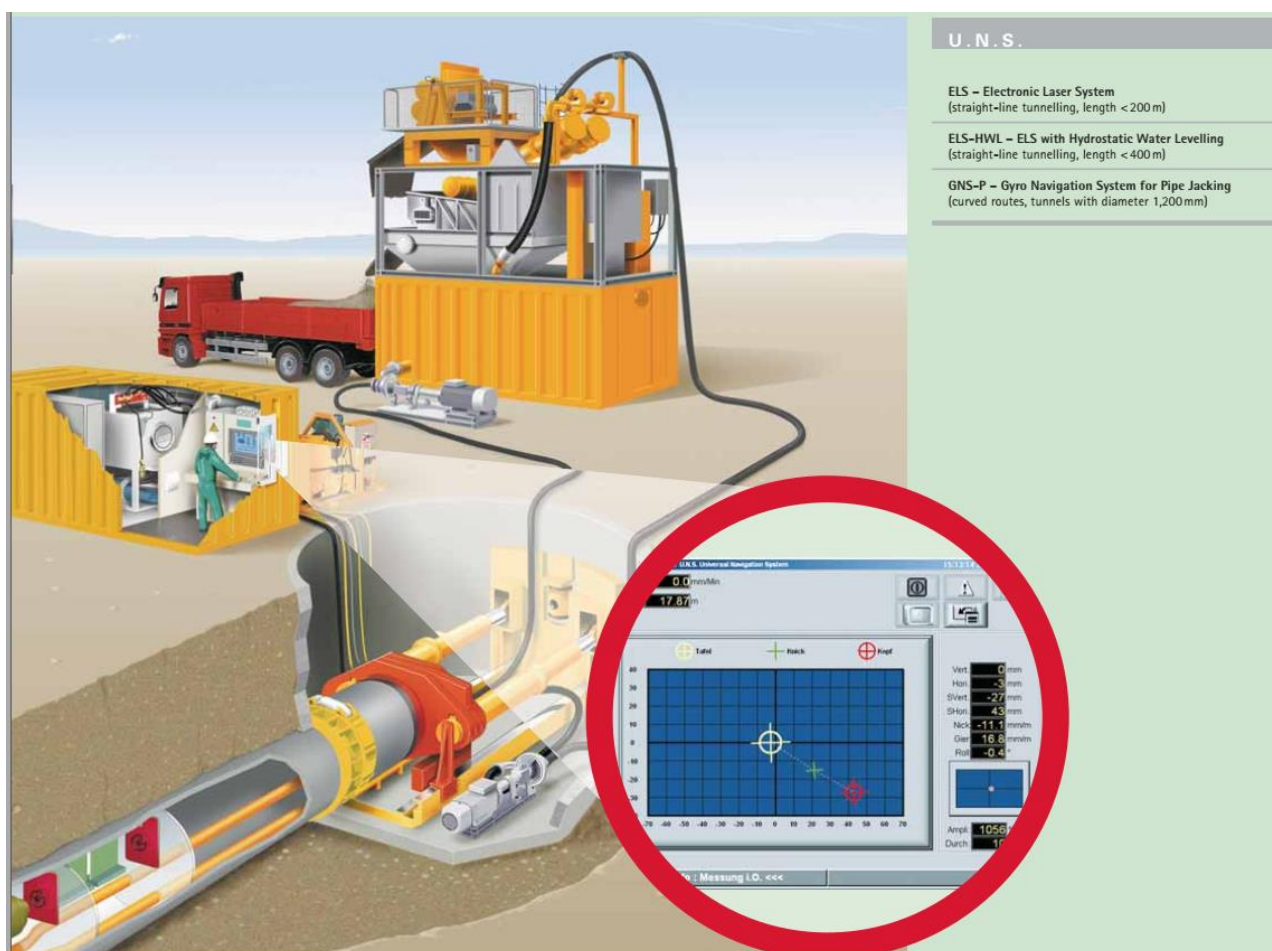


Figura 10-A : Schema tecnico sistema guida microtunnelling

10.3 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.

10.4 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.

11 CONCLUSIONI

Si riportano di seguito le conclusioni dello scrivente con riferimento alle determinazioni e valutazioni fin qui svolte di cui:

1. L'analisi dei dati sui sondaggi geognostici ha permesso l'identificazione dei litotipi caratterizzanti gli orizzonti di perforazione, in generale si tratta di materiali costituenti la coltre di depositi alluvionali in prevalenza grossolani, per cui i litotipi rinvenuti nei sondaggi sono riferibili a:

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

- **“MIXED GROUND”** ove rispetto alla matrice coesiva, SABBIA LIMOSA e ARGILLA LIMOSA, si rinvenivano GHIAIE;
- **“HARD MIXED GROUND”**, ove rispetto alla matrice coesiva, SABBIA LIMOSA e ARGILLA LIMOSA, si rinvenivano GHIAIE, CIOTTOLI e 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”.

Tabella 11-1 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a

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	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$	2173	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=120 m

Tabella 11-2 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a

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
	SPINTA TOTALE ATTESA NO STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$	2309	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=140 m
	SPINTA TOTALE ATTESA CON STAZIONE INTERMEDIA	$F_s = F_{fr} + F_p + F_{int}$	1794	Spinta totale relativa a perforazione pari a L=70 m


2. La resistenza del materiale costituente la parte grossolana degli orizzonti di perforazione, GHIAIA e CIOTTOLI, è prevedibilmente ALTA, per cui è stata ipotizzata una resistenza a compressione $UCS \sigma_c \approx 150 \text{ MPa} \approx 1.500 \text{ kg/cm}^2$, per cui si ritiene che le teste di perforazione dovranno essere dotata di utensili in grado di frantumare i materiali grossolani in elementi di piccola dimensione in modo da poter essere successivamente demoliti nel frantoio interno alla testa.
3. In ragione della capacità meccanica delle diverse teste di perforazione, le stesse dovranno essere tarate prestando attenzione alle aperture frontali delle singole teste per coniugare produttività e capacità di perforazione.
4. Relativamente a quanto riportato ai punti 1 e 2, ed oltre a quanto riportato relativamente ai valori del CAI, si ipotizza che le teste scelte, in particolare per il diametro DN600, dovranno presentare uno speciale condizionamento rispetto alle problematiche sopra evidenziate, predisponendo un apprestamento sito specifico delle teste di perforazione relativamente alla qualità, quantità e durabilità degli utensili di perforazione e alle capacità meccaniche generali delle teste in termini di spinta e coppia di perforazione.
5. Si ritiene inderogabile il ricorso a teste fresanti con apprestamenti tecnologici che permettano:
 - a. una corretta LUBRIFICAZIONE;
 - b. un corretto OVERCUT, compreso fra 20mm e 40 mm.
6. Relativamente alla fattibilità, si ritiene che l'esecuzione dell'opera in microtunnelling, sia pienamente di fattibilità, di cui:
 - a. per le tratte in cui è prevista la perforazione DN800, si ipotizza un livello di difficoltà medio/alto, ma si ritiene che la dotazione dei dispositivi/condizionamenti previsti delle teste garantisca una alta fattibilità.
7. Relativamente alle LUNGHEZZE MASSIMA DI SPINTA, si evidenzia che sono funzione del diametro della testa e delle condizioni geotecniche così come evidenziate, per cui si riporta abaco riepilogativo:

Tabella 11-3 - 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.
DN800	120 – 200	OVERCUT LUBRIFICAZIONE UTENSILI TAGLIO DISGREGAZIONE STAZIONI INTERMEDIE

8. Si riportano delle indicazioni sugli apprestamenti tecnologici per la testa fresante che possono essere riassunti in forma non esaustiva nell'elenco di seguito
- utilizzo di testa fresante con elevate capacità di perforazione e di macinazione di materiale litoide di qualsivoglia dimensione;
 - repowering delle capacità di macinazione/frantumazione della testa fresante con apprestamento di dischi fresanti e bottoni disgregatori in numero superiore alla media in considerazione del contesto geotecnico e geologico evidenziato;
 - calibrazione delle aperture dello scudo contro terra della testa fresante per scongiurare il pericolo di blocchi del mulino di smarino in seguito al passaggio di ciottoli nel mulino;
 - utilizzo di miscele opportunamente dosate di bentoniti e polimeri, per la creazione e il mantenimento durante la perforazione di bulbo di lubrificazione intorno alla testa e al corpo della fresa;
 - monitoraggio continuo del maggior numero di parametri della perforazione, con particolare riguardo alla spinta totale, alla spinta contro testa nella zona centrale e nella zona periferica dello scudo, all'attrito laterale, alla pressione contro terra della testa e del fluido, alle portate e pressioni di smarino in andata e ritorno, all'assetto geometrico della testa (rollio, rotazione, etc..).

ENKI s.r.l.
Ing. Andrea Mazzetti



12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht, 2011, Hardrock Tunnel Boring Machines, Ernst & Sohn
- [2] Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016
- [3] Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Under-ground Space Technology, 2006, Elsevier
- [4] Linee Guida della French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations
- [5] DAUB recommendations for the selection of tunneling machines” così come redatte dal “German Tunnelling Committee (DAUB)”,
- [6] Mechanised Shield Tunnelling, 2nd Edition Bernhard Maidl, Martin Herrenknecht, Ulrich Maidl, Gerhard Wehrmeyer, David S. Sturge”.
- [7] Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thu-ro, EUROCK 2004
- [8] Standard Design and Construction Guidelines for Microtunneling, ASCE, 2015
- [9] Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Under-ground Space Technology, 2006, Elsevier
- [10] Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale - Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali, A.A.V.V., UNI/PdR 26.2:2017
- [11] Normativa Europea EN 12889:2002 “Trenchless Construction and testing of drains and sewes”.