

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.r.l.

MONTEBELLUNA



ALTO TREVIGIANO SERVIZI

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

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO**

Tavola n.

**R06.01**

**RELAZIONE GEOTECNICA VERIFICA CONDOTTE  
MICROTUNNELING DN800**

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.



ALTO TREVIGIANO SERVIZI

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

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

PROGETTAZIONE



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

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

Data:

Novembre 2021

Aggiornato:

00

Codice Piano d'Ambito:

Codice commessa:

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
<b>2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RISPETTO AD INDICAZIONI FSST .....</b>	<b>9</b>
<b>3. PERMEABILITÀ .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 PERMEABILITA' TRATTE ESTERNE SILE .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 PERMEABILITA' SUBALVEO SILE.....</b>	<b>11</b>
<b>4 VALUTAZIONI SUI VALORI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE UCS E SULL'ABRASIVITA'.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 VALUTAZIONI SULL'ABRASIVITÀ ATTESA.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 SINTESI .....</b>	<b>17</b>
<b>5 JACKING FORCE.....</b>	<b>19</b>
<b>5.1 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 2b – 2a .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 3 – 2b – SOTTOATTRAVERSAMENTO SILE 25</b>	
<b>5.3 TUBI PER POSA A SPINTA.....</b>	<b>27</b>
3.1 SPECIFICHE TECNICHE TUBI PER POSA A SPINTA IN GRES .....	28
3.2 ABACO RIEPILOGATIVO CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	29
<b>6 CONCLUSIONI .....</b>	<b>30</b>
<b>4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>33</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations” .....	9
Figura 2.1-B : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations” .....	9
Figura 2.1-C : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations” .....	10
Figura 3.1-A : Prova permeabilità Lefranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata .....	10
Figura 3.2-A : Prova permeabilità laboratorio carico variabile – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata .....	11
Figura 3.2-B : Prova permeabilità Lefranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata .....	12
Figura 4-A : Estratto <i>Criteri applicazione e selezione frese – Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”</i> .....	14
<b>Figura 4-B : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”</b> .....	15
<b>Figura 4.1-A : Figure estratte da: “Cerchar abrasivity index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones - Ahmet Hamdi Deliorman”</b> .....	16
<b>Figura 4.1-B : Estratta da “Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004”</b> .....	17
<b>Figura 5-A : Estratto da French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations”</b> .....	19
<b>Figura 5-B : Estratta da “Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Underground Space Technology, 2006, Elsevier</b> .....	20
<b>Figura 5-C : Estratto da seminario su “Trencheless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016”</b> .....	21

<b>Figura 5-D : Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016" .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5-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.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5.1-A : Estratto paragrafo 6.2.5.3 pag. 129 - French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations".....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5.2-A : Estratto paragrafo 6.2.5.3 pag. 129 - French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations".....</b>	<b>26</b>

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.2-1 - Abaco riepilogativo parametri geotecnici .....	17
Tabella 5.3-1 - Scheda tecnica tubi in gres per posa a spinta .....	28
Tabella 5.3-2 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES .....	28
Tabella 5.3-3 - Scheda tecnica tubi per posa a spinta GRES .....	28
Tabella 5.3-4 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a .....	29
Tabella 5.3-5 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a .....	29
Tabella 6-1 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a .....	31
Tabella 6-2 - ABACO RIEPILOGATIVO MICROTUNNELLING DN800 – TRATTA 2b – 2a .....	32

# RELAZIONE GEOTECNICA – VERIFICA CONDOTTE MICRO-TUNNELLING

## 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 microtunnelling, 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.

Come meglio di seguito evidenziato, al fine di garantire il contenimento dei valori di spinta totale, per la testa di perforazione è 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.

Si evidenzia che relativamente alle condotte DN800, in ragione della potenziale discontinuità nella disponibilità commerciale delle condotte in gres, le stesse sono state dimensionate anche prevedendo l'utilizzo di condotte in C.A.V. CRETE come meglio specificato.

## 2. 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 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”.

## 2.1. 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	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	P <sub>1</sub> (MPa)	c <sub>u</sub> (kPa)	$\phi_u$ (°)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
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 2.1-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 <sub>lub</sub> (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 2.1-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 2.1-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”.

### 3. 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.

#### 3.1 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	Non raggiunta saturazione del foro	-	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	Non raggiunta saturazione del foro	-	200	52

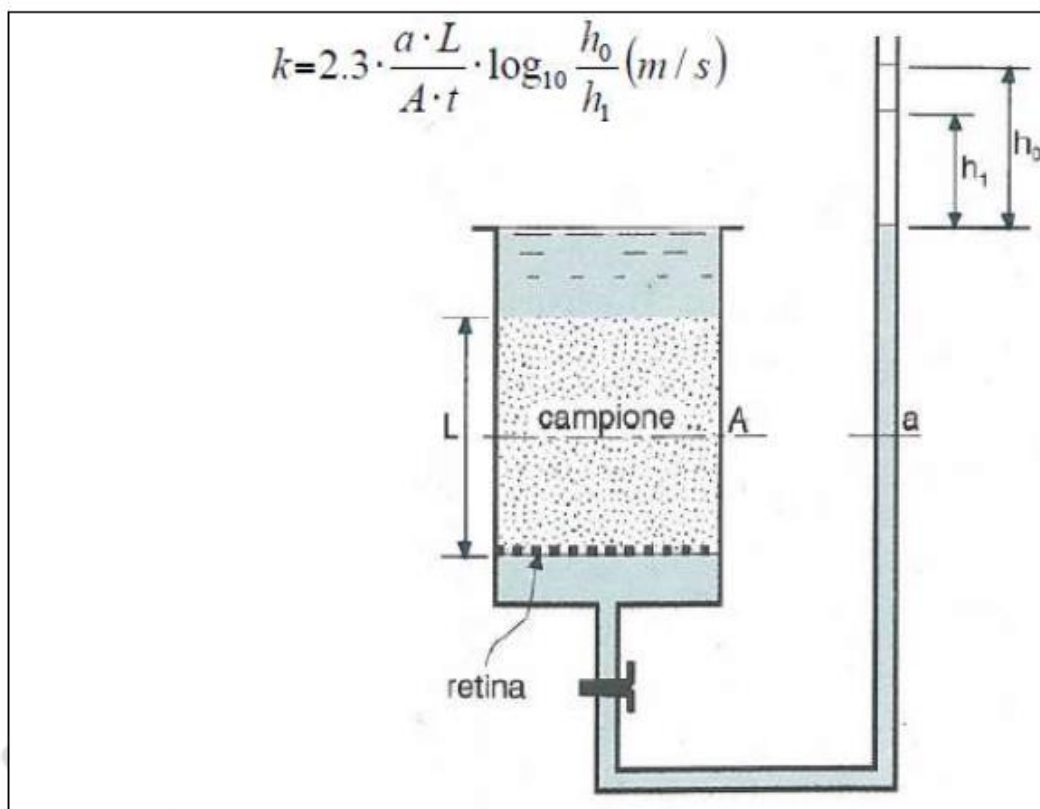
Figura 3.1-A : Prova permeabilità Lefranc – tabella estratta da “Relazione Geologica” allegata

### 3.2 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 3.2-A : 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  $K=A/(C*(T_2-T_1)) * (\ln H_1) / H_2$ : nella formula C corrisponde al coefficiente forma e  $T_1$   $T_2$  l'intervallo di tempo ove si verifica l'abbassamento di livello  $H_1$ - $H_2$ .

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 3.2-B : 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.

#### **4 VALUTAZIONI SUI VALORI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE UCS E SULL'ABRASIVITA'**

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	$\sigma_c$ 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 $\sigma_c$ < 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 $\sigma_c$ > 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 4-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.

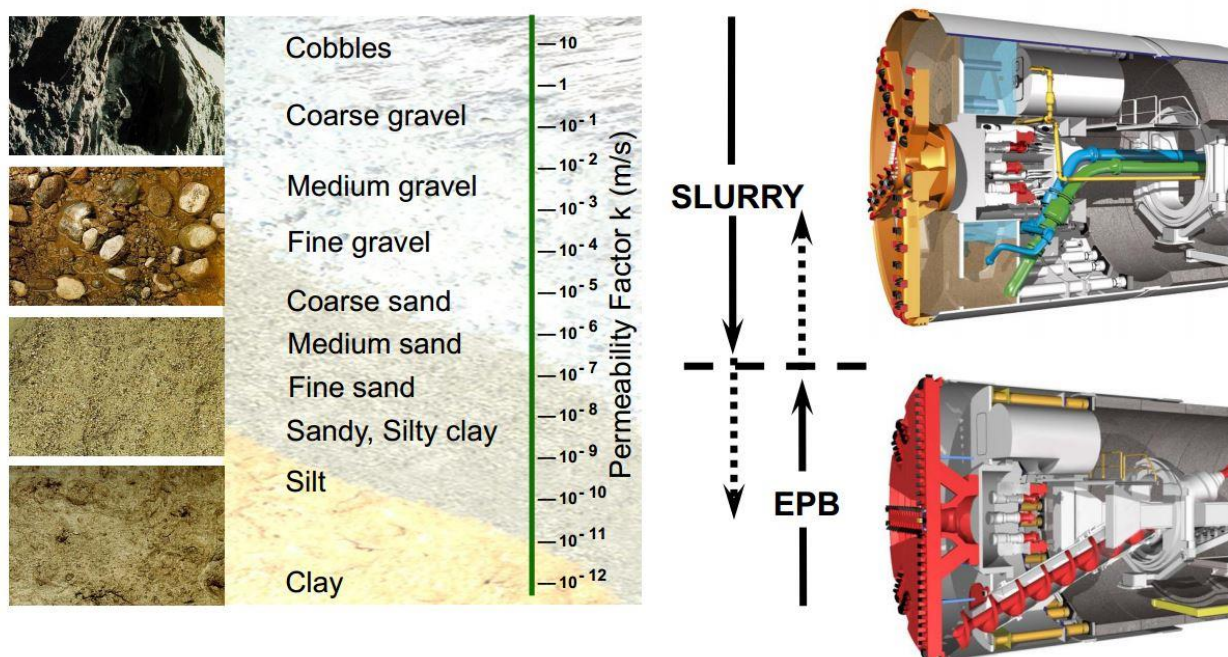


Figura 4-B : Criteri applicazione e selezione frese – Estratto linee guida “DAUB recommendations for the selection of tunneling machines”

### 4.1 VALUTAZIONI SULL’ABRASIVITÀ 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 4.1-A 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.

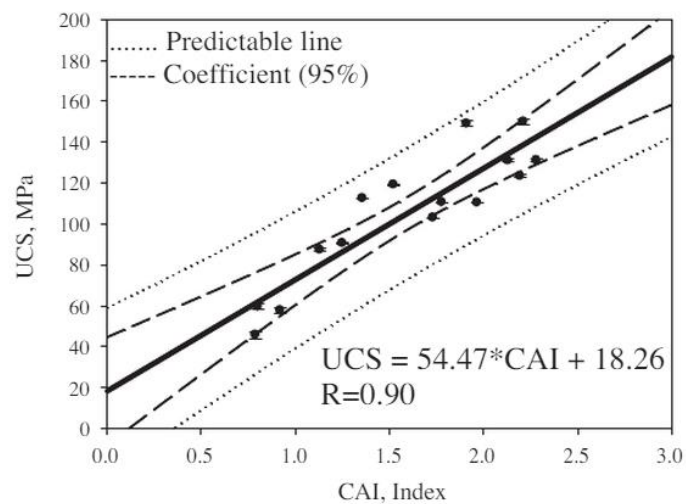


Fig. 4. Scatter and relation graph of UCS versus CAI.

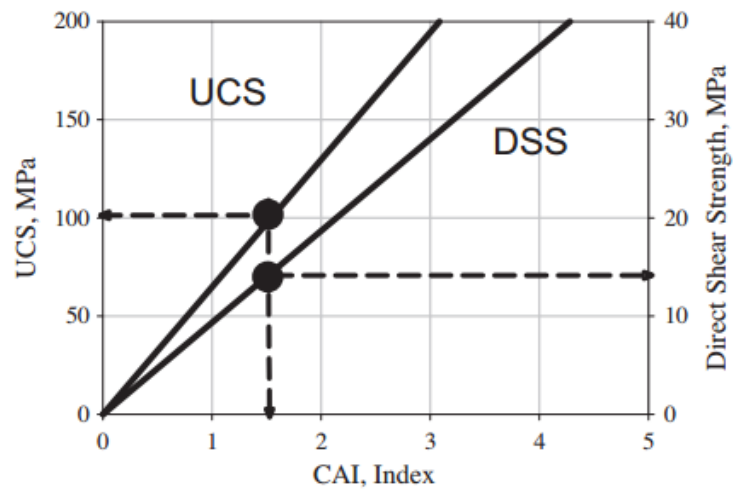


Fig. 8. Converter chart for CAI-UCS-DSS.

**Figura 4.1-A : Figure estratte da: "Cerchar abrasivity index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones - Ahmet Hamdi Deliorman"**

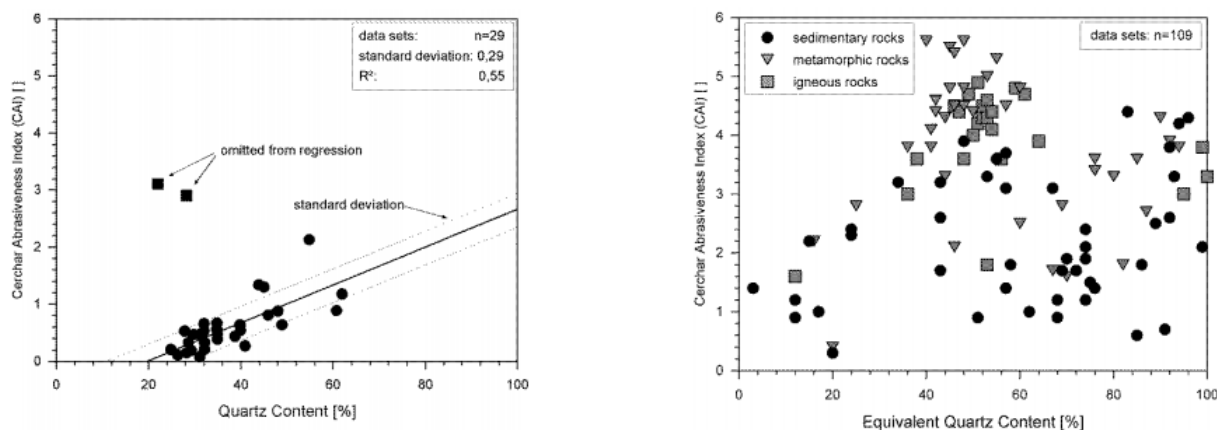


Fig. 4: Cerchar Abrasiveness Index (CAI) plotted against the Equivalent Quartz Content. On the left the results by West [2], on the right the results of the TUM research program.

Figura 4.1-B : Estratta da "Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR Abrasiveness Index (Cai), R. J. Plinninger, H. Kasling, K. Thuro, EUROCK 2004"

## 4.2 SINTESI

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

Tabella 4.2-1 - Abaco riepilogativo parametri geotecnici

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



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

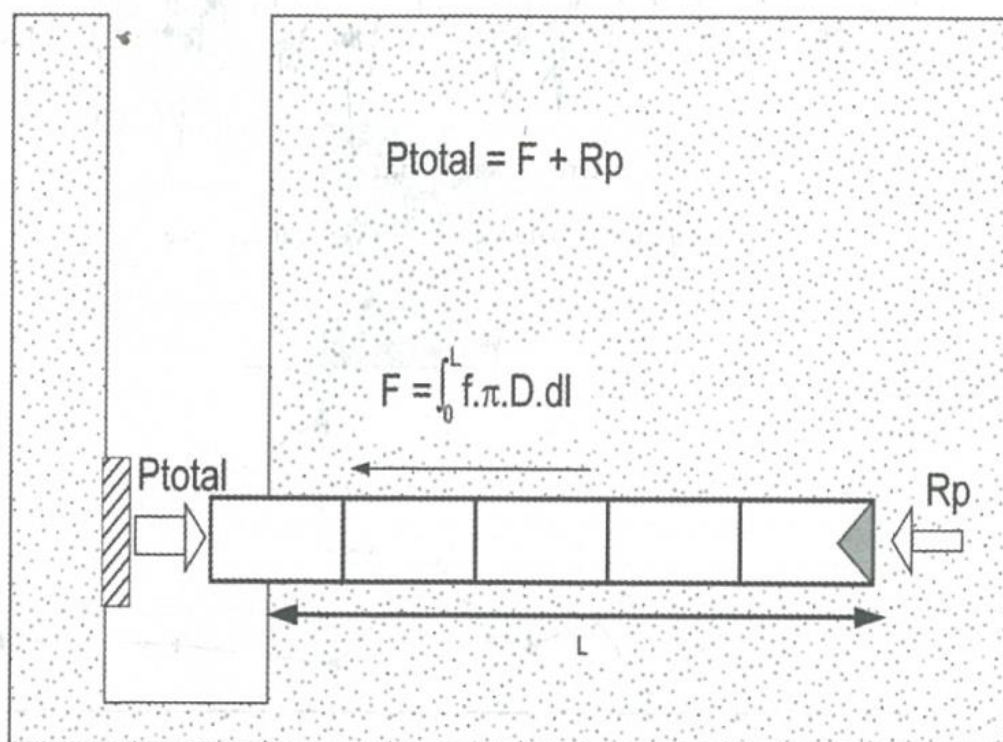
## 5 JACKING FORCE

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

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

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

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



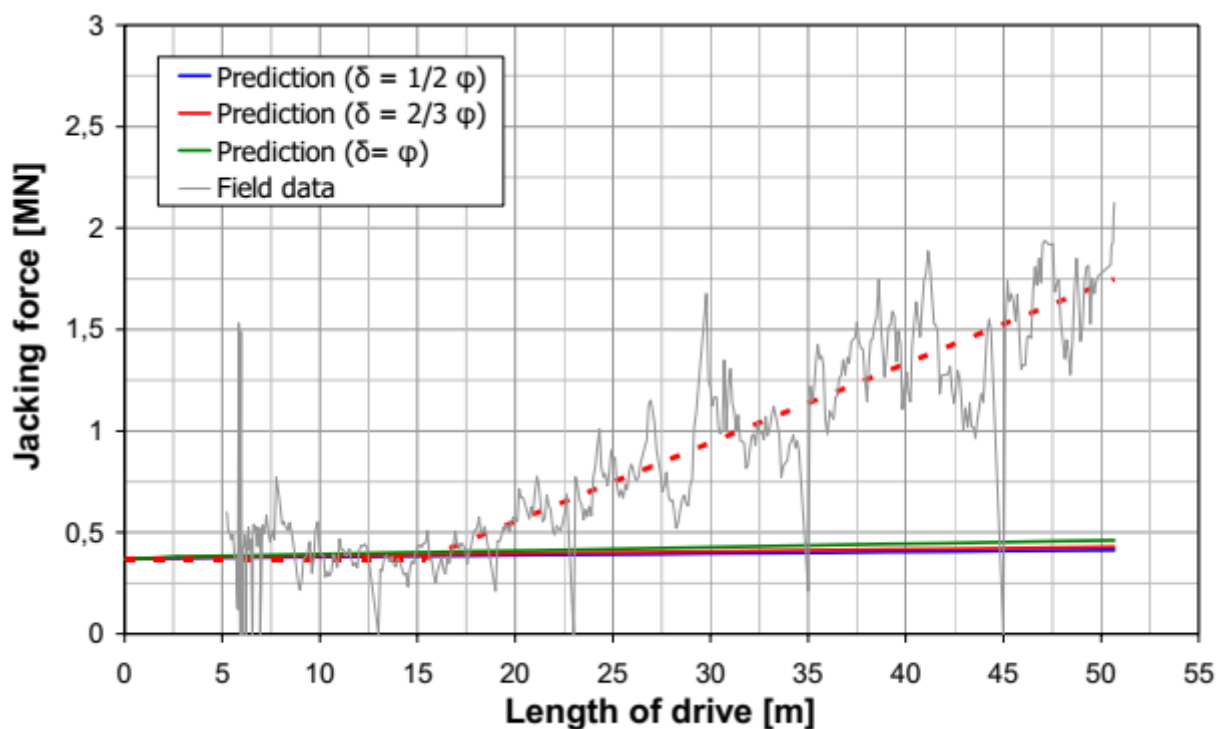
**Figure 3.7. Schematic diagram of jacking stresses**

**Figura 5-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 attrittiva non sono disponibili ad oggi studi affidabili per la determinazione analitica.

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

Si riporta in **Figura 5-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.

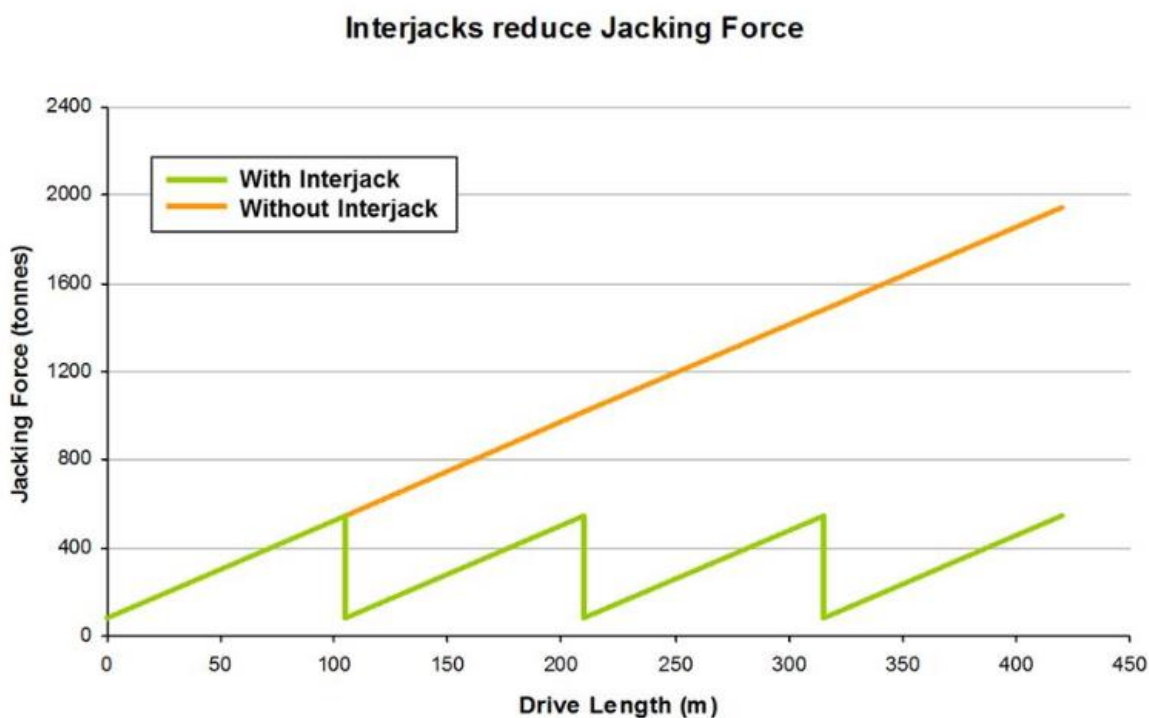


**Figura 5-B :** Estratta da "Analysis of jacking forces during microtunneling in limestone, Barla M., Camusso M., Ajassa S., Tunneling and Underground Space Technology, 2006, Elsevier

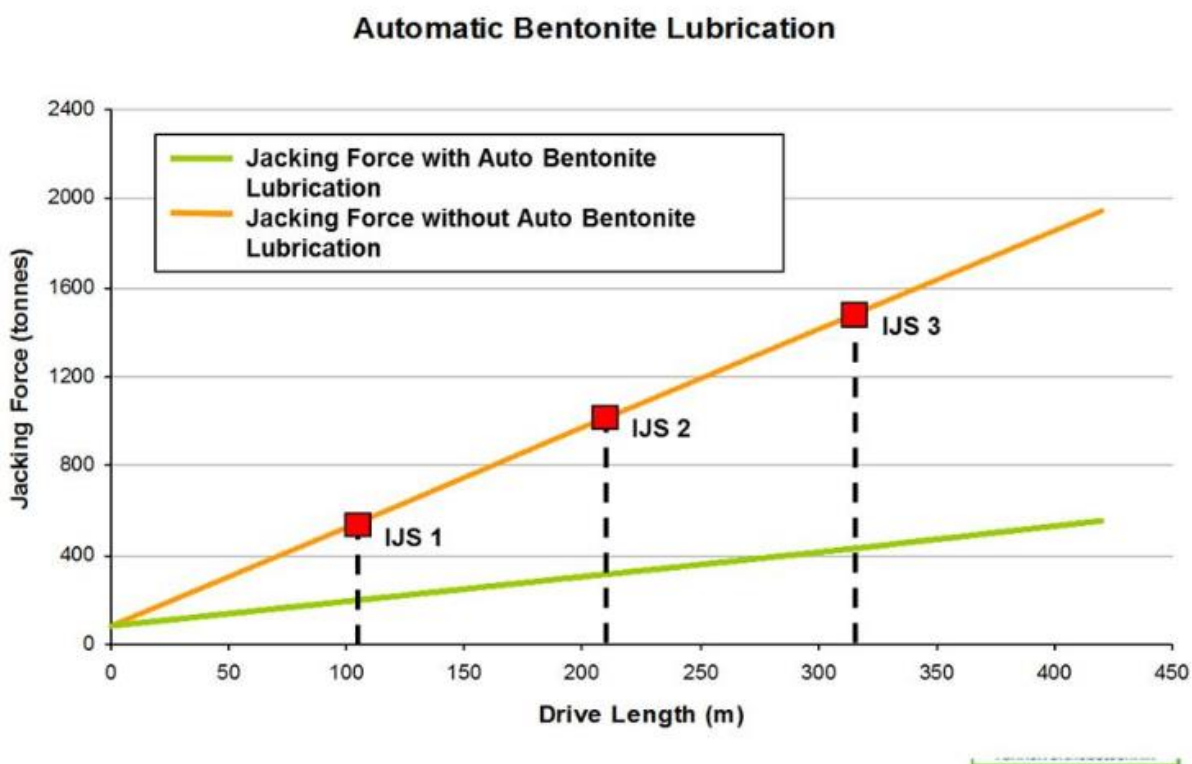
In termini di fattibilità dell'opera rimane quindi inderogabile, prevedere per le perforazioni impegnative, come il caso in oggetto, il ricorso a tecniche quali le Stazioni intermedie e la lubrificazione, in grado di garantire il contenimento dei livelli di spinta totali entro parametri accettabili sia 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 5-C** e **Figura 5-D** che evidenziano l'abbattimento atteso della Jacking force utilizzando le Stazioni intermedie ed una corretta lubrificazione.



**Figura 5-C :** Estratto da seminario su "Trenchless technologies for small diameter tunnels, Lutz zur Linde, Herrenknecht AG, Bergen, 07/06/2016"



**Figura 5-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 5-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/cm<sup>2</sup>.

**Figura 5-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.

## 5.1 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 2.1-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 5.1-A :** 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

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

## 5.2 JACKING FORCE DN800 – TRATTA 3 – 2b – SOTTOATTRAVERSA- MENTO 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 2.1-C;



- $D = 0.975$  [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

- $D = 0.975$  [m], diametro esterno tubazione DN800;
- $L = 140$  [m], assumendo la lunghezza massima di spinta di progetto
- (ipotizzando a favore di sicurezza l'assenza di sottostazioni di spinta intermedie)
- $f_{sup} = 2.40$  [kN/m<sup>2</sup>], 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
$f_{sup}$ (kPa)	2.4 kPa	1 to 2 kPa (*)	0.6 to 0.8 kPa

**Figura 5.2-A :** 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

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

### **5.3 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.

### 3.1 SPECIFICHE TECNICHE TUBI PER POSA A SPINTA IN GRES

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

Tabella 5.3-1 - 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 <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
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 5.3-2 - 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													
DN mm	Dimensioni dei tubi			Estremità fresata e ±2	Bicchieri			Anello intercalare in legno			Lunghezza nominale li±1	Spinta massima ammissibile F2 <sup>(1)</sup> 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

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

Tabella 5.3-3 - 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.

### 3.2 ABACO RIEPILOGATIVO CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

**Tabella 5.3-4 - 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 5.3-5 - 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

## 6 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:
  - 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 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”**.

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 dotate 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, 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 in grado di garantire costantemente le condizioni di fronte di scavo stabile;
  - b. l'utilizzo di STAZIONI INTERMEDIE per il contenimento delle spinte, per le spinte con  $L > 120$  m;
  - c. un corretto OVERCUT, compreso fra 20mm e 40 mm.
6. Relativamente alla fattibilità, si ritiene che l'esecuzione dell'opera in microtunnelling, presenta livelli 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 ai valori della SPINTA MASSIMA ATTESA di progetto, si evidenzia che sono funzione oltre che dell'assetto geotecnico, anche della corretta adozione degli accorgimenti e presidi descritti, per cui si riporta abaco riepilogativo:

**Tabella 6-1 - 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 6-2 - 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

ENKI s.r.l.

Ing. Andrea Mazzetti

## 4 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 FSST, 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. Thuro, 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 sewers”.