



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 1 di 67	<b>Rev.</b> 0

## ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE



### GAS DI MALBORGHETTO

### ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME FELLA PER LA POSA DEI CAVI ELETTRICI E TELE

**SAIPEM SPA**  
Il Progettista  
Dott. Ing. A. PARLATO iscritto all'ordine  
degli ingegneri della Provincia di Avellino al n. 2095  
Tel. 0721.1686481 Fax 0721.1682019  
C.F. e P. IVA 00825790157



0	Emissione	Morgante	Nisii	Parlato	Feb. '21
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 2 di 67	<b>Rev.</b> 0

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b>	<b>5</b>
1.1	Scopo del documento	5
1.2	Inquadramento territoriale del sito di progetto	5
1.3	Abbreviazioni	6
1.4	Elaborati di progetto di riferimento	6
1.5	Sistema di qualità	7
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE FISICHE DELL'AREA</b>	<b>8</b>
2.1	Inquadramento geologico e geomorfologico	8
2.2	Inquadramento Idrogeologico	10
2.3	Caratteristiche idrauliche	10
2.4	Interferenze con le aree PAI	13
2.5	Indagini geognostiche	14
	2.5.1 <i>Indagini geognostiche</i>	14
	2.5.2 <i>Metodologia di indagine per i sondaggi geognostici e per le prove in situ</i>	15
	2.5.3 <i>Prove di laboratorio geotecnico</i>	16
	2.5.4 <i>Prospezioni sismiche Masw</i>	17
2.6	Caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni lungo l'attraversamento	18
	2.6.1 <i>Terrazzo in sponda destra (Sondaggi BH12, P1, S1)</i>	18
	2.6.2 <i>Alveo del F. Fella (Sondaggi S2, P2. Masw 04)</i>	18
	2.6.3 <i>Terrazzo in sinistra idrografica Area della Stazione Elettrica di Smistamento e della Sottostazione di Smistamento (. Sondaggi P8 e S3 e Masw 03)</i>	19
	2.6.4 <i>Sintesi sulla caratteristiche geotecniche dei terreni</i>	19
2.7	Soggiacenza della falda e permeabilità dei terreni di trivellazione	20
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DI PROGETTO E METODOLOGIE COSTRUTTIVE DISPONIBILI</b>	<b>22</b>
3.1	Sintesi sulle caratteristiche fisiche dell'attraversamento	22
3.2	Metodologie costruttive e configurazione di posa dei cavi elettrici	22
3.3	Configurazione di posa dei cavi	23

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 3 di 67	<b>Rev.</b> 0

<b>4</b>	<b>FATTIBILITÀ TECNICA DELL'ATTRAVERSAMENTO CON "SCAVI A CIELO APERTO"</b>	<b>24</b>
4.1	Criteri di progetto per la metodologia di varo del fascio di cavi nella trincea allagata	24
4.2	Metodologia costruttiva e sequenze operative per il varo del fascio di cavi	25
4.3	Selezione del periodo di costruzione	27
4.4	Configurazione geometrica dell'attraversamento	27
4.5	Movimento terra per i lavori di attraversamento	28
4.6	Fattibilità tecnica dell'attraversamento con scavi a cielo aperto	30
<b>5</b>	<b>FATTIBILITÀ TECNICA DEL MICROTUNNEL</b>	<b>32</b>
5.1	Configurazione geometrica del microtunnel	32
5.2	Requisiti per il sistema Microtunnel	34
5.3	Configurazione geometrica dei pozzi di trivellazione e metodologie costruttive	35
	5.3.1 <i>Configurazione geometrica dei pozzi</i>	35
	5.3.2 <i>Metodologia costruttiva delle due postazioni di trivellazione</i>	35
	5.3.3 <i>Fasi di costruzione dei pozzi</i>	37
5.4	Potenziati rischi di costruzione per il microtunnel	38
	5.4.1 <i>Difficoltà di avanzamento dovuta alla presenza di trovanti e ciottoli in matrice fine, non cementati.</i>	38
	5.4.2 <i>Perdita dei fanghi di perforazione.</i>	38
5.5	Potenziati rischi di costruzione per i pozzi di trivellazione	39
	5.5.1 <i>Tenuta idraulica dei pozzi</i>	39
	5.5.2 <i>Scavabilità per le tipologie costruttive nelle ghiaie</i>	40
	5.5.3 <i>Continuità strutturale e impermeabilizzazione dei giunti verticali tra i diaframmi/pali</i>	40
	5.5.4 <i>Verticalità del trattamento colonnare in jet-grouting del "tappo" di fondo</i>	41
	5.5.5 <i>Impermeabilizzazione del foro di entrata della fresa nel pozzo di ricezione.</i>	41
<b>6</b>	<b>SINTESI E CONCLUSIONI</b>	<b>43</b>
6.1	Fattibilità dei metodi costruttivi per l'attraversamento	43
6.2	Caratteristiche dell'attraversamento con "scavi a cielo aperto"	44



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 4 di 67	<b>Rev.</b> 0

**APPENDICE A – Panoramica sulle metodologie costruttive e criteri generali per la fattibilità tecnica per un attraversamento fluviale.**

**APPENDICE B - Stratigrafie dei sondaggi BH12, S1, S2, S3 e S8 e fotografie delle cassette catalogatrici.**

**APPENDICE C - Indagini geognostiche geotecniche propedeutiche alla realizzazione di una nuova rete elettrica MT attraversante il Torrente Fella mediante la tecnica del microtunneling, nell’ambito dell’adeguamento impianto SRG di Malborghetto (UD)” Geotecnica Veneta s.r.l., pratica P20/104. Sondaggi P1, P2 e P3.**

**APPENDICE D – Analisi granulometriche sui campioni prelevati, Sondaggi P1, P2 e P3. Laboratorio geomeccanico Orazi, Novembre 2020.**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 5 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 1 GENERALITA'

### 1.1 Scopo del documento

Nell'ambito del progetto "Adeguamento impianto di compressione gas di Malborghetto" è previsto l'attraversamento del Fiume Fella con cavi elettrici e tele di collegamento tra la sottostazione elettrica utente Snam, ubicata in sponda sinistra idrografica, e l'Impianto di compressione gas Snam, ubicata in sponda destra.

Oggetto del presente documento è l'analisi di fattibilità tecnica dell'attraversamento, la descrizione delle potenziali metodologie costruttive e della metodologia con scavi a cielo aperto, selezionata in alternativa alle metodologie Trenchless a seguito delle criticità evidenziate per l'attraversamento in esame.

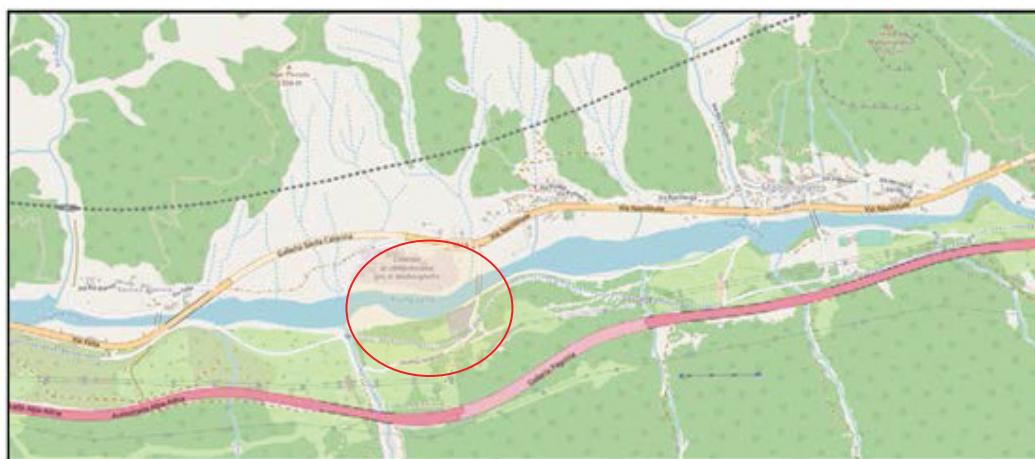
### 1.2 Inquadramento territoriale del sito di progetto

Nella Carta Tecnica Numerica Regionale della Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia, l'area ricade nel foglio 033050 "LAGLÈSIE SAN LEOPOLDO", scala 1:10000.



Altimetricamente le aree di interesse sono ad una quota media di circa 680 m s.l.m.

L'area dell'esistente Impianto di Compressione di Malborghetto è inquadrata nel Foglio Catastale F9, occupa un ampio terrazzo costituito da alluvioni grossolane, in sponda destra idrografica del Fiume Fella. È ubicata nel comune di Malborghetto Valbruna (UD), circa 1,0 km a Ovest del capoluogo, in destra del fiume Fella (Figura 1/A).

In Figura 1/B, sull'immagine Google è stato ubicato l'attraversamento del F. Fella con i cavi elettrici di collegamento tra la sottostazione utente Snam rete gas e l'Impianto Snam.



**Figura: 1/A:** Corografia dell'area di intervento (dalla carta "OpenStreetMap" – riproduzione non in scala)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 6 di 67	<b>Rev.</b> 0



**Figura: 1/B:** Immagine satellitare dell'area di intervento (Google Earth. Riproduzione non in scala (in rosso l'ubicazione dell'attraversamento, in giallo l'area della Stazione elettrica e della sottostazione Utente)



### 1.3 Abbreviazioni

TOC	Tivellazione Orizzontale Controllata, HDD
HDD	Horizontal Directional Drilling, TOC
MT	Microtunnel
OD	Diametro esterno del tubo di rivestimento del MT

### 1.4 Elaborati di progetto di riferimento

Il presente documento fa riferimento ai seguenti elaborati di progetto:

- /1/ 00-LA-E-80403 Mitigazioni per intorbidimento dell'acqua nella costruzione delle opere di difesa idraulica nell'alveo del Fiume Fella
- /2/ Relazione geologica 90-CA-E-94001;
- /3/ Allegato 1 alla relazione geologica: "Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche per la caratterizzazione litostratigrafica e sismica del sottosuolo. Indagini per la caratterizzazione ambientale dei terreni" Geotecnica Veneta, dicembre 2019, P19/075
- /4/ Allegato 2 alla relazione geologica: "Certificati analisi laboratorio geotecnico". Laboratorio Geomeccanico Orazi, febbraio 2020.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 7 di 67	<b>Rev.</b> 0

- /5/ “Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche per la caratterizzazione litostratigrafica e sismica del sottosuolo. Indagini per la caratterizzazione ambientale dei terreni” Geotecnica Veneta, novembre 2020
- /6/ Relazione geotecnica 00-CI-E-10001.
- /7/ “Studio di compatibilità idraulica a supporto del progetto di connessione tra RTN E Nuovo Impianto SRG – Malborghetto (UD). Stazione Elettrica 132 kV di Malborghetto (UD) e Raccordi alla linea 132 kV”. Idrogea , Doc. 4000074510 / 06.08.2019”
- /8/ “Relazione terre e rocce da scavo”, Idrogea, RC1541174B951148.
- /9/ “S.S.E. Snam Rete Gas di Malborghetto (UD) e collegamenti MT Opera 2 - Collegamenti in cavi MT con Centrale Snam Rete Gas. Piano Tecnico Delle Opere. Relazione Tecnico Illustrativa” Doc. RV1541174B968094, Terna rete Italia.
- /10/ “Modello idraulico a fondo mobile del F. Fella a supporto del progetto di connessione tra RTN e nuovo impianto SRG Malborghetto (UD)”, Idrogea RC1541174B2036212
- /11/ “Attraversamento del Fiume Fella per la posa dei cavi elettrici e tele. Planimetria e sezione di attraversamento”; disegno LC-3C-81111; Saipem.
- /12/ “Mitigazioni per intorbidimento del deflusso idrico nell’alveo del fiume fella durante la costruzione; Relazione Saipem LA-E-81403.

Si rimanda a tali elaborati per quanto non espressamente descritto nella presente relazione e per ogni correlato approfondimento.

## 1.5 Sistema di qualità

Le attività relative al presente studio sono sviluppate seguendo quanto stabilito dalle procedure ed istruzioni di lavoro applicabili nell’ambito del sistema di qualità aziendale SAIPEM S.p.A., certificato dal TUV NORD ai sensi UNI EN ISO 9001:2015 (Certificate No: 44 100 16410143-002 – Original approval: 08/11/1994).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 8 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 2 CARATTERISTICHE FISICHE DELL'AREA

### 2.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area in esame ricade nella propaggine nord-orientale delle Alpi Cerniche Meridionali, nota anche come Catena Sudalpina Orientale (CSO). Si tratta di un sistema a pieghe e sovrascorrimenti SE-SSE-vergenti, in evoluzione dall'Oligocene superiore ad oggi e rappresenta una catena retrovergente rispetto a quella Alpina.



*Figura 2.1/A – Foto panoramica dell'area di attraversamento (vista dal ponente verso valle idrografica). A destra la stazione di compressione Snam*

Per l'inquadramento geologico dell'area si rimanda al Doc. /7/ "Relazione geologica 90-CA-E-94001.

Sono di seguito descritte in dettaglio le formazioni rocciose della successione permomesozoica direttamente interessate dal progetto:

#### **Calcarea a Bellerophon (Permiano superiore)**



La formazione è composta dalle due unità: inferiore (dolomie e calcari in strati di 20-50 cm, alternati a lenti di gesso) e superiore (calcari dolomitici e dolomie leggermente bituminose in strati di 15-80 cm, con sottili intercalazioni di marne nerastre).

Lo spessore della formazione è valutato attorno a 150-200 m. Inferiormente essa poggia sulle Arenarie della Val Gardena, mentre superiormente passa alla Formazione di Werfen, con limite molto graduale.

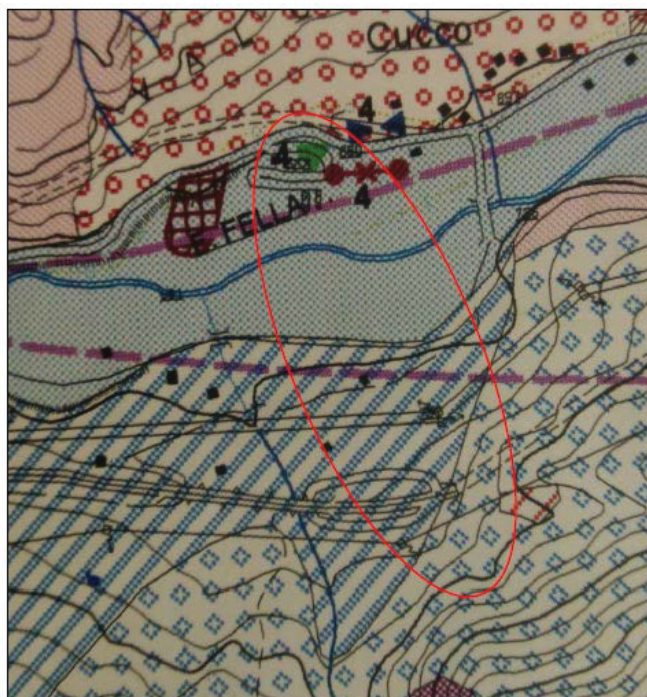
#### **Dolomia dello Schlern (Ladinico superiore-Carnico)**

Essa è costituita in prevalenza da dolomie bianche o grigio chiare, a stratificazione per lo più indistinta, con subordinati calcari grigi ben stratificati.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 9 di 67	<b>Rev.</b> 0



Lo spessore della formazione è nell'ordine dei 1000-1200 m. Nell'area di interesse essa affiora in prossimità del fondovalle, in contatto tettonico con i Calcari a Bellerophon. Negli affioramenti osservati presso il ponte sul fiume Fella in località Ombrico, essa si presenta intensamente fratturata. Il substrato roccioso si presenta ricoperto da depositi di versante, di conoide e/o alluvionali/fluviali recenti di fondovalle.



*Figura 2.1/B - Estratto della Carta Geologica del Comune di Malborghetto in rosso l'area d'interesse. Legenda: rosa: Dolomia dello Schlern; barrato marrone: Calcari a Bellerophon; viola: F.ne di Werfen; barrato blu: aree di conoide; rombi: depositi glaciali; azzurro: depositi fluviali.*

In particolare, partendo dall'alto verso il basso topografico, si possono distinguere le seguenti unità, come descritte nella Carta Geologica del P.R.G. del Comune di Malborghetto-Valbruna (Figura 2.1/B):

- Depositi Morenici o Fluvioglaciali: ubicati lungo il versante Sud della Val Canale sono prevalentemente costituiti da ghiaie e ciottoli in matrice limoso sabbiosa con frequente presenza di trovanti, anche di grandi dimensioni;
- Depositi di Conoide afferenti al Rio Granuda Grande: ubicati marginalmente rispetto all'area d'interesse sono prevalentemente costituiti da sabbie e ghiaie con ciottoli e trovanti anche di grandi dimensioni. La distribuzione delle classi granulometriche varia a seconda della loro posizione, con materiali più grossolani all'apice del conoide che vanno via via diminuendo verso il basso e lateralmente;
- Depositi alluvionali attuali e recenti afferenti al sistema deposizionale del Fiume Fella: ubicati lungo l'alveo del Fiume Fella, sono prevalentemente costituiti da limi e sabbie con ghiaie e ciottoli.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 10 di 67	<b>Rev.</b> 0

- I depositi quaternari hanno spessore variabile e, a causa della loro genesi, granulometria variabile passante da termini più fini quali sabbie e limi a termini più grossolani costituiti da ghiaie, ciottoli e trovanti anche di dimensioni notevoli.

## 2.2 Inquadramento Idrogeologico

Il Fiume Fella, che scorre nel fondovalle della Val Canale in direzione circa EO, presenta un bacino imbrifero di circa 700 km<sup>2</sup>, è alimentato da numerosi corsi d'acqua tributari ed è costituito da distinti settori vallivi, che discendono da rilievi aventi differenze significative nell'assetto morfologico. Lungo tutto il perimetro sommitale del bacino, in linea generale, i tipi litologici affioranti sono ascrivibili a formazioni essenzialmente calcareo-dolomitiche di età permo-triassica, localmente coperte dai depositi detritici quaternari. Lungo i versanti e nei fondovalle le formazioni litoidi sono coperte dai sedimenti quaternari, consistenti essenzialmente in depositi alluvionali e di conoide, depositi fluvio-glaciali, morenici e detritici di versante, affioranti anche su aree di considerevole estensione.

I sedimenti alluvionali delle incisioni prevalenti sono litologicamente costituiti da ciottoli e ghiaie in matrice sabbioso-limosa; allo sbocco delle valli laterali si estendono conoidi detritiche, distinguibili dalle alluvioni soprattutto per i caratteri morfologici del deposito.

Nella porzione inferiore dei versanti afferenti alle incisioni, vaste aree presentano coperture moreniche e falde detritiche; questi depositi sono tra loro frammisti e pertanto costituiti da clasti con diverso grado di arrotondamento, tipico per ciascuno. I depositi sono spesso stabilizzati e localmente appaiono anche debolmente cementati. In generale, i versanti a copertura incoerente risultano permeabili.

A valle della confluenza del torrente Saisera, l'alveo del fiume è sostanzialmente piatto, abbastanza esteso, ed è costituito da alluvioni ghiaiose con matrice sabbioso-limosa. Solo in corrispondenza dell'abitato di Malborghetto l'alveo presenta caratteristiche morfometriche connesse ad un'elevata energia idraulica, con forte trasporto solido e, localmente, rilevante attività erosiva. Il tutto è oggi in gran parte regolato da scogliere, traverse e opere di protezione spondale.



L'apporto detritico fornito dal bacino montano è elevato, di conseguenza il Fella, che ha un regime delle portate di tipo torrentizio, è caratterizzato da greto costituito in prevalenza da blocchi, ghiaie e ciottoli medio-piccoli, e una morfologia a canali intrecciati, con isole fluviali e un indice di intrecciamento elevato. La composizione litologica e la granulometria dei depositi risultano quindi eterogenee, tuttavia trattandosi di materiali generalmente incoerenti, la permeabilità risulta buona.

I deflussi idrici, qualora le condizioni stratigrafiche e strutturali siano favorevoli, avvengono all'interno delle discontinuità del substrato, compatto ma estremamente fragile, e considerata l'elevata quantità di precipitazioni medie annue che interessa il settore prealpino orientale.

## 2.3 Caratteristiche idrauliche

L'area è stata oggetto dei due studi idraulici:

- /7/ "Studio di compatibilità idraulica a supporto del progetto di connessione tra RTN E Nuovo Impianto SRG – Malborghetto (UD). Stazione Elettrica 132 kV di

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli		<b>SPC. LA-E-80406</b>
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 11 di 67	<b>Rev.</b> 0

Malborghetto (UD) e Raccordi alla linea 132 kV". Terna, Doc. 4000074510 / 06.08.2019;

/10/ "Modello idraulico a fondo mobile del F. Fella a supporto del progetto di connessione tra RTN e nuovo impianto SRG Malborghetto (UD)", Terna RC1541174B2036212.

Le simulazioni di moto stazionario a fondo mobile (rif. Doc./10/) hanno permesso di determinare la profondità massima dell'attività erosiva in condizione di piena duecentennale in corrispondenza dell'attraversamento.

Con riferimento alla figura 2.3/A, nel modello Hec Ras la sezione di attraversamento corrisponde alla sezione 108.

Con riferimento alla Figura 2.3/B, nel modello di trasporto la sezione di attraversamento corrisponde alla sezione 7. In corrispondenza di tale sezione la profondità delle erosioni è stata calcolata in 0 cm in corrispondenza della sponda sinistra idrografica e di circa 2 metri in corrispondenza della sponda destra idrografica (cfr. Figura 2.3/C).

Come suggerito dallo stesso studio, per risultati dei modelli è da considerare un adeguato franco di sicurezza, legato non solo all'incertezza dei modelli, ma anche alla non precisa conoscenza di quella che può essere localmente la granulometria alle profondità raggiunte dall'erosione.

Cautelativamente, il fascio di cavi verrà posato lungo tutto l'attraversamento con la copertura minima di 5 metri dalle quote minime di fondo alveo, superiore ai valori delle erosioni di fondo alveo stimate con lo studio idraulico.

Si rimanda ai due documenti sopra citati per un approfondimento dei temi trattati.

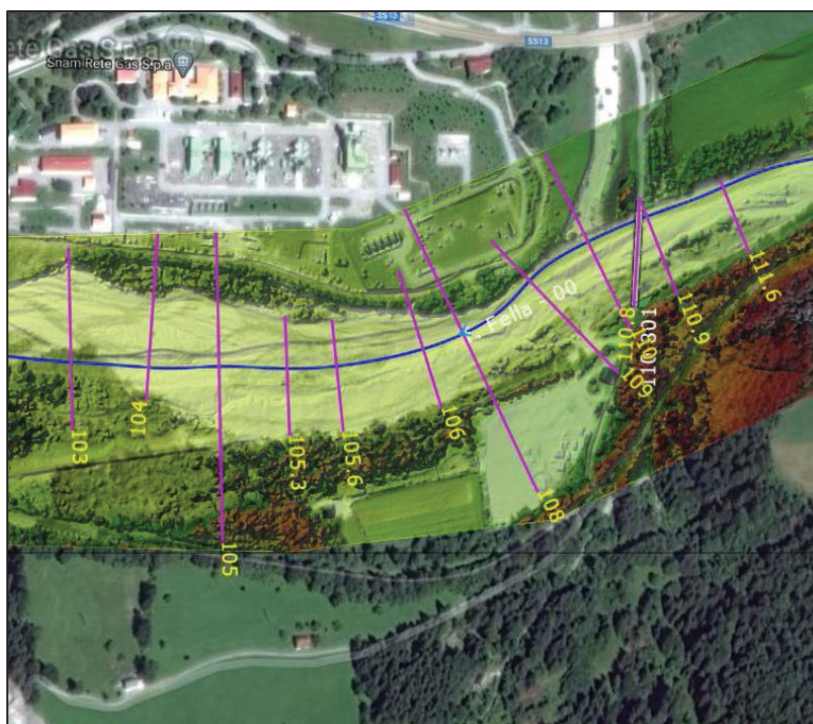


Figura 2.3/A – Schematizzazione sezioni in Hec Ras (estratto dal Doc./10/, Figura 30)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 12 di 67	<b>Rev.</b> 0

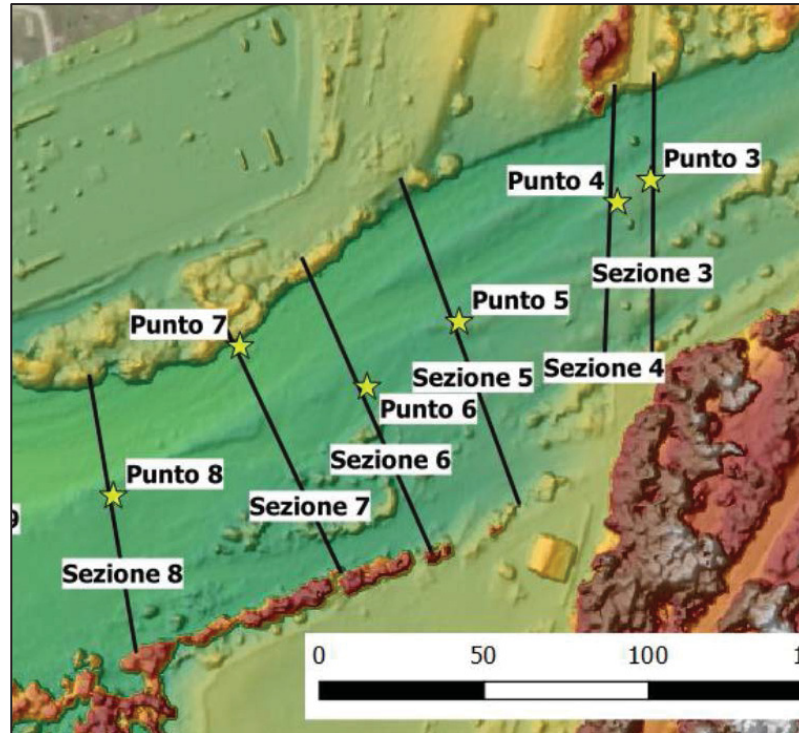


Figura 2.3/B - Punti e sezioni in cui sono stati confrontati i risultati dei modelli con le diverse formule di trasporto (estratto dal Doc./10/, Figura 53)

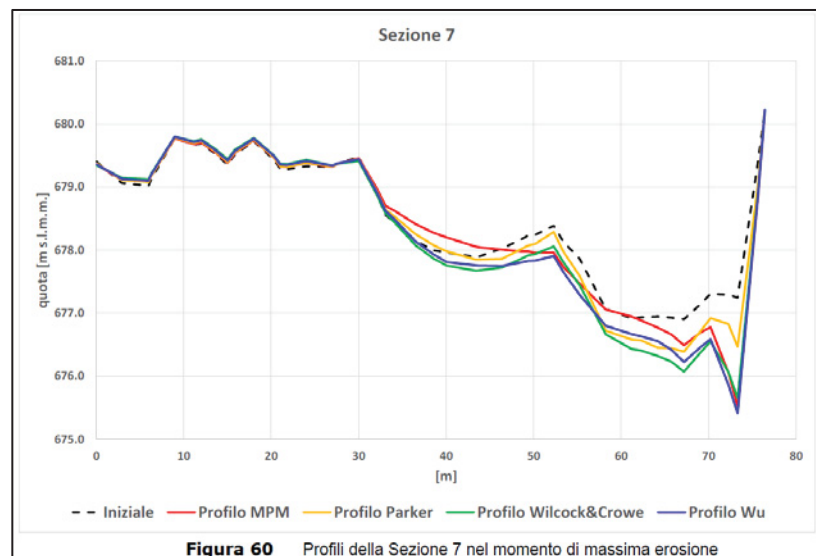


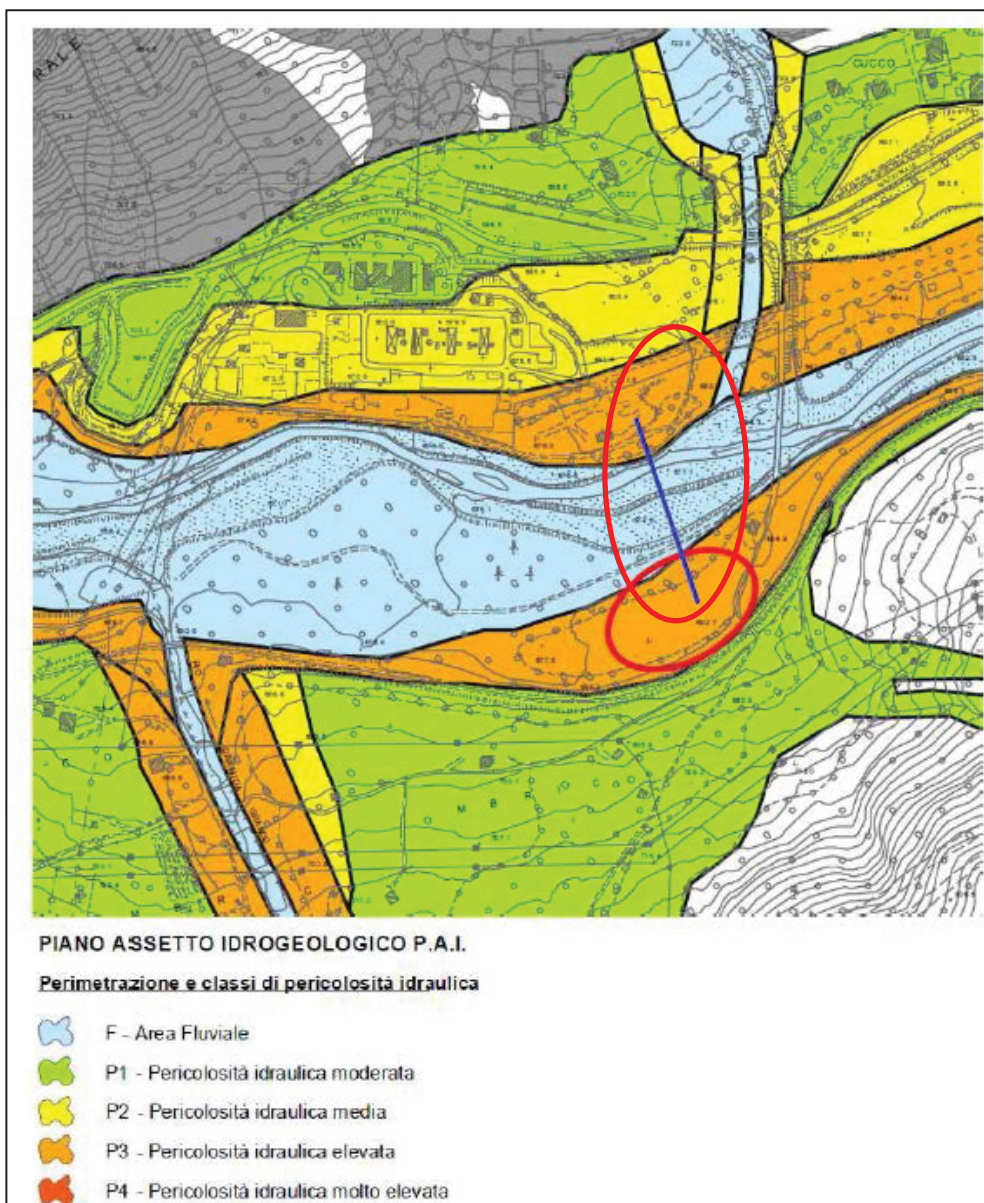


Figura 3.2/C – Profili di massima erosione nella sezione 7 (estratto dal Doc. /10/, Figura 60)



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 13 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 2.4 Interferenze con le aree PAI

Il tronco fluviale interessato dall'intervento provvisorio è oggetto di specifica identificazione delle condizioni di pericolosità idraulica nel quadro del "Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del fiume Fella".



*Figura 2.4/A – Delimitazione aree di pericolosità idraulica (PAI Fella) e ubicazione dell'attraversamento (estratto dalla tavola 2 – carta della pericolosità idraulica – Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Fella)*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 14 di 67	<b>Rev.</b> 0

La relativa perimetrazione per classi di pericolosità è rappresentata nella tavola 2.4/A estratta dalla specifica cartografia redatta dalla Autorità di Bacino competente.

## 2.5 Indagini geognostiche

### 2.5.1 Indagini geognostiche

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni in corrispondenza dell'attraversamento sono state utilizzate le indagini geognostiche eseguite in più fasi, disponibili nell'area e più prossime all'attraversamento, consistenti in:

#### Sondaggi a carotaggio

8 sondaggi a carotaggio eseguiti dalla geotecnica veneta srl (nel corso dei quali sono state effettuate prove SPT e prove di permeabilità in situ). L'ubicazione dei sondaggi è mostrata in Figura 2.5/A.

I sondaggi S1, S2, S3 e S8 (cfr. Doc./5/) sono stati eseguiti nel settembre 2019. Gli stralci delle colonne stratigrafiche e la documentazione fotografica delle cassette sono state raccolte e riprodotte in Appendice B.

Il sondaggio BH12 (cfr. Doc./3/) è stato eseguito nel Dicembre 2019. Gli stralci della colonna stratigrafica e la documentazione fotografica delle cassette sono mostrate in Appendice B.



I sondaggi P1, P2 e P3 sono stati eseguiti in asse attraversamento nel Novembre 2020. La relativa documentazione è mostrata in Appendice C "Indagini geognostiche geotecniche propedeutiche alla realizzazione di una nuova rete elettrica MT attraversante il Torrente Fella, nell'ambito dell'adeguamento impianto SRG di Malborghetto (UD)" Geotecnica Veneta s.r.l., pratica P20/104".

#### Prove di permeabilità in situ

Nel corso dei sondaggi P2 e P3 sono state effettuate le prove di permeabilità a carico variabile, tabellati in Appendice C.

#### Prove Masw

Sono state prese in considerazione 2 prove Masw, la cui ubicazione è mostrata in Figura 2.5/C.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 15 di 67	<b>Rev.</b> 0

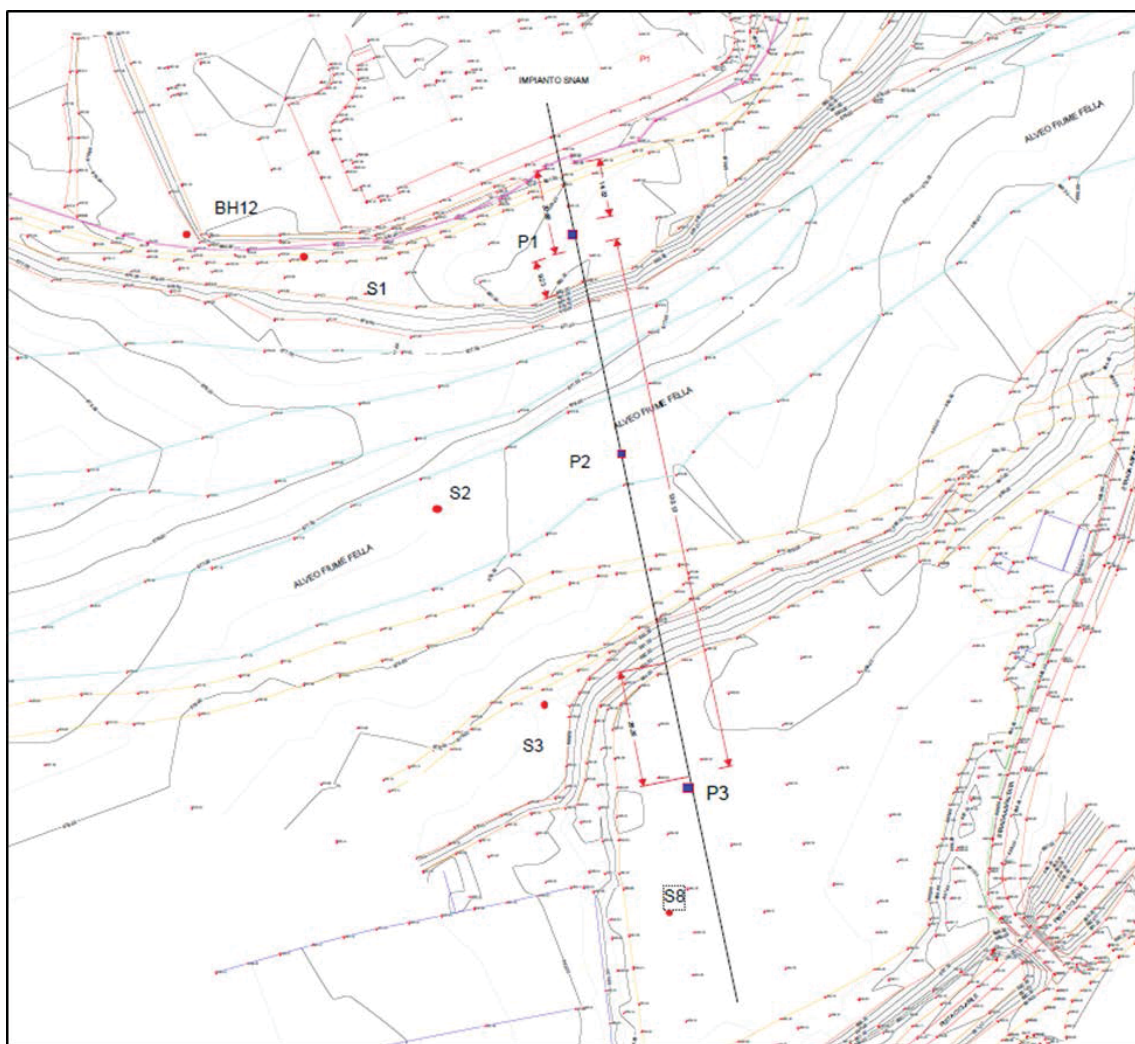




Fig. 2.5/A – Planimetria con ubicazione dell’attraversamento e dei sondaggi a carotaggio

### 2.5.2 Metodologia di indagine per i sondaggi geognostici e per le prove in situ

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti a rotazione con carotaggio integrale a secco del terreno, secondo le modalità previste dalle “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” AGI (giugno 1977), con percentuali di recupero sempre superiori all’ 85%.

Per le operazioni di sondaggio è stata adoperata una perforatrice a testa idraulica autocarrata del tipo PUNTEL PX 600, la perforazione è stata eseguita a secco senza fluidi di perforazione con carotieri semplici del diametro  $\varphi$  101 ÷ 131 mm, azionati ad aste e sempre seguita dal rivestimento provvisorio del foro con diametro decrescente da  $\varphi$  152 mm a 127 mm infissi mediante l’uso di fluido in circolazione rappresentato da acqua pulita.

La stabilità del fondo foro è stata assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione mantenendo il battente di flusso in colonna sempre prossimo a bocca foro

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 16 di 67	<b>Rev.</b> 0

mediante rabbocchi progressivi specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste.

Le stratigrafie dei sondaggi sono state classificate secondo le (UNI EN ISO 14688-1).

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in PVC munite di scomparti divisori e di coperchio, le singole cassette sono state fotografate in formato digitale al termine del loro completamento. Al bordo della cassetta è stata posta la carta dei colori di riferimento Kodak (color separation guides).

Le prove di resistenza in foro Standard Penetration Test (SPT) eseguite sono state condotte misurando la resistenza alla penetrazione di un campionatore a pareti grosse infisso a percussione secondo le modalità contenute nella normativa ASTM n. D1586/68: "Standard Penetration Test and Split – Barrel sampling of Soil", e compresa nella "Raccomandazione" ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1976).



La determinazione del coefficiente di permeabilità, che presenta peraltro sempre difficoltà ed incertezze, salvo nei casi di terreni omogenei ed isotropi con condizioni al contorno perfettamente note, è stata condotta in corrispondenza dei terreni sciolti mediante l'esecuzione di prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile, alle cui quote sono stati prelevati anche campioni rimaneggiati per la determinazione in laboratorio delle rispettive tessiture granulometriche. Le prove Lefranc sono state effettuate secondo le modalità previste dalle Raccomandazioni AGI (1977), dopo una accurata pulitura del fondo foro alla quota di prova ed al sollevamento delle tubazioni di rivestimento di un'altezza nota al fine della formazione della tasca drenante, con successivo riempimento con acqua pulita del foro per un'altezza nota e misura della velocità di abbassamento del livello (prova in abbassamento).

### 2.5.3 Prove di laboratorio geotecnico

Nel corso della perforazione dei sondaggi P1, P2 e P3 sono stati prelevati campioni disturbati, sui quali sono state effettuate le analisi granulometriche (laboratorio geomeccanico Orazi). Le curve granulometriche sono descritte in Appendice D "Analisi granulometriche sui campioni prelevati, Sondaggi P1, P2 e P3. Laboratorio geomeccanico Orazi, Novembre 2020" al quale si rimanda.

Per ogni sondaggio sono stati prelevati i campioni alle profondità di 3, 5, 8 e 10 metri circa. La sottostante tabella 2.5/B mostra la tabella riassuntiva delle analisi granulometriche.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 17 di 67	<b>Rev.</b> 0

CAMPIONE		P1 1 3,0/3,5m	P1 2 4,7/5,2m	P1 3 7,7/8,3m	P1 4 9,7/10,2m
Frazione ghiaiosa	%	56,2	44,4	41,7	49,5
Frazione sabbiosa	%	27,7	37,1	29,5	36,2
Frazione fine	%	16,1	18,5	28,8	14,3

CAMPIONE		P2 1 2,7/3,2m	P2 2 4,5/5,0m	P2 3 6,6/7,1m	P2 4 9,5/10,0m
Frazione ghiaiosa	%	25,6	35,5	41,0	53,2
Frazione sabbiosa	%	29,9	49,1	41,7	38,8
Frazione fine	%	44,5	15,4	17,3	8,0

CAMPIONE		P3 1 2,6/3,1m	P3 2 6,7/7,1m	P3 3 7,5/8,0m	P3 4 9,5/10,0m
Frazione ghiaiosa	%	31,6	43,5	18,8	23,6
Frazione sabbiosa	%	55,8	37,6	55,7	42,0
Frazione fine	%	12,6	18,9	25,5	34,4

*Tabella 2.5/B – Tabella riassuntiva delle analisi granulometriche dei campioni prelevati con i sondaggi P1, P2 e P3.*

In sponda destra (sondaggio S1) i terreni hanno la frazione ghiaiosa attorno al 50% per tutta la profondità indagata.

Nell'alveo di magra (sondaggio S2), la frazione ghiaiosa ha valori che aumentano con la profondità, dal 25% al 53%.

Granulometrie più fini si riscontrano nel terrazzo in sponda sinistra (sondaggio P3).

#### 2.5.4 Prospezioni sismiche Masw

La campagna di prospezione è consistita nell'esecuzione di 2 profili sismici con metodologia MASW rispettivamente denominati MASW3 e MASW4, eseguiti nel settembre 2019. La loro ubicazione è mostrata in Figura 2.5/C. Per i dettagli delle prove di rimanda al Doc. /10/. La categoria di sottosuolo, definita secondo il D.M. 17.01.2018, ottenuta sulla base delle risultanze delle indagini MASW eseguite, è la categoria B "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 18 di 67	<b>Rev.</b> 0



Figura 2.5/C - Ubicazione delle indagini sismiche eseguite (estratto da Doc./10/)

## 2.6 Caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni lungo l'attraversamento

Le indagini eseguite hanno consentito la caratterizzazione dei terreni interessati dalla costruzione dell'attraversamento.

### 2.6.1 Terrazzo in sponda destra (Sondaggi BH12, P1, S1)



Livelli di Ghiaia grossa calcarea sub-arrotondata con ciottoli fino ad un diametro di 15 cm in matrice di sabbia alternati a strati di ghiaia medio e medio fine con ciottoli fino alla profondità indagata di 20 metri.

Sia il sondaggio P1 che il sondaggio S1, hanno intercettato un blocco di calcare grigio di spessore 0.50 m alla profondità di circa 4.5 m dal p.c. Clasti grossolani e trovanti sono intercettati a più profondità dal sondaggio S1. Si evidenzia, quindi, la possibilità di rinvenire inclusi calcarei di dimensioni metriche.

Sabbie ghiaiose si rinvencono alla profondità di fondo foro di 20 m.

### 2.6.2 Alveo del F. Fella (Sondaggi S2, P2. Masw 04)

L'alveo è stato indagato con sondaggi (S2, P2) e un'indagine sismica (MASW04) che ha interessato l'alveo.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 19 di 67	<b>Rev.</b> 0

Il sondaggio S2, prossimo all'alveo, presenta una successione fluviale ghiaioso-sabbiosa fino a 15 m, per passare a sedimenti limoso-sabbioso-ghiaiosi, interpretabili come depositi di trasporto in massa. Il sondaggio evidenzia la presenza fino a circa 2 m di profondità di ghiaia medio grossa con ciottoli di dimensione massime di 20 cm. Da 2 m a 12 m circa sono presenti ghiaie fine e media in abbondante matrice sabbiosa. A profondità da 12 a 14 metri si rinviene limo sabbioso con ghiaia, soprastante lo strato di fondo foro di ghiaia fine e media.

L'indagine sismica MASW04, indica per i terreni investigati una categoria di suolo B.

#### 2.6.3 *Terrazzo in sinistra idrografica Area della Stazione Elettrica di Smistamento e della Sottostazione di Smistamento (. Sondaggi P8 e S3 e Masw 03)*

Per tutta la profondità investigata fino a 20 metri, i sondaggi S3 e P3 hanno intercettato alternanze di limi sabbioso argillosi ghiaiosi e ghiaie fini e medie. Trovanti sono presenti negli strati più superficiali.

S3, perforato in prossimità del terrazzo in sponda sinistra, è costituito, a partire da 8 m, da una sequenza limoso sabbiosa-ghiaiosa simile a quella osservata in ambiente di versante.

#### 2.6.4 *Sintesi sulla caratteristiche geotecniche dei terreni*

L'analisi delle stratigrafie ottenute ha evidenziato la presenza di terreni molto eterogenei lungo il profilo dell'attraversamento, costituiti da una matrice prevalente di sabbie e limi, in cui si trovano inglobati ghiaie, ciottoli e trovanti anche di grosse dimensioni.



Sul terrazzo in destra idrografica le stratigrafie evidenziano strati interessati dal trasporto di massa fluviale con ghiaie grossolane che inglobano clasti grossolani e trovanti, che sono stati intercettati a più profondità. Si evidenzia quindi la possibilità di rinvenire inclusi calcarei di dimensioni metriche.

L'alveo di magra presenta una successione fluviale ghiaioso-sabbiosa fino a 15 m, per passare a sedimenti limoso-sabbioso-ghiaiosi, interpretabili come depositi di trasporto di massa.

Il terrazzo in sponda sinistra presenta una successione di alternanze di limi sabbioso argillosi ghiaiosi e ghiaie fini e medie, simile a quella osservata in ambiente di versante.

Lungo le verticali di sondaggio sono state eseguite n. 5 prove SPT a 1.5, 3.0, 4.5, 9.0 e 12.0 m da p.c. L'analisi dei dati ha evidenziato caratteristiche del terreno da mediocri a buone alle quote investigate in accordo con quanto dedotto dalle informazioni stratigrafiche.

Dal punto di vista geotecnico si sono ricavati i seguenti valori per i principali parametri:

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 20 di 67	<b>Rev.</b> 0

Descrizione Litologica Ambito Geomorfologico	Parametri Geotecnici Medi	
Limi e Limi sabbiosi Depositi fluviali	NSPT30	12.0
	Densità relativa (%)	31.5
	Modulo elastico (MPa)	6.4
	Angolo di attrito interno (°)	23.9
	Modulo edometrico (MPa)	5.7
	Modulo di taglio (MPa)	4.5
Limi sabbioso ghiaiosi Depositi fluviali	NSPT30	45.5
	Densità relativa (%)	62.9
	Modulo elastico (MPa)	19.2
	Angolo di attrito interno (°)	30.5
	Modulo edometrico (MPa)	17.1
	Modulo di taglio (MPa)	12.9
Sabbie ghiaioso limose Depositi fluviali	NSPT30	70.3
	Densità relativa (%)	92.1
	Modulo elastico (MPa)	41.6
	Angolo di attrito interno (°)	33.4
	Modulo edometrico (MPa)	36.9
	Modulo di taglio (MPa)	26.6
Ghiaie sabbioso limose Depositi fluviali	NSPT30	60.0
	Densità relativa (%)	71.9
	Modulo elastico (MPa)	24.8
	Angolo di attrito interno (°)	31.4
	Modulo edometrico (MPa)	22.0
	Modulo di taglio (MPa)	16.4



Tabella 2.6/A - Parametri geotecnici ricavati per i sondaggi S1, S2 e S3 (estratto dal Doc 1)

## 2.7 Soggiacenza della falda e permeabilità dei terreni di trivellazione

Nel corso dei sondaggi P1, P2 e P3, la misurazione del livello della falda ha evidenziato la soggiacenza della falda dal piano campagna mostrate in Tabella 2.7/A.

Sondaggio	Livello della falda misurato (soggiacenza della falda dal p.c.)
P1	- 14,30 m dal p.c.
P2	- 6,30 m dal p.c.
P3	- 13,60 m dal p.c.

Tabella 2.7/A- livello di falda misurato nel corso dei sondaggi P1, P2 e P3

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 21 di 67	<b>Rev.</b> 0



In Tabella 2.7/B sono elencati i valori del coefficiente di permeabilità ottenuti con prove di permeabilità a carico variabile Lefranc durante l'esecuzione dei sondaggi P2 e P3 (cfr. APPENDICE C).

Sono stati ottenuti i valori del coefficiente di permeabilità sotto tabellato.

Sono stati ottenuti valori che mostrano una permeabilità medio-elevata, assimilabile ai valori orientativi per le sabbie pulite, sabbie e ghiaie.

Sondaggio	Prova	Profondità della prova dal p.c. (m)	Coefficiente di permeabilità (m/sec)
P2	1	2,70 / 3,20	2,5 E-6
P2	2	6,60 / 7,10	1,2 E-5
P3	3	2,70 / 3,20	1,5 E-4
P3	4	6,60 / 7,10	1,2 E-5

*Tabella 2.7/B- coefficienti di permeabilità dei terreni (sondaggi P1, P2 e P3)*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 22 di 67	<b>Rev.</b> 0

### 3 CARATTERISTICHE DI PROGETTO E METODOLOGIE COSTRUTTIVE DISPONIBILI

#### 3.1 Sintesi sulle caratteristiche fisiche dell'attraversamento



Con riferimento alle caratteristiche dell'area di attraversamento delineate in par. 2, le principali condizioni che influiscono su giudizio di fattibilità tecnica dei metodi costruttivi per l'attraversamento sono:

- presenza della falda. Nel sondaggio P2, il livello di falda è stato intercettato a -6,30 m dal p.c. In funzione del periodo di esecuzione dei lavori la falda potrebbe posizionarsi a quote prossime al piano campagna\_e comunque a profondità tale da interferire con gli scavi;
- la presenza di terreni eterogenei sabbie e ghiaie e trovanti calcarei, anche di grosso diametro, che possono essere un elemento di criticità costruttiva per la trivellazione dei terreni;
- terreni incoerenti a permeabilità medio-elevata che possono costituire un forte limite di fattibilità a causa della perdita dei fanghi di trivellazione (nel caso della T.O.C e del Microtunnel);
- la lunghezza di attraversamento dell'ordine di 100-150 metri con spazi limitati alla decina di metri per le due curve di risalita nel caso di trivellazioni. In particolare, nel caso del microtunnel, a causa dei limiti del sistema costruttivo, è necessaria l'adozione di pozzi piuttosto profondi.
- nell'alveo di magra del corso d'acqua, le quote di posa dei cavi dovranno essere più profonde delle massime erosioni di fondo attese;
- nel periodo invernale (da novembre a marzo compresi) i lavori non possono essere eseguiti in quanto coincidente con la stagione riproduttiva della fauna ittica,
- il periodo annuale con portate minime è quello estivo (da maggio ad agosto e la prima parte di settembre), quando le portate sono per la maggior parte drenate in sub-alveo. Tali condizioni sono giudicate quelle ottimali per la gestione delle acque durante eventuali lavori di scavo.
- nel caso di scavi a cielo aperto, sono necessarie opere per la mitigazione dei potenziali impatti sulla fauna fluviale causati da un possibile intorbidimento delle acque durante i lavori.
- gli otto portacavi devono essere posati ad un interasse minimo di 270 mm; la criticità di fattibilità nel caso di T.O.C consiste nella necessaria adozione di un tubo portacavi di diametro superiore a 1200 mm da installare in ghiaie e sabbie.

#### 3.2 Metodologie costruttive e configurazione di posa dei cavi elettrici

Le metodologie disponibili per realizzare l'attraversamento, di cui verificarne la fattibilità tecnica, sono:

- posa dei cavi con scavi a cielo aperto;
- installazione dei cavi all'interno di un microtunnel;

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 23 di 67	<b>Rev.</b> 0

- installazione dei cavi con Trivellazione orizzontale Controllata (T.O.C.)

I criteri generali di fattibilità per ognuna metodologia costruttiva sono descritti in Appendice A.

L'opzione di posa con una Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C., Horizontal Directional Drilling) non viene considerata date le elevate criticità di fattibilità elencate nel precedente paragrafo e legate alla natura dei terreni (ghiaie grossolane), al diametro del bundle da posare e alle limitazioni del sistema costruttivo per la configurazione geometrica dell'attraversamento.



Sulla base delle caratteristiche fisiche dell'area di attraversamento e dei sistemi costruttivi disponibili, l'analisi di fattibilità è effettuata nel presente documento per i due metodi costruttivi di "scavo a cielo aperto" e "Microtunneling".

### 3.3 Configurazione di posa dei cavi

La trasmissione dati per la protezione, comando e controllo dell'impianto, sarà realizzato con il sistema di telecomunicazioni tra la S.S.E. di Snam Rete Gas e la Cabina elettrica di Snam Rete Gas sita nei pressi dell'Impianto di compressione gas, consistente nella posa degli otto cavi. In via preliminare, le configurazioni per la posa dei cavi elettrici e telecomando, nelle diverse condizioni, sono:

- posa in trincea nel tratto esterno all'attraversamento. I cavidotti saranno interrati ed installati in due trincee (quattro per trincea), distanziate di 15-17 metri, alla profondità media di 1.5 m, con disposizione delle fasi a trifoglio;
- nel caso di scavi a cielo aperto per l'attraversamento del fiume, posa in trincea, con le stesse caratteristiche del caso precedente, i due cavidotti saranno però distanziati ad interasse di 2-3 metri con la copertura minima nell'alveo di 5 metri;
- nel caso di posa all'interno del microtunnel, nell'attraversamento del fiume, gli otto porta-cavi verranno installati all'interno del MT con interasse di almeno 750 mm. La copertura minima del microtunnel nell'alveo sarà di almeno 5 metri.

Le caratteristiche di dettaglio, come la configurazione di posa e le opere di protezione meccanica dei cavi, saranno definite nel corso della progettazione di dettaglio.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 24 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 4 FATTIBILITÀ TECNICA DELL'ATTRAVERSAMENTO CON "SCAVI A CIELO APERTO"

### 4.1 Criteri di progetto per la metodologia di varo del fascio di cavi nella trincea allagata

Il materasso alluvionale del Fiume Fella, fino alle quote di scavo della trincea di posa, è costituito prevalentemente da ghiaie a permeabilità medio alta. Tale caratteristica determina, nei periodi di magra, la presenza di una scarsa portata di superficie essendo il deflusso quasi interamente costituito dalla portata di sub-alveo. Tale condizione permette di scavare la trincea per l'alloggiamento dei cavi con le normali attrezzature di movimento terra (escavatori) che lavorano all'asciutto, mentre la trincea resterà prevedibilmente allagata per l'intero periodo della sua apertura.

I lavori saranno eseguiti nel periodo di magra; pertanto, la posa del cavidotto con scavi a cielo aperto in attraversamento del F. Fella (con sezione idraulica di ampiezza nell'ordine di 80 metri, modesta portata di superficie nei periodi di magra) prevede l'apertura all'asciutto dell'area di passaggio dei mezzi, lo scavo della trincea (che resterà prevedibilmente allagata durante tutte le fasi di costruzione), il posizionamento del fascio di cavi in galleggiamento (in asse trincea) per mezzo di un argano di tiro, l'affondamento del fascio di cavi a fondo scavo e il rinterro finale della trincea.

A titolo esemplificativo, la foto in Figura 4.1/A mostra un gasdotto appesantito con gunite e equipaggiato con galleggianti durante le fasi di varo.

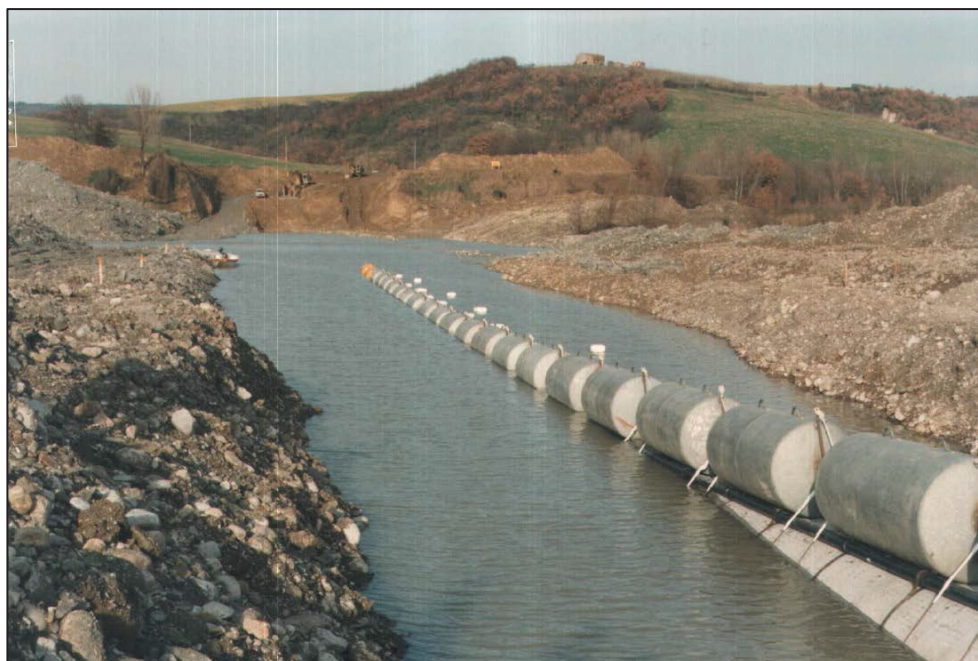




Figura 4.1/A – Posa in galleggiamento di un gasdotto gunitato nel Fiume Paglia

Il metodo di costruzione non comporta in nessun caso l'interruzione del flusso della corrente idrica: l'apertura temporanea di un canale nel letto alluvionale consente di collettare, verso valle, sia il flusso idrico proveniente da monte che l'acqua di



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 25 di 67	<b>Rev.</b> 0

riempimento della trincea scavata, consentendo così, di posare la condotta o il cavo in galleggiamento, senza interruzione del deflusso idrico.

Sono quindi da escludere alterazioni significative delle caratteristiche di deflusso e il potenziale impatto sulla qualità delle acque superficiali è limitato a un possibile intorbidimento dell'acqua a valle degli scavi, a causa dei sedimenti fini limoso-argillosi che saranno presenti in sospensione, per effetto delle operazioni di scavo.

Opere di mitigazione per minimizzare tale intorbidimento, di entità comparabile con quanto avviene naturalmente durante le piene, sono quindi necessarie. Sostanzialmente il criterio che sarà seguito durante tutte le fasi di costruzione dell'attraversamento è quello di intercettare il deflusso, proveniente da monte idrografico e dalla trincea in corso di scavo, in un canale temporaneo localizzato nell'alveo di magra, e quindi filtrare l'acqua in una vasca di filtrazione/decantazione ubicata a valle.

La modalità operativa sopradescritta e i criteri che saranno adottati nella costruzione sono ritenuti idonei per garantire l'assenza di trasporto in sospensione di fine, a valle idrografico dei lavori di attraversamento.

Per l'approfondimento di tali temi si rimanda al Doc./12/.

#### 4.2 Metodologia costruttiva e sequenze operative per il varo del fascio di cavi

La metodologia di attraversamento fluviale con scavi a cielo aperto è frequentemente utilizzata in considerazione della sua versatilità costruttiva, della semplicità nell'organizzazione delle fasi di lavoro e della possibilità di adattare la geometria della condotta a quella della sezione di attraversamento.

Il sistema è soprattutto caratterizzato dalla sua adattabilità alle specifiche condizioni del singolo corso d'acqua; soprattutto nell'utilizzo dei mezzi operativi e delle sequenze delle fasi di scavo, posa e rinterro della condotta.

La possibilità di programmare in largo anticipo i lavori è da ricondurre all'assenza di tecnologie complesse, alla facilità di accesso in qualsiasi punto dello scavo con le macchine per il movimento-terra, alla facilità nel rimuovere ostacoli imprevisti incontrati negli scavi ed infine alla semplicità nel ripristinare con i rinterri, la morfologia originaria dei luoghi.

Considerando la presenza di acqua nella trincea di scavo; non è possibile posare in fondo-scavo i cavi utilizzando metodi standard di costruzione; pertanto, è previsto il "varo" nella trincea allagata utilizzando un argano di tiro.



Concettualmente la metodologia di posa è piuttosto semplice.

Contemporaneamente alla prima fase di scavo della trincea, in un'apposita area di preparazione (sul terrazzo in sponda sinistra, nell'area della sottostazione elettrica utente Snam), i cavi sono assemblati e appesantiti per consentirne l'affondamento.

Sul terrazzo in sponda destra (dalla quale effettuare il tiro), viene installato un argano di tiro in asse scavo.

La stringa di varo viene posizionata in asse attraversamento, equipaggiata con dei galleggianti e successivamente tirata per mezzo di un argano a fune, posizionato in sponda opposta.

Completata la fase di tiro, la stringa è posizionata in galleggiamento lungo la sezione di attraversamento, in corrispondenza della sua posizione finale. Lo sganciamento progressivo dei galleggianti ne permette l'affondamento in fondo scavo. I controlli

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 26 di 67	<b>Rev.</b> 0

topografici definitivi sulla sua posizione completano le fasi di varo, prima dei lavori di rinterro.

La sequenza operativa per la costruzione dell'attraversamento è di seguito descritta.

*A. Preparazione delle aree di cantiere ed opere provvisorie.*

La prima operazione consiste nell'occupazione temporanea delle due aree di cantiere e nella loro delimitazione, ubicate nei due terrazzi, all'esterno dell'alveo. Se le condizioni pedologiche dei terreni lo richiedono, le aree saranno "scoticate". L'operazione consiste nello scavo preliminare dello strato di humus superficiale, che viene accantonato e riposizionato a conclusione dei lavori di rinterro con lo scopo di restituire alle aree interessate dai lavori di movimento terra il loro originario valore pedologico.

Viene, quindi, preparata l'area per l'installazione dell'argano in sponda destra e sono approvvigionati e stoccati in cantiere i mezzi, i materiali e le attrezzature necessarie.

*B. Costruzione delle opere di mitigazione per l'intorbidimento*

Prima dell'inizio degli scavi in alveo, sono realizzate le opere di mitigazione per l'intorbidimento delle acque che consistono nella realizzazione di una vasca di decantazione/filtrazione per consentire il deposito e la filtrazione delle acque presenti nella trincea e defluenti verso valle idrografica.

*C. Esecuzione degli scavi*

Contemporaneamente alle prime operazioni, vengono eseguiti gli scavi in alveo fino alle quote di progetto per la posa della stringa procedendo nei due lati, dall'interno (lato alveo di magra) verso le due sponde. Durante questa fase, dalla trincea l'acqua defluisce nella vasca di filtrazione.

Per gli scavi saranno utilizzati escavatori a braccio lungo che operano lungo l'asse della trincea. Completati gli scavi, immediatamente prima dell'inizio delle operazioni di varo, vengono effettuati i controlli sulle profondità di scavo, di solito misurate dal pelo libero utilizzando scandagli manuali o ecoscandagli, riferite alle quote assolute per mezzo di un rilievo topografico su punti monografici.



*D. Prefabbricazione delle striga di varo*

Contemporaneamente all'esecuzione degli scavi, in sponda sinistra, la stringa di varo dei cavi viene pre-assemblata, appesantita ed equipaggiata di galleggianti.

*E. Varo della stringa di cavi*

Il cavo di tiro dell'argano viene collegato, dalla sponda destra alla testa di tiro. Completati i controlli preliminari (sullo scavo e sulla stringa) si può mettere in tensione il cavo di tiro (controllandone l'allineamento) per iniziare il tiro della stringa.

Disattivato il sistema frenante, procedendo gradualmente, viene aumentato lo sforzo di tiro fino al superamento della resistenza per attrito e la colonna comincia a muoversi. Nella fase finale, la colonna galleggiante viene mantenuta in allineamento mediante i due sforzi di tiro contrastanti, dell'argano da una parte e del sistema frenante dall'altra. La fase successiva di immersione nello scavo viene effettuata con lo sganciamento progressivo dei galleggianti e il controllo delle quote di posa.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 27 di 67	<b>Rev.</b> 0

#### *F. Rinterro della trincea*

Il graduale rinterro dello scavo in alveo viene effettuato procedendo dalle sponde verso il centro dell'alveo. Anche in questa fase, l'acqua dallo scavo è collettata verso la vasca di decantazione/filtrazione.

#### *G. Ripristino morfologico dell'area*

Il ripristino morfologico dell'area interessata dai lavori di movimento terra viene effettuato con il rinterro degli scavi in golena (successivi al collegamento dell'attraversamento alla linea) e la riprofilatura del terreno fino a restituire all'area le originarie condizioni morfologiche.

#### *H. Opere di difesa idraulica e recupero ambientale*

I lavori di attraversamento vengono completati con la realizzazione delle opere di difesa idraulica e di contenimento nelle due sponde, il ripristino dello strato di humus superficiale precedentemente accantonato, e l'eventuale realizzazione di opere per il recupero ambientale dell'area di attraversamento.

### **4.3 Selezione del periodo di costruzione**

I lavori di attraversamento verranno programmati con lo scopo di disporre di una finestra temporale in corrispondenza della quale le portate idriche sono quelle minime.

Sulla base dei dati pluviometrici disponibili, i periodi annuali più favorevoli (con portate minime) si verificano da maggio ad agosto e la prima parte di settembre e, probabilmente, dicembre, gennaio e febbraio. Escludendo il periodo invernale (da novembre a marzo compresi) per evitare impatti diretti sulla fase riproduttiva della fauna ittica, il periodo più idoneo è quello della stagione estiva, quando le portate idrauliche sono minime e la corrente idrica è interamente drenata in sub-alveo. Tali condizioni sono giudicate quelle ottimali per la gestione delle acque durante i lavori di scavo.

Il periodo di esecuzione dei lavori sarà limitato ai mesi da maggio ad agosto. All'interno di tale finestra verranno eseguiti tutti i lavori necessari per realizzare le opere di spondali e ripristinare l'assetto morfologico- idraulico preesistente.

### **4.4 Configurazione geometrica dell'attraversamento**



Per l'ubicazione e la configurazione geometrica dell'attraversamento si rimanda al disegno Doc. /11/.

Per le caratteristiche delle opere di mitigazione dell'intorbidimento dell'acqua durante la costruzione si rimanda alla relazione Doc./12/.

La lunghezza dell'attraversamento è prevista di circa 80 metri nell'alveo di magra e i cavi verranno posati con copertura minima di 5 metri dalle quote minime di fondo alveo, superiore ai valori erosioni di fondo alveo stimate con lo studio idraulico (cfr. par. 2.3).

In corrispondenza della sponda destra idrografica, per la larghezza della fascia di lavoro, verrà ripristinata la scogliera esistente con le caratteristiche originarie e in continuità con i tratti di monte e di valle (cfr. Disegno Doc. /11/).

Anche in sponda sinistra verrà costruita una scogliera di difesa spondale in massi. Le dimensioni dell'opera (profondità del piano di fondazione, altezza del paramento fuori

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 28 di 67	<b>Rev.</b> 0

terra, spessore del corpo scogliera) verranno definite nel progetto definitivo sulla base delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua e delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

Nelle due scogliere verranno inserite talee vive. La sezione trasversale e il prospetto della protezione spondale (disegno standard) sono mostrati in Figura 4.4/A..

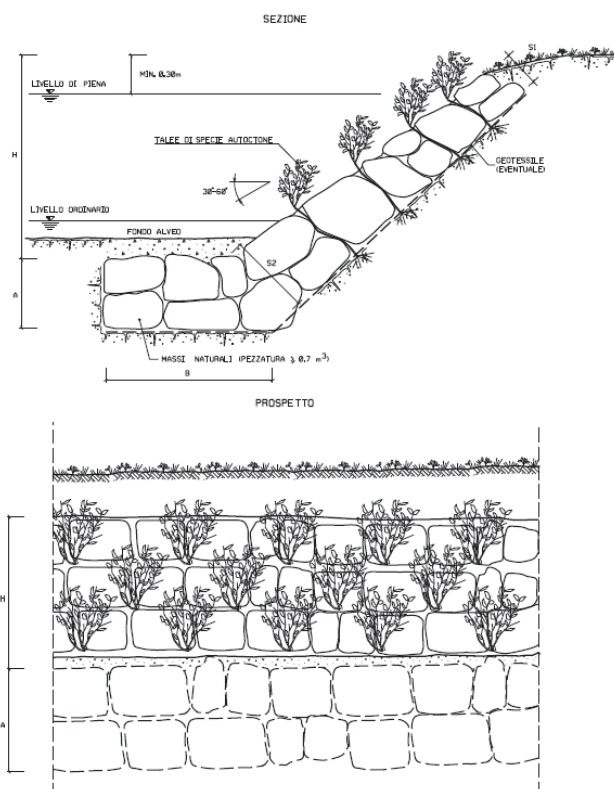




Figura 4.4/A – Sezione trasversale e prospetto della scogliera in massi (disegno standard)

#### 4.5 Movimento terra per i lavori di attraversamento

La Figura 4.5/A (estratta dal Doc./12/) mostra lo stralcio planimetrico con l'ubicazione della trincea di attraversamento, della vasca di decantazione/filtrazione e dell'area individuata per il deposito temporaneo del terreno di scavo durante le operazioni di costruzione.

Considerando che il materasso alluvionale è costituito da ghiaie grossolane in matrice sabbiosa, la trincea avrà le seguenti caratteristiche:

- inclinazione orizzontale delle pareti di scavo di circa 35° - 40°;
- larghezza della base della trincea di circa 3 – 4 metri (i due cavidotti saranno però distanziati ad interasse di 2-3 metri);

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli		<b>SPC. LA-E-80406</b>
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 29 di 67	<b>Rev.</b> 0

- profondità della trincea di circa 5,50 m.

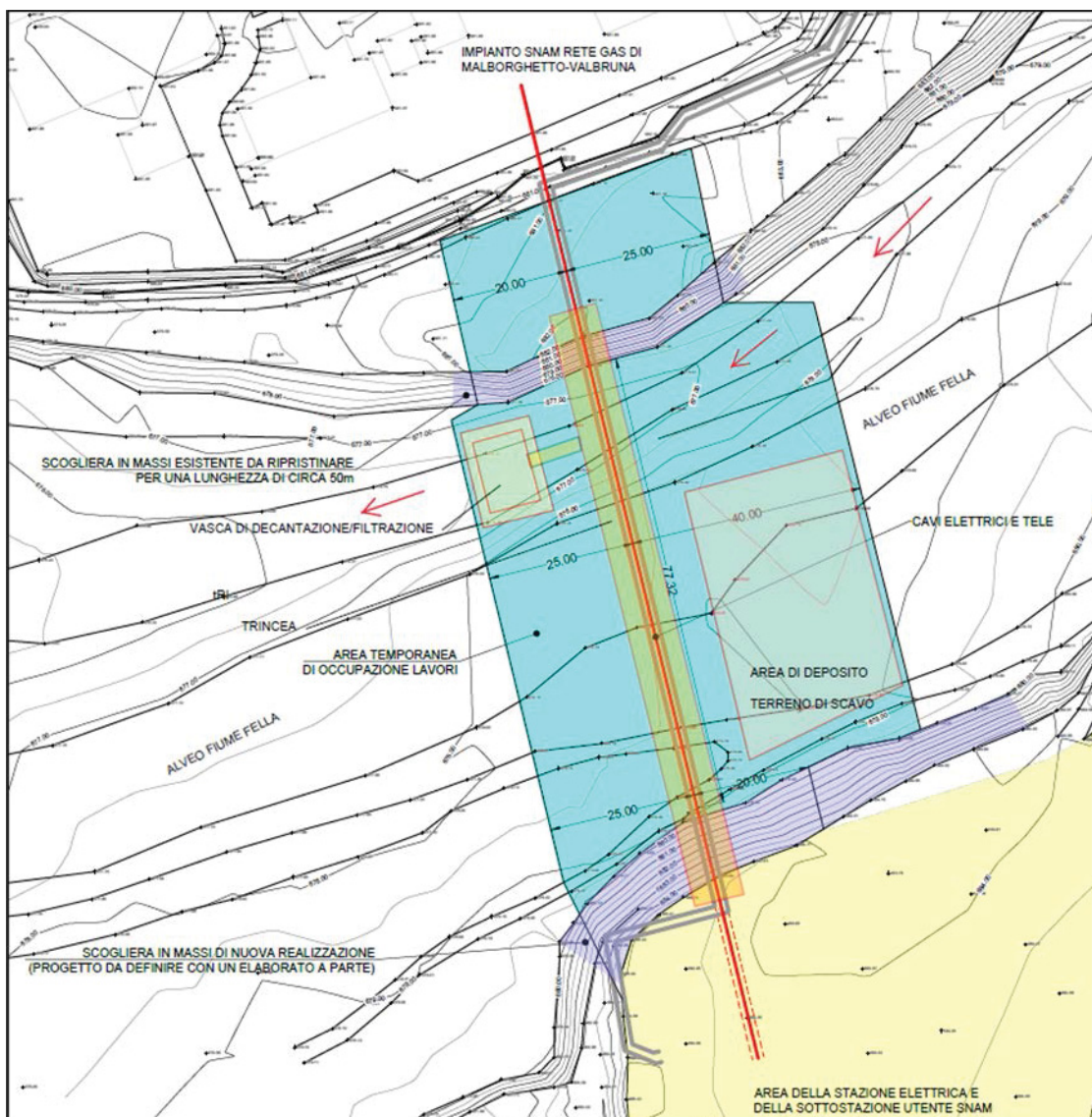




Fig. 4.5/A – Schema planimetrico con il sistema di filtrazione dell'acqua intercettata nelle fasi di scavi e rinterro (stralciato e adattato dal Doc./11/)

Sulla base di tali dati, la Tabella 4.5/B mostra il volume da movimentare per le operazioni di scavo e per il successivo rinterro (dalla trincea all'area di deposito temporaneo e viceversa).

Il volume di terreno decompresso da depositare temporaneamente durante gli scavi varia tra 4.500 e 7.600 m<sup>3</sup> circa. Considerando una superficie di deposito di circa 1.575 m<sup>2</sup>, l'altezza media del rilevato temporaneo varia tra 2,80 e 4,80 metri circa.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 30 di 67	<b>Rev.</b> 0

La realizzazione della trincea in cui alloggiare il fascio di cavi non comporterà un impatto permanente sulla vegetazione e sul paesaggio in quanto gli scavi saranno realizzati nelle ghiaie, in un tratto dove la vegetazione è praticamente assente.

	Valori minimi	Valori massimi
Profondità trincea (m)	5,5	6,5
Larghezza alla base	3	4
Inclinazione delle pareti	45°	40°
larghezza in sommità (m)	14,0	18,5
Lunghezza della trincea (m)	80,0	80,0
Volume di scavo (m <sup>3</sup> /m)	46,8	73,0
Volume di scavo (m <sup>3</sup> )	3.740,0	5.842,2
Coefficiente di decompressione del terreno	1,2	1,3
<b>Volume del terreno decompresso (m<sup>3</sup>)</b>	<b>4.488,0</b>	<b>7.594,9</b>
Superficie dell'area di deposito temporaneo (35 x 45 m)	1.575,0	1.575,0
<b>Altezza media del deposito (m)</b>	<b>2,8</b>	<b>4,8</b>

Tabella 4.5/B – Quantità per il movimento terra durante i lavori di attraversamento

#### 4.6 Fattibilità tecnica dell'attraversamento con scavi a cielo aperto

Nel caso specifico dell'attraversamento d'interesse, la posa con scavi a cielo aperto dei cavi verrà eseguita nel periodo di magra, quando il deflusso avviene sostanzialmente in sub-alveo prevedendo l'apertura all'asciutto dell'area di passaggio, lo scavo della trincea, la posa nella trincea e il rinterro finale. Dipendentemente dalle caratteristiche di deflusso del Fiume nel periodo di esecuzione dei lavori, la trincea scavata sarà prevedibilmente allagata. I lavori non comporteranno l'interruzione del deflusso idrico.



Nel caso, essa sia asciutta, non si avranno interferenze tra i lavori e il deflusso idrico;

Dal punto di vista ambientale, l'impatto sulla qualità delle acque superficiali è limitato a un possibile intorbidimento dell'acqua a valle degli scavi, a causa dei sedimenti fini limoso-argillosi presenti in sospensione per effetto delle operazioni di scavo. Tale impatto verrà mitigato intercettando il deflusso, proveniente da monte idrografico e dalla trincea in corso di scavo, in un canale temporaneo localizzato nell'alveo di magra e quindi, filtrando l'acqua in un'apposita vasca di filtrazione/decantazione.



La realizzazione degli scavi in cui alloggiare il fascio di cavi non comporterà un impatto sulla vegetazione e sul paesaggio in quanto gli scavi saranno realizzati nelle ghiaie, in un tratto dove la vegetazione è praticamente assente.

Considerando i criteri costruttivi, il periodo di esecuzione dei lavori e le opere di mitigazione dell'impatto sul contesto ambientale che verranno adottati, l'attraversamento con scavi a cielo aperto è ritenuto tecnicamente fattibile e privo di rischi di costruzione.

Le modalità operative e i criteri che saranno adottati per la realizzazione dell'attraversamento sono ritenuti idonei per garantire l'assenza di trasporto in

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 31 di 67	<b>Rev.</b> 0

sospensione di fine, a valle idrografico dei lavori di attraversamento. Considerando la natura temporanea delle attività di costruzione e le modalità operative volte al contenimento dell'intorbidimento, l'impatto sulla qualità delle acque può essere considerato poco significativo, temporaneo e reversibile.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 32 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 5 FATTIBILITÀ TECNICA DEL MICROTUNNEL

### 5.1 Configurazione geometrica del microtunnel

La geometria del microtunnel, configurata in accordo alle caratteristiche elencate nel precedente paragrafo 3.1, è schematizzata in planimetria in Figura 5.1/A e in profilo, in Figura 5.1/B. I due pozzi di trivellazione sono stati ubicati all'esterno dell'area golenale, quindi tutte le lavorazioni per la costruzione dell'attraversamento potranno essere eseguite in corrispondenza dei due cantieri di estremità del tunnel, che saranno ubicate all'esterno dell'alveo fluviale. Non sono quindi previsti lavori nell'ambito dell'alveo e non è previsto il passaggio di mezzi e personale in superficie, da una sponda all'altra.

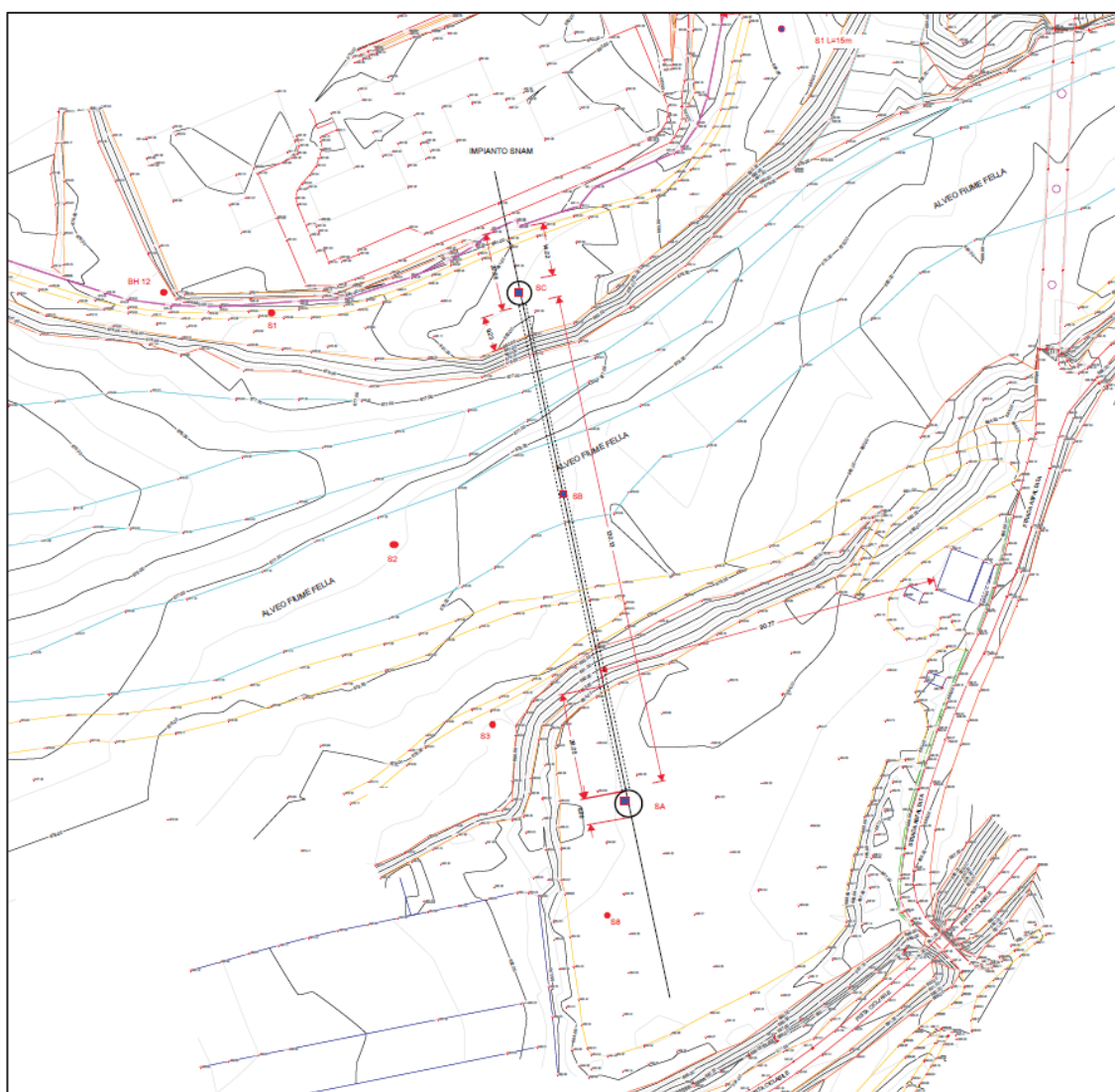




Figura 5.1/A – Stralcio planimetrico con l'ubicazione del microtunnel e dei pozzi di trivellazione (disegno non in scala)



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 33 di 67	<b>Rev.</b> 0

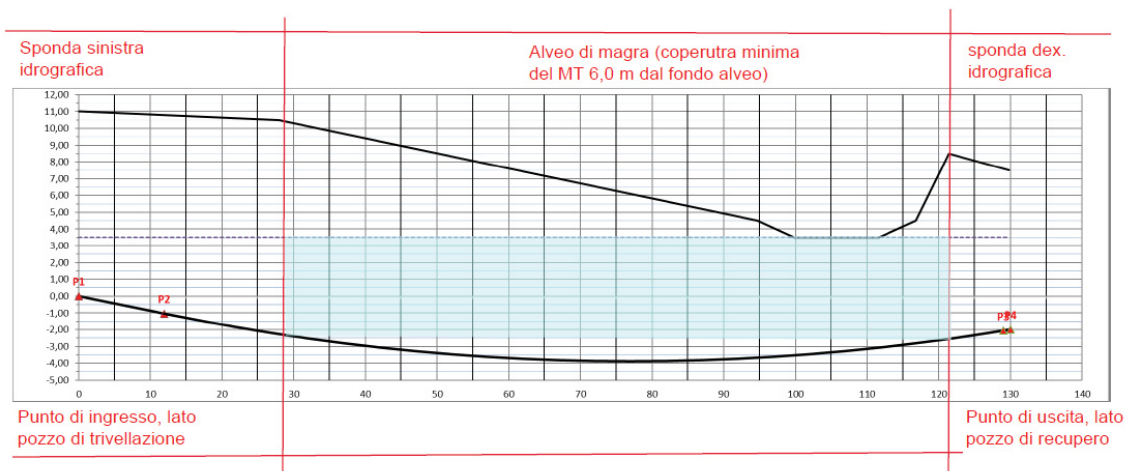


Figura 5.1/B – Profilo schematico della generatrice superiore del MT (in azzurro l'ambito dell'alveo di magra con copertura del MT di almeno 6 metri)



Anche in questo caso, in accordo con i risultati dello studio idraulico, l'attraversamento è stato configurato con la copertura minima del tunnel dal fondo alveo di almeno 5 metri. Tale necessità, assieme alla limitata lunghezza del microtunnel, determina la profondità dei due pozzi di trivellazione che risulta essere piuttosto elevata.

In Tabella 5.1/C sono elencate le principali caratteristiche geometriche del microtunnel e in Tabella 5.3/A quelle dei due pozzi.

Lunghezza del microtunnel (m)	130 m
Configurazione geometrica	Curvilinea
Raggio elastico di curvatura	750 m
Diametro interno del MT (mm)	2000 mm
Inclinazione all'entrata (°)	5°
Inclinazione all'uscita (°)	4°
Copertura minima del tunnel dalle quote di fondo alveo (m)	6,0 m
Dislivello tra i punti di entrata e uscita (m) (quota più elevata all'entrata)	2,0 m

Tabella 5.1/C - Configurazione geometrica del MT

Il metodo costruttivo e i criteri generali di fattibilità di un attraversamento fluviale con microtunnel sono descritti in Appendice A.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 34 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 5.2 Requisiti per il sistema Microtunnel

Sulla base delle condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche dei terreni e delle caratteristiche di progetto, si ritiene necessario l'utilizzo di un sistema di trivellazione a tenuta idraulica, con i requisiti tecnici di seguito descritti.

### *La testa fresante a tenuta idraulica*

Essendo lo scavo sottofalda, è necessario utilizzare una fresa integrale con scudo chiuso e bilanciamento della pressione sul fronte di scavo per mezzo di fanghi bentonitici per ottenere il bilanciamento delle pressioni interna/esterna sul fronte di scavo. L'adozione di uno scudo idoneo per le condizioni geologiche dei terreni di sottosuolo è considerato fondamentale ai fini della mitigazione di buona parte dei rischi di costruzione.

Nel caso specifico del progetto, è raccomandato l'utilizzo di uno scudo a sezione integrale "Slurry Shield Machine". Sono frese che bilanciano la pressione esterna dei terreni ed eventualmente dell'acqua sul fronte scavo per mezzo di un fluido di perforazione (miscela bentonitica o acqua) in pressione. Sono utilizzate in qualsiasi tipo terreno sottofalda. L'azione di taglio e disgregazione del terreno è svolta dai cutters messi in rotazione dallo scudo, a sua volta alimentato per mezzo di motori elettrici o idraulici. Tutti i tipi di scudo prevedono la stabilità del fronte scavo per mezzo di una pressione applicata direttamente o per mezzo di un fluido di perforazione. Permettono di affrontare con successo terreni sia di natura incoerente, che coesiva e rocciosa. Il litotipo da perforare determina tuttavia, oltre che la tipologia degli utensili di scavo, anche e soprattutto il tipo di fresa.

### *Sistema di controllo dell'avanzamento della trivellazione*

È necessario approntare un sistema per il controllo (durante l'avanzamento) della direzionalità del tunnel (strumentazione ottica e laser), delle potenze impiegate, della velocità di rotazione dello scudo e delle pressioni dei fanghi di perforazione.



In considerazione della precisione di esecuzione richiesta ed essendo richiesto il controllo in tempo reale sulla direzionalità del tunnel, il sistema dovrà essere dotato di adeguati strumenti computerizzati per l'elaborazione dei dati rilevati con sistemi di puntamento ottico e laser. L'operatore addetto alla verifica dovrà operare con continuità sulla consolle di comando, posizionata all'esterno della postazione di trivellazione, e tramite il sistema di puntamento laser controllerà l'andamento planimetrico ed altimetrico del tunnel realizzato.

### *Tubi di rivestimento in c.a.*

Le caratteristiche geometriche e strutturali per i conci prefabbricati in c.a. che possono essere adottate in progetto sono elencate nella sottostante Tabella 5.2/A.

Lunghezza dei conci (m)	2,50 – 3,00
Diametro minimo interno (mm)	2000
Pressione minima di esercizio dei giunti di tenuta idraulica (bar)	2.0
Nr minimo di conci valvolati per le iniezioni	1 ogni 3
Classe minima di resistenza del cemento armato	C 40/ C50

*Tabella 5.2/A - Caratteristiche dei conci tubolari in c.a.*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 35 di 67	<b>Rev.</b> 0

I tubi di rivestimento sono anelli prefabbricati in conglomerato cementizio armato. In considerazione degli elevati standard di qualità richiesti alle tubazioni, i manufatti in calcestruzzo armato dovranno essere prodotti in stabilimento di prefabbricazione con materiali di qualità e caratteristiche controllate e certificate e dovranno presentare resistenze garantite per le massime sollecitazioni prevedibili. I manufatti dovranno essere forniti di valvole di iniezione (almeno 3 manchettes per tubo) necessarie per eseguire nel terreno di trivellazione iniezioni fluidificanti con miscele bentonitiche o polimeriche durante le fasi di avanzamento ed iniezioni a base di miscele di cemento e bentonite per l'intasamento dell'intercapedine "terreno-tubo di protezione" nelle fasi finali di costruzione del minitunnel.

#### *Giunti di tenuta idraulica*

Le giunzioni tra i tubi di rivestimento dovranno essere di tipologia idonea per consentire la deviazione angolare del tunnel e la tenuta idraulica: l'incastro ed il centraggio tra due tubi successivi dovranno essere garantiti mediante opportuna sagomatura dei bordi oppure con collari in acciaio annegati nel getto, la tenuta idraulica del giunto deve essere assicurata da anelli in gomma. Essendo richiesta l'accessibilità del tunnel durante tutte le fasi costruttive del tunnel, si dovranno porre in opera giunti di tenuta idraulica tra i conci di caratteristiche sperimentate e certificate nelle condizioni di esercizio più gravose.

#### *Iniezioni di intasamento "tubo di rivestimento – terreno"*

Al termine delle operazioni di scavo, è richiesta l'esecuzione di iniezioni di miscele cementizie dagli ugelli predisposti lungo le pareti dei tubi di rivestimento. Le iniezioni dovranno essere effettuate per ogni singola valvola fino al rifiuto, con numero, modalità e pressioni d'iniezione adeguate per creare, nell'intorno del tubo, una zona di terreno completamente intasata e a bassa permeabilità.

L'intasamento idraulico delle cavità tra tubo e terreno riduce la filtrazione che potrebbe verificarsi lungo il contatto tra tubo di rivestimento e terreno in corso di realizzazione dell'opera.

### **5.3 Configurazione geometrica dei pozzi di trivellazione e metodologie costruttive**



#### *5.3.1 Configurazione geometrica dei pozzi*

I pozzi (postazione di trivellazione e di recupero) dovranno essere realizzati con strutture di contenimento verticali e con strutture del piano di calpestio idonee per resistere alle sollecitazioni esterne (spinta orizzontale delle terre, spinta idrostatica al sollevamento, pressione della stazione di spinta principale e sovraccarichi al piano campagna). In particolare, essendo i pozzi da realizzare sottofalda, dovranno essere adottate tipologie strutturali che ne garantiscano la tenuta idraulica.

In tabella 5.3/A sono elencate le principali caratteristiche geometriche dei due pozzi.

#### *5.3.2 Metodologia costruttiva delle due postazioni di trivellazione*

Per la realizzazione delle postazioni di trivellazione può essere considerata la tipologia costruttiva dei diaframmi continui in c.a. (o in alternativa palli trivellati secanti) per il contenimento laterale della spinta delle terre e per ottenere una barriera impermeabile tra l'ambiente esterno e quello interno al pozzo, associati ad un trattamento colonnare

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 36 di 67	<b>Rev.</b> 0

con jet grouting del terreno sottostante il piano di calpestio del pozzo per contrastare le sottospinte idrauliche.

*Diaframmi continui in c.a. (o in alternativa pali trivellati secanti)*

Lo scavo dei pannelli del diaframma deve essere eseguito con benne tipo kelly in presenza di fluido di stabilizzazione delle pareti di scavo. I diaframmi in c.a. dovranno essere costruiti con pannelli primari e pannelli secondari. I pannelli di cui è formato il diaframma in c.a. devono essere equipaggiati con giunti verticali di tenuta idraulica.

Considerando una lunghezza di incastro al piede dei diaframmi (in prima approssimazione pari alla metà della profondità del pozzo), la lunghezza complessiva dei diaframmi sarà di circa 18 – 20 metri.

Geometria dei pozzi	Circolare
Tenuta idraulica delle strutture verticali e del fondo pozzo	Richiesta
Diametro minimo operativo interno del pozzo di trivellazione (m)	8,0 m
Diametro minimo operativo interno del pozzo di recupero in sponda dex. (m)	6,0 m
Profondità dal p.c. del pozzo di trivellazione in sponda sin. (m)	13,50 m circa
Profondità dal p.c. del pozzo di recupero (m)	12,00 m circa
Tipologia costruttiva dei contenimenti laterali	Diaframmi continui in c.a. con scavi con idrofresa o in alternativa pali trivellati secanti
Tipologia costruttiva di fondo pozzo	Trattamento colonnare con jet-grouting e solettone in c.a. di fondo pozzo
Lunghezza dei diaframmi in c.a. (m)	18 – 24 m
Lunghezza complessiva delle colonne jet grouting	30 - 35 m (13,5 m a vuoto per tutta l'altezza del pozzo e 15 – 20 metri con iniezioni a pressione).

*Tabella 5.3/A – Caratteristiche geometriche e strutturali dei pozzi di trivellazione*



*Trattamento con jet-grouting*

Il trattamento con jet-grouting del terreno sottostante il piano di calpestio del pozzo è da eseguire dal piano campagna (prima dello scavo dell'interno del pozzo) con il duplice scopo di contrastare le sotto spinte idrauliche ed inibire il processo di filtrazione, dal basso verso l'alto, dell'acqua all'interno del pozzo.

Il trattamento colonnare dovrebbe essere eseguito dal piano campagna con perforazioni di lunghezza totale di circa 30 - 35 m (13,5 m a vuoto per tutta l'altezza del pozzo e 15 – 20 metri con iniezioni a pressione).

Infatti, in prima approssimazione, si ha:

la pressione idrostatica alla base del tappo:  $p_w = (13.5+20) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 335,0 \text{ kN/m}^2$

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 37 di 67	<b>Rev.</b> 0

il peso proprio del tappo

$$pt=20 \text{ kN/m}^3 \times 20 = 400 \text{ kN/m}^2$$

con  $pt$  il peso per unità di volume del terreno trattato

Verifica al sollevamento del terreno trattato

$$1.1 * pw < 0.9 pt$$

### 5.3.3 Fasi di costruzione dei pozzi

Dal punto di vista della operatività, la costruzione del pozzo prevede le seguenti fasi operative:

- Realizzazione del diaframma continuo sul perimetro del pozzo.
- Perforazioni e iniezioni con le tecniche del jet-grouting all'interno dell'area perimetrata del diaframma in c.a.: il trattamento del terreno con miscele cementizie sarà effettuato esclusivamente al di sotto del piano di calpestio finito del pozzo, mentre al di sopra di tale piano, la perforazione sarà effettuata "a vuoto".
- Scavo del terreno all'interno del pozzo fino alla profondità di fondo pozzo.
- Realizzazione del piano di calpestio in c.a. di fondo pozzo.
- Alloggiamento nel pozzo delle strutture di trivellazione ed inizio della trivellazione.

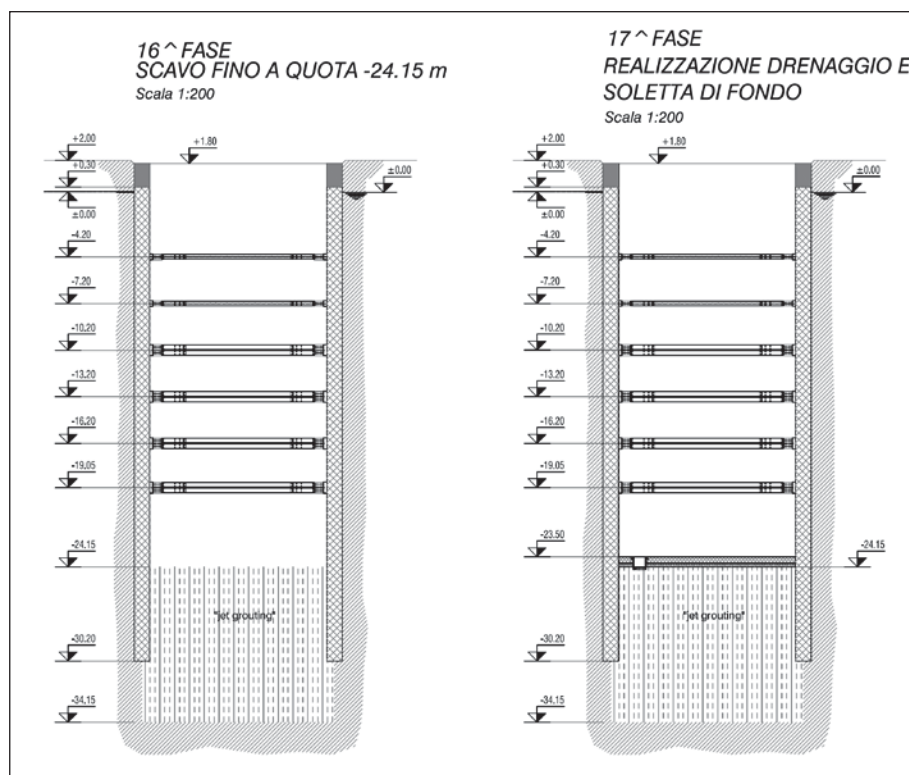




Figura 5.3/B – Rappresentazione delle due ultime fasi di costruzione di un pozzo (Progetto del microtunnel di attraversamento del Canale Industriale nel Porto di Livorno)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 38 di 67	<b>Rev.</b> 0

In figura 5.3/B è mostrato un esempio delle ultime fasi di costruzione del pozzo (rispettivamente, a scavo eseguito e con solettone di fondo in c.a. gettato).

#### 5.4 Potenziali rischi di costruzione per il microtunnel

La natura del terreno riveste, com'è ovvio nel caso di una trivellazione, un'importanza primaria per la fattibilità dell'attraversamento soprattutto riguardo alla variabilità litologica dei terreni lungo il profilo di trivellazione e alla presenza della falda che condiziona in maniera rilevante la scelta tipologica della testata di perforazione (scudo).

Nello specifico, i principali rischi di costruzione del microtunnel nel F. Fella sono imputabili a un insieme di considerazioni che riguardano le caratteristiche geolitologiche e le caratteristiche di permeabilità dei terreni di trivellazione.

I due principali rischi di costruzione individuati per il microtunnel nell'attraversamento d'interesse, sono:

- difficoltà di avanzamento dovuta alla presenza di ciottoli, clasti e trovanti;
- perdita dei fanghi di perforazione.

##### 5.4.1 *Difficoltà di avanzamento dovuta alla presenza di trovanti e ciottoli in matrice fine, non cementati.*

Lungo l'asse di trivellazione si rinvennero depositi alluvionali grossolani costituiti da livelli di ghiaia grossa calcarea sub-arrotondata con ciottoli fino ad un diametro di 15 cm in matrice di sabbia, alternati a strati di ghiaia medio e medio fine con ciottoli fino alla profondità indagata di 20 metri.



Sia il sondaggio P1 che il sondaggio S1, hanno intercettato un blocco di calcare grigio di spessore 0.50 m alla profondità di circa 4.5 m dal p.c. Clasti grossolani e trovanti sono intercettati a più profondità dal sondaggio S1.

Il sondaggio S2 presenta una successione fluviale ghiaioso-sabbiosa fino a 15 m interpretabili come depositi di trasporto in massa. Il sondaggio evidenzia la presenza di ghiaia medio grossa con ciottoli di dimensione massime di 20 cm. Da 2 m a 12 m circa sono presenti ghiaie fine e media in abbondante matrice sabbiosa. A profondità da 12 a 14 metri si rinviene limo sabbioso con ghiaia, soprastante lo strato di fondo foro di ghiaia fine e media.

All'interno di questi depositi è probabile la possibilità di intercettare con la trivellazione, inclusi calcarei di dimensioni metriche. Tale eventualità è considerata un rischio di costruzione elevato per l'avanzamento del microtunnel. La criticità è dovuta alla presenza di trovanti e ciottoli in matrice fine, non cementati che possono causare difficoltà di avanzamento se le loro dimensioni non ne consentono l'ingresso nella camera di frantumazione. In tali condizioni il taglio del terreno sul fronte scavo è ostacolato dalla rotazione e dallo spostamento dei trovanti/ciottoli sul fronte scavo.

##### 5.4.2 *Perdita dei fanghi di perforazione.*

La perdita dei fanghi di perforazione sul fronte scavo dello scudo può causare l'instabilità del terreno di fronte scavo e/o difficoltà nell'azione di taglio del terreno. Tale situazione può aversi in presenza di deflussi in sotterraneo caratterizzati da elevate velocità del

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 39 di 67	<b>Rev.</b> 0

deflusso di subalveo. In genere, si verifica in terreni ghiaiosi a permeabilità elevata, molto simili a quelli che interessano il materasso alluvionale dell'alveo del Fiume Fella.

Anche in questo caso, il rischio di costruzione è considerato essere elevato.

## 5.5 Potenziali rischi di costruzione per i pozzi di trivellazione

Il giudizio di fattibilità non può prescindere da un'attenta valutazione delle problematiche connesse con la realizzazione dei pozzi di partenza e di arrivo, sia in relazione alla natura dei terreni, che alla presenza di falda (rischi di sifonamento a fondo scavo, drenaggio dell'acqua di falda all'interno del pozzo) ed alla profondità massima realizzabile con ciascuna tecnologia.

In corrispondenza del pozzo di trivellazione ubicato in sponda sinistra, i sondaggi S3 e P3 hanno intercettato alternanze di limi sabbioso argillosi ghiaiosi e ghiaie fini e medie. Trovanti sono presenti negli strati più superficiali. A partire da 8 m di profondità, i terreni sono costituiti da una sequenza limoso sabbiosa-ghiaiosa simile a quella osservata in ambiente di versante.

In corrispondenza del pozzo di ricezione in sponda destra, sono presenti livelli di Ghiaia grossa con ciottoli fino ad un diametro di 15 cm in matrice di sabbia alternati a strati di ghiaia medio e medio fine con ciottoli fino alla profondità indagata di 20 metri. Sia il sondaggio P1 che il sondaggio S1, hanno intercettato un blocco di calcare grigio di spessore 0.50 m alla profondità di circa 4.5 m dal p.c. Clasti grossolani e trovanti sono intercettati a più profondità dal sondaggio S1.

Anche per i due pozzi il rischio di costruzione è considerato elevato a causa delle problematiche descritte nei successivi paragrafi.

### 5.5.1 Tenuta idraulica dei pozzi



In tali condizioni, è necessario realizzare la tenuta idraulica, sia delle strutture di contenimento perimetrali che per quelle di fondo pozzo.

I due pozzi di trivellazione devono quindi essere costruiti con piano di calpestio di fondo molto profondo (12 m e 13,5 m circa per il pozzo di trivellazione e di ricezione, rispettivamente), in terreni sottofalda, incoerenti a pezzatura molto grossolana e a permeabilità elevata.

Le strutture di contenimento perimetrali consistenti in diaframmi continui in c.a. (o in alternativa da pali trivellati in c.a. secanti) presentano lunghezze verticali importanti (18 – 24 m). Ancora più rilevante è la lunghezza in verticale delle colonne jet grouting (30 – 35 metri).

Soprattutto per il pozzo di ricezione, le condizioni appena descritte sono ritenute le più critiche ai fini della costruzione delle opere, in particolare per quanto riguarda:

- i limiti di applicabilità in ghiaie grossolane delle tipologie costruttive dei diaframmi in c.a. e dei pali trivellati;
- la possibilità di realizzare l'impermeabilizzazione dei giunti verticali tra i pannelli principali e secondari del diaframma in c.a. o tra i pali trivellati secanti;

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 40 di 67	<b>Rev.</b> 0

- la possibilità di ottenere un trattamento soddisfacente dei terreni con le colonne jet-grouting.
- la possibilità di impermeabilizzare il foro di entrata della fresa nel pozzo di ricezione.

### 5.5.2 Scavabilità per le tipologie costruttive nelle ghiaie

Nelle ghiaie grossolane dove sono presenti clasti e ciottoli di dimensione superiore a 15 cm, le attività di scavo possono presentare problemi e difficoltà.

Sia nel caso dei pali trivellati che dei diaframmi in c.a., la criticità di costruzione e relativa alla difficoltà di taglio e disgregazione degli elementi più grossolani durante le fasi di scavo.

A questa criticità, potrebbe aggiungersi la difficoltà nel mantenere la stabilità delle pareti del foro (soprattutto in terreni incoerenti privi di matrice). In questo caso, è necessario o mantenere il foro di trivellazione colmo di fango bentonitico durante tutte le fasi esecutive o in alternativa, nel caso dei pali trivellati, utilizzare delle camice recuperabili.

### 5.5.3 Continuità strutturale e impermeabilizzazione dei giunti verticali tra i diaframmi/pali

Per mantenere all'asciutto i pozzi di trivellazione è necessario realizzare strutture di contenimento verticali che siano impermeabilizzate. Nel caso dei diaframmi in c.a., ma vale anche per il caso di pali trivellati secanti, il giunto tra pannelli deve essere in grado di trasferire la forza di taglio, dovuta alla spinta del terreno tra due pannelli adiacenti. Ciò è ottenuto tramite sovrapposizione parziale tra il pannello primario e il pannello secondario (generalmente, 150÷200 mm). Durante lo scavo con idrofresa dei pannelli secondari, le ruote fresanti tagliano una porzione di calcestruzzo dei due pannelli primari adiacenti, creando in tal modo una superficie di contatto ruvida e pulita (cfr. Figura 5.5/A) in grado di trasferire gli sforzi di taglio tra due pannelli contigui.

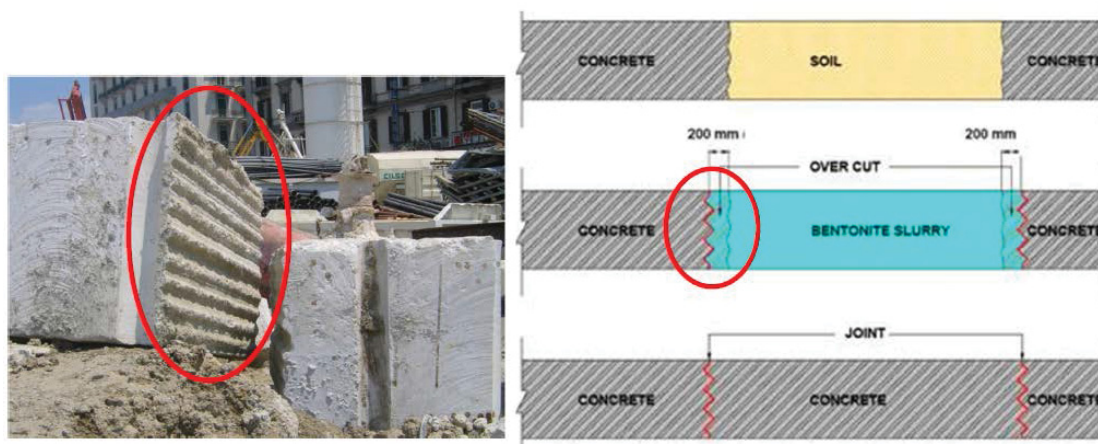




Figura 5.5/A – Superficie di contatto tra pannello primario e secondario (stralcio da “Tecnologia idrofresa”, [www.trevi.spa.com](http://www.trevi.spa.com))



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 41 di 67	<b>Rev.</b> 0

Generalmente la tenuta idraulica dei giunti verticali viene ottenuta tramite sovrapposizione parziale tra il pannello primario e il pannello secondario. Sono disponibili alternative per la formazione del giunto, come: giunti con tubi in PVC (o in metallo leggero) a perdere, giunti con stop-ends eventualmente dotati di water-stop) o lasciando in opera la trave in acciaio o in calcestruzzo prefabbricato.

Alle quote di fondazione dei diaframma o dei pali (a circa 18 – 24 m dal p.c.), una deviazione sulla verticalità di un solo grado genera uno spostamento dell'asse di 30 - 35 cm. In tali condizioni, non è possibile garantire né la continuità strutturale degli elementi, né l'impermeabilizzazione dei giunti verticali.

#### 5.5.4 Verticalità del trattamento colonnare in jet-grouting del “tappo” di fondo

I parametri di progetto per eseguire il jet.grouting (diametro reso delle colonne, maglia di trattamento, tipo di jet, reologia della miscela cementizia, ecc.) dovranno essere definiti con l'obbiettivo di ottenere la compenetrazione delle singole colonne con la conseguente impermeabilizzazione del terreno trattato.

Anche in questo caso, va osservato che, nella zona più profonda del consolidamento (a 30 – 35 m dal p.c.), una deviazione di 1° rispetto alla verticale di una colonna, genera uno spostamento dell'asse di circa 50 cm. In tali condizioni, essendo molto difficile realizzare la maglia di progetto (simile a quella mostrata a titolo di esempio in Figura 5.5/B), non è possibile realizzare la continuità di trattamento del tappo, per uno spessore significativo, in modo da garantire la maggiore intercettazione possibile dei moti di filtrazione dal basso verso l'alto.

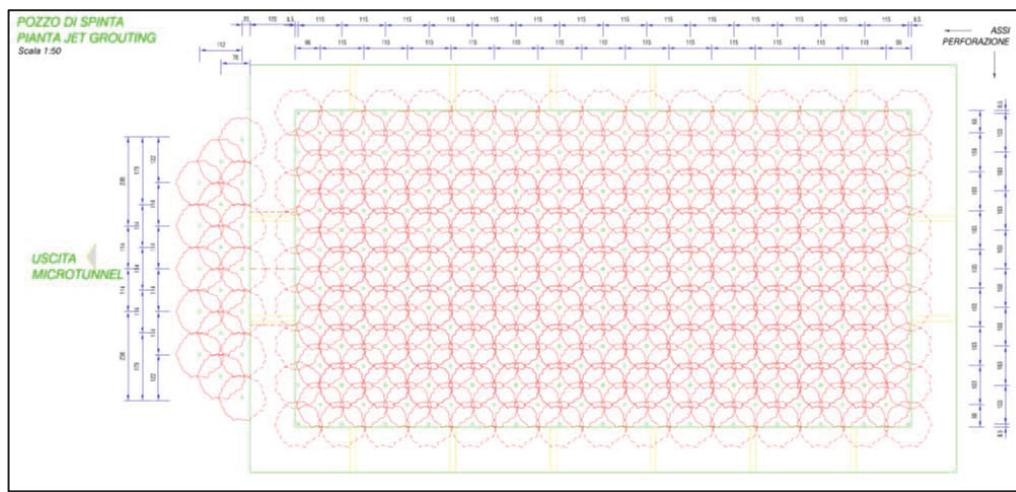




Figura 5.5/B - Schema del progetto di un “tappo di fondo” con colonne compenstrate di jet grouting

#### 5.5.5 Impermeabilizzazione del foro di entrata della fresa nel pozzo di ricezione.

Considerando che i terreni sono a permeabilità elevata e che sono sottoposti ad una pressione idrostatica di almeno 10 metri, il terreno esterno al pozzo di ricezione, in corrispondenza del foro di entrata della fresa, necessita di un trattamento che ha

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 42 di 67	<b>Rev.</b> 0

l'obiettivo di inibire la filtrazione verso l'interno del pozzo. In genere, anche in questo caso, si ricorre al trattamento colonnare con jet-grouting (cfr. Figura 5.5/C).

Per le motivazioni già esposte nel precedente paragrafo, anche in questo caso è molto difficile ottenere l'impermeabilizzazione del terreno antistante il foro di entrata della fresa, a maggior ragione se i terreni da trattare sono costituiti da ghiaia.

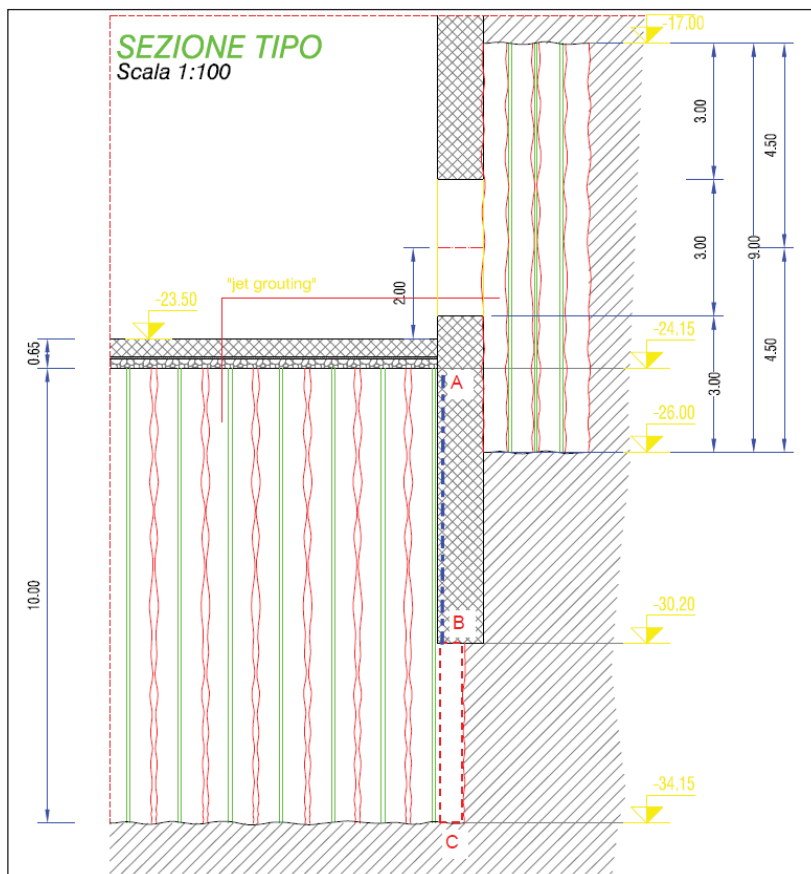




Figura 5.5/C – Sezione schematica del trattamento colonnare con jet-grouting in corrispondenza del foro di entrata della fresa e del “tappo di fondo

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 43 di 67	<b>Rev.</b> 0

## 6 SINTESI E CONCLUSIONI

### 6.1 Fattibilità dei metodi costruttivi per l'attraversamento

Le principali condizioni che influiscono sul giudizio di fattibilità tecnica dei due metodi costruttivi analizzati per l'attraversamento (scavi a cielo aperto e microtunnel) sono:

- presenza della falda a quote prossime al piano campagna con portate idrauliche per la maggior parte drenata in sub-alveo, nel periodo estivo di magra;
- la presenza di terreni eterogenei costituiti da ghiaie, sabbie e trovanti calcarei, anche di grosso diametro a permeabilità elevata;
- la necessità di adottare pozzi di trivellazione piuttosto profondi, nel caso del microtunnel;
- nel caso di scavi a cielo aperto, sono necessarie opere per la mitigazione dei potenziali impatti sulla fauna fluviale causati da un possibile intorbidimento delle acque durante i lavori.

Le metodologie costruttive analizzate per l'attraversamento dei cavi sono la "posa con scavi a cielo aperto" e la "posa all'interno di un microtunnel". L'opzione di posa con Trivellazione Orizzontale Controllata non è stata considerata date le elevate criticità di fattibilità riferibili alla natura dei terreni di trivellazione.

La metodologia "Microtunnel" applicata all'attraversamento d'interesse, presenta diversi ed elevati rischi di costruzione, attinenti al blocco della trivellazione e alla difficoltà nel costruire pozzi profondi sottofalda, che siano a tenuta idraulica. Il verificarsi di uno di questi rischi può comportare il fallimento e l'abbandono della trivellazione.



Tali rischi sono imputabili a un insieme di considerazioni che riguardano le caratteristiche geo-litologiche e le caratteristiche di permeabilità dei terreni di trivellazione.

Il microtunnel è da trivellare sottofalda, nel materasso alluvionale del fiume caratterizzato dalla presenza di ghiaie medio grossolane, ciottoli e clasti e da permeabilità elevata. In tale contesto, i due principali rischi di costruzione individuati per il microtunnel sono relativi a difficoltà di avanzamento della trivellazione a causa di:

- a) la difficoltà nel disgregare con i taglienti della fresa i trovanti e i ciottoli;
- b) la elevata provabilità di perdere i fanghi di perforazione sul fronte scavo dello scudo.

Anche per la costruzione dei due pozzi di trivellazione, sono da evidenziare rischi di costruzione, riferibili ai limiti di applicabilità in ghiaie grossolane sottofalda, delle tipologie costruttive dei diaframmi in c.a./ pali trivellati e del trattamento colonnare con jet-grouting.

Per mantenere all'asciutto i pozzi è necessario realizzare strutture di contenimento verticali sul loro perimetro (diaframmi in c.a. o pali trivellati secanti) in grado di trasferire la forza di taglio e mantenere l'impermeabilizzazione tra i giunti adiacenti. A causa della rilevante lunghezza in profondità delle strutture (circa 18 – 24 m) e della natura litologica dei terreni da perforare, non è possibile realizzare l'allineamento verticale entro tolleranze accettabili e quindi, non è possibile garantire la continuità strutturale degli elementi e soprattutto l'impermeabilizzazione dei giunti verticali.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 44 di 67	<b>Rev.</b> 0

Lo stesso discorso è valido anche per il jet grouting per la realizzazione del “tappo” di fondo pozzo (il trattamento colonnare arriva alla profondità di 30 – 35 m dal p.c.) e per l'impermeabilizzazione del terreno antistante il foro di entrata della fresa (nel pozzo di ricezione). Anche in questi due casi, non è prevedibilmente possibile realizzare l'allineamento verticale entro tolleranze accettabili e quindi, non è possibile garantire la continuità di trattamento del tappo, per uno spessore significativo (necessario per ottenere la maggiore intercettazione possibile dei moti di filtrazione dal basso verso l'alto).

Alle criticità appena descritte sono anche da aggiungere le prevedibili difficoltà nel tagliare e disgregare gli elementi più grossolani di terreno durante le fasi di scavo per la realizzazione dei diaframmi o dei pali.

Si sconsiglia, quindi, la costruzione dell'attraversamento con la metodologia “microtunnel” poiché soggetta ad elevati rischi di costruzione che potrebbero portare al fallimento dell'attraversamento, a favore degli “scavi a cielo aperto”.

La metodologia con “scavi a cielo aperto” non presenta criticità costruttive, comporta solo un potenziale rischio di intorbidimento delle acque che può essere significativamente mitigato adottando idonei criteri di costruzione ed eseguendo i lavori nel periodo estivo di magra.



## 6.2 Caratteristiche dell'attraversamento con “scavi a cielo aperto”

La posa del fascio di cavi con “scavi a cielo aperto” dovrà essere eseguita nel periodo di magra, quando il deflusso avviene sostanzialmente in sub-alveo. Prevedibilmente la trincea che verrà scavata per la posa dei cavi sarà allagata, perciò il fascio di cavi verranno posati in galleggiamento con le seguenti fasi costruttive:

- Contemporaneamente alla prima fase di scavo della trincea, in un'apposita area di preparazione (sul terrazzo in sponda sinistra, nell'area della sottostazione elettrica utente Snam), i cavi sono assemblati e appesantiti per consentirne l'affondamento.
- Sul terrazzo in sponda destra (dalla quale effettuare il tiro), viene installato un argano di tiro in asse scavo.
- La stringa di varo viene posizionata in asse attraversamento, equipaggiata con dei galleggianti e successivamente tirata per mezzo di un argano a fune posizionato in sponda opposta.
- Completata la fase di tiro, la stringa è posizionata in galleggiamento lungo la sezione di attraversamento, in corrispondenza della sua posizione finale. Lo sganciamento progressivo dei galleggianti ne permette l'affondamento in fondo scavo. I controlli topografici definitivi sulla sua posizione completano le fasi di varo, prima dei lavori di rinterro.

La metodologia non comporterà l'interruzione del deflusso idrico (l'apertura temporanea di un canale nel letto alluvionale consentirà di collettare, verso valle il deflusso)

Le modalità operative e i criteri che verranno adottati sono ritenuti idonei per garantire l'assenza di trasporto in sospensione di fine, a valle idrografico. Considerando la natura temporanea delle attività di costruzione e le modalità operative volte al contenimento dell'intorbidimento, l'impatto sulla qualità delle acque può essere considerato poco significativo, temporaneo e reversibile. Tale potenziale impatto verrà mitigato, se non

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 45 di 67	<b>Rev.</b> 0

annullato, intercettando il deflusso, proveniente da monte idrografico e dalla trincea in un'apposita vasca di filtrazione/decantazione.

Anche l'impatto sulla vegetazione e sul paesaggio è ritenuto trascurabile, in quanto gli scavi saranno realizzati nelle ghiaie, in un tratto dove la vegetazione è praticamente assente.



Considerando i criteri costruttivi, il periodo di esecuzione dei lavori e le opere di mitigazione per l'impatto sull'intorbidimento delle acque che verranno adottati, l'attraversamento è ritenuto tecnicamente fattibile, privo di rischi di costruzione e a basso impatto ambientale.

Dal punto di vista della configurazione geometrica, il profilo di posa dei cavi è posizionato con la copertura minima dal fondo alveo di 5 metri, abbondantemente superiore ai 2 metri di erosioni stimate con lo studio idraulico.

Per quanto riguarda le opere di difesa idraulica, la scogliera in massi esistente in sponda destra verrà ripristinata con le caratteristiche originarie e la sponda sinistra verrà stabilizzata con una analoga scogliera. A fine di favorire il loro inserimento ambientale le due scogliere verranno piantumate con talee vive.

Per la configurazione dell'attraversamento si rimanda al disegno di progetto /11/ "Attraversamento del Fiume Fella per la posa dei cavi elettrici e tele. Planimetria e sezione di attraversamento"; disegno LC-3C-81111; Saipem.

Per gli argomenti attinenti le azioni di mitigazione dell'intorbidimento dell'acqua durante la costruzione dell'attraversamento con scavi a cielo aperto si rimanda al documento di progetto /12/ "Mitigazioni per intorbidimento del deflusso idrico nell'alveo del fiume Fella durante la costruzione" (Relazione LA-E-81403, Saipem).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 46 di 67	<b>Rev.</b> 0

## APPENDICE A - PANORAMICA SULLE METODOLOGIE COSTRUTTIVE E CRITERI GENERALI PER LA FATTIBILITA' TECNICA PER UN ATTRAVERSAMENTO FLUVIALE

Delle metodologie costruttive disponibili per la posa di condotte in acciaio possono effettuarsi numerose classificazioni basate sui criteri di perforazione, sulla tipologia di scavo o sul tipo di macchine operanti. Relativamente a quelle attualmente in uso per i lavori d'interesse possono semplicemente individuarsi le quattro tipologie elencate in tav. A.1, alcune delle quali possono essere congiuntamente utilizzate nell'ambito di un unico attraversamento.

Tali metodologie applicate per la posa di condotte sono del tutto analoghe per posare cavi o fasci di cavi come nel caso d'interesse.

### Tav.A.1 Le metodologie costruttive

<b>Scavi a cielo aperto</b> <i>geometrie rettilinee o in curva</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Varo” in acqua.</li> </ul>
<b>Trivellazioni senza controllo direzionale</b> <i>geometrie rettilinee</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spingitubo.</li> </ul>
<b>Trivellazioni con controllo direzionale</b> <i>geometrie rettilinee o in curva elastica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.)</li> <li>• Microtunneling.</li> </ul>

Condizione necessaria per l'adozione di una di queste metodologie è la sua stessa *compatibilità* in relazione alle caratteristiche specifiche dell'attraversamento.

I principali fattori che delimitano il campo di applicabilità di ognuna delle metodologie costruttive, e che contribuiscono a formulare nel complesso il giudizio di fattibilità tecnica dell'attraversamento, possono essere elencati come in tav. A.2. Sostanzialmente sono riconducibili alle caratteristiche idrauliche ed ambientali del corso d'acqua, alla litologia dei terreni di sub-alveo e alle condizioni operative per l'esecuzione dei lavori.


Ambito idraulico. Le caratteristiche morfologiche della sezione di attraversamento, quelle idrauliche del corso d'acqua e le caratteristiche strutturali della condotta definiscono la configurazione geometrica ammissibile per il profilo di progetto. La presenza di opere idrauliche che non possono essere alterate o manomesse, come nel caso degli argini, costituisce di frequente un vincolo sulla individuazione del sistema.

Altre sostanziali limitazioni sono riconducibili ai tempi di esecuzione e alla tipologia dei lavori in relazione al periodo di realizzazione ed al contenimento di eventuali piene.

Fattori ambientali. Il grado di sensibilità paesaggistico-ambientale dell'area di attraversamento delimita il campo di applicabilità del sistema esecutivo in relazione al tipo e quantità di alterazioni, temporanee o permanenti, ad esso connesse.

Litologia dei terreni. Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni ed il regime di filtrazione dell'acqua in sub-alveo sono i fattori che delimitano l'applicabilità del sistema in relazione al tipo di scavo e alle condizioni di stabilità dei terreni stessi.

Condizioni operative. Influiscono, ancora, la disponibilità di adeguate aree di cantiere e degli accessi, nonché i tempi di esecuzione dei lavori di attraversamento in relazione alla programmazione generale dei lavori lungo la linea.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 47 di 67	<b>Rev.</b> 0

Nel processo progettuale, soddisfatte esigenze di carattere ambientale, alcuni dei vincoli elencati sono comuni a tutte le metodologie costruttive. Infatti le caratteristiche morfologiche dell'area di attraversamento, idrauliche del corso d'acqua e costruttive della condotta contribuiscono a definire limiti ben precisi per la geometria dell'attraversamento, indipendentemente dalla metodologia prescelta.

### Tav.A.2 Fattori di compatibilità del sistema esecutivo

Ambito idraulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitazioni geometriche sul profilo di progetto in relazione al regime idraulico e alla dinamica evolutiva dell'alveo.</li> <li>• Compatibilità dei lavori con eventuali eventi di piena.</li> <li>• Ammissibilità di alterazioni temporanee su opere di difesa idraulica preesistenti.</li> <li>• Durata dei lavori in relazione al regime idraulico.</li> </ul>
Terreni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litologia dei terreni con riferimento al sistema di scavo.</li> <li>• Presenza di acqua in alveo o in sub-alveo.</li> <li>• Stabilità dei terreni in tutte le fasi esecutive.</li> <li>• Alterazioni non ammissibili nel regime di filtrazione di sub-alveo.</li> </ul>
Vincoli morfologici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitazioni geometriche sul profilo di progetto in relazione alle caratteristiche morfologiche della sezione di attraversamento.</li> </ul>
Materiali	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitazioni geometriche sul profilo di progetto in relazione alle caratteristiche costruttive della condotta.</li> </ul>
Ambito ambientale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilità ambientale dell'area con riferimento alle alterazioni temporanee indotte in fase esecuzione dei lavori e alle potenzialità di recupero a lungo termine.</li> </ul>
Condizioni operative e di programmazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempi di realizzazione dell'attraversamento in relazione alla programmazione dei lavori di linea.</li> <li>• Disponibilità di adeguate aree di cantiere, degli accessi e dei servizi.</li> </ul>



## A.1 Scavi a cielo aperto

### A.1.1 Metodologia costruttiva

La metodologia consiste nello scavo di una trincea lungo il profilo di attraversamento fino al raggiungimento delle quote di posa, nel successivo alloggiamento della condotta in fondo-scavo ed infine nel rinterro degli scavi per il ripristino morfologico dell'area. In particolare, per gli attraversamenti d'interesse, la posa della condotta nello scavo deve essere effettuata con il "varo" in acqua.

Concettualmente la metodologia di posa è piuttosto semplice.

Contemporaneamente alla prima fase di scavo, in un'apposita area di prefabbricazione viene preassemblata una colonna di varo saldando varie barre di tubo. Allo scopo di

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 48 di 67	<b>Rev.</b> 0

appesantirla, la colonna viene “gunitata” con un apposito getto di calcestruzzo sulla sua superficie esterna.

In corrispondenza della sponda dalla quale effettuare il varo, di solito in area golenale e in asse scavo, viene approntata una via a rulli (ad esempio binari e carrelli di tipo ferroviario).

La colonna prefabbricata viene posizionata sulla via a rulli, equipaggiata con dei galleggianti e successivamente fatta scorrere sui carrelli, tirandola per mezzo di un organo a fune posizionato in sponda opposta.

Completata la fase di tiro, la colonna risulta essere, in galleggiamento lungo la sezione di attraversamento, in corrispondenza della sua posizione finale. Lo sganciamento progressivo dei galleggianti ne permette l'affondamento in fondo scavo.

I controlli topografici definitivi sulla sua posizione completano le fasi di varo, prima dei lavori di rinterro e di ripristino.

Questa sequenza diventa più complessa se la lunghezza dell'attraversamento è tale da richiedere la prefabbricazione di più colonne di varo; nel qual caso, le operazioni devono essere, ad intervalli, interrotte per la saldatura delle loro testate.

Metodologie alternative a quella già descritte sono rappresentate dai sistemi che utilizzano le trivellazioni, il cui vantaggio principale rispetto alle prime consiste nella possibilità di operare in tutte le fasi costruttive senza interferenze con l'assetto di superficie dell'alveo. Sostanzialmente si tratta di realizzare un cunicolo sotterraneo, per mezzo di tecniche di trivellazione più o meno sofisticate, entro cui successivamente alloggiare la condotta.

Sono disponibili numerose tipologie che variano per il sistema di avanzamento della trivellazione e per quello di allontanamento del terreno di scavo.

Le *trivellazioni senza controllo direzionale* vengono utilizzate da diversi anni, data la loro semplicità d'impiego, ma presentano rilevanti limiti operativi di applicabilità. Le più sofisticate tecnologie delle *trivellazioni con controllo di direzione (microtunneling e trivellazioni orizzontali controllate)* hanno consentito, a partire dagli inizi degli anni ottanta, di superare molti di questi limiti operativi.

#### A.1.2 Criteri di fattibilità per attraversamenti con “scavi a cielo aperto”



I fattori che intervengono nel giudizio di fattibilità dell'attraversamento con scavi a cielo aperto sono riconducibili all'ambito idraulico del corso d'acqua, a quello ambientale dell'area di attraversamento e alla configurazione morfologica e litologica dei terreni attraversati.

La metodologia presenta fattori che risultano essere favorevoli e altri che sono sfavorevoli per il loro utilizzo (*cf. Tav. B.3*).

In generale, il sistema esecutivo è da ritenere non adeguato per aree di attraversamento ad elevata sensibilità ambientale per le quali le alterazioni indotte sull'ambiente naturale, anche se sostanzialmente temporanee e limitate alla durata dei lavori, possono risultare non sostenibili in considerazione dei movimenti terra necessari.

Il sistema risulta ancora non proponibile nell'attraversamento di corsi d'acqua regimati con importanti opere di difesa idraulica, come nel caso degli argini, che risultano essere incompatibili con le alterazioni indotte sia sul regime di filtrazione dell'acqua di sub-alveo che sul deflusso idrico di superficie.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 49 di 67	<b>Rev.</b> 0

#### Fattori favorevoli



- Attendibilità nella programmazione dei tempi esecutivi.
- Fattibilità dell'attraversamento in relazione alla variabilità litostratigrafica dei terreni (anche nei casi in cui metodi alternativi risultano inapplicabili).
- Flessibilità esecutiva: possibilità di modificare la progettazione esecutiva in corso di realizzazione per cause non previste o per adeguamenti progettuali in corso d'opera.
- Possibilità di effettuare gli scavi con differenti metodologie esecutive e facilità nel superamento di ostacoli rinvenuti in fase di scavo (trovanti, manufatti interrati...).
- Possibilità di conformare la geometria di posa della condotta alla sezione topografica di attraversamento.
- Costi di realizzazione per l'attraversamento di corsi d'acqua secondari generalmente inferiori.

#### Fattori sfavorevoli

- Interazione dei lavori con il regime di deflusso del corso d'acqua.
- Tempi di realizzazione piuttosto lunghi.
- Periodo di realizzazione vincolato dal regime idraulico del corso d'acqua: per i fiumi più importanti possibilità di eseguire i lavori solo in determinati periodi dell'anno.
- Alterazioni temporanee in corso di realizzazione dei lavori:
  - del regime idraulico,
  - delle opere di regimazione preesistenti,
  - dell'assetto ambientale dell'area di attraversamento,
  - impatto ambientale e paesaggistico.
- Onerosità dei costi per il ripristino dello stato preesistente e per la manutenzione delle opere di difesa idraulica realizzate.
- Disponibilità di aree piuttosto estese da occupare in fase esecutiva.
- Rilevanti movimenti terra in relazione alla profondità di posa della condotta.
- In caso di attraversamenti di notevole lunghezza, necessità di un'area cantiere ampia per l'ubicazione delle colonne e della pista di varo.
- Alterazione dell'assetto stratigrafico dei terreni e del reticolo idrodinamico di subalveo.
- Incompatibilità dei lavori con la presenza di importanti opere di difesa idraulica

#### *Tav. B.3 Fattori favorevoli e sfavorevoli negli attraversamenti con scavi a cielo aperto*

Date tali interferenze, l'esecuzione dei lavori di attraversamento per i corsi d'acqua più importanti è limitata esclusivamente in determinati periodi dell'anno in base all'andamento degli eventi di piena annuali. Per lo stesso motivo, in ogni caso, è necessario attrezzare il cantiere in modo che sia possibile fronteggiare eventuali situazioni di emergenza a seguito di una piena, soprattutto durante le fasi di scavo. Un'ulteriore criticità per l'applicazione della metodologia è rappresentata dalla necessità di disporre di adeguate aree di cantiere, soprattutto per quanto riguarda il deposito temporaneo dei terreni di scavo e la realizzazione della "pista di varo". Tuttavia, nonostante tali limitazioni, la realizzazione di attraversamenti con scavo a cielo aperto è il sistema esecutivo più frequentemente utilizzato per i motivi attinenti la sua versatilità (sia dal punto di vista della progettazione che da quello esecutivo), la sua

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 50 di 67	<b>Rev.</b> 0

semplicità nelle fasi costruttive (sono assenti tecnologie sofisticate) e la sua fattibilità costruttiva al variare delle condizioni litologiche ed idrauliche del corso d'acqua.

## A.2 Trivellazioni senza controllo direzionale

La trivellazione viene effettuata infiggendo nel terreno un *tubo di rivestimento*, generalmente a sezione circolare.

I limiti di applicabilità di tali tecniche sono riconducibili alla sola possibilità di trivellazioni ad asse rettilineo, di lunghezza piuttosto limitata, fino ad un massimo di 100 metri (variabile con la natura del terreno), all'impossibilità di modificarne la direzione in corso di esecuzione e all'impossibilità di operare in terreni sottofalda dato che si tratta di un sistema "aperto" dal punto di vista idraulico. Date le caratteristiche del corso d'acqua d'interesse, tale metodologia non verrà presa in considerazione per il progetto d'interesse.

## A.3 Microtunnelling

### A.3.1 Metodologia costruttiva

Il sistema consiste nell'avanzamento progressivo di una testata di perforazione cilindrica posizionata in testa ad un treno di tubi di rivestimento. L'avanzamento contemporaneo della testata e dei tubi in coda è dato dalla spinta di martinetti idraulici posizionati in coda, presso la postazione di spinta.



Il tipo di testata di trivellazione varia con la natura del terreno; può essere dotata di un sistema di perforazione puntuale (a braccio brandeggiante) o a sezione piena. Nelle applicazioni d'interesse, i tubi di rivestimento possono essere costituiti indifferentemente da barre di acciaio saldate o da anelli prefabbricati in cemento armato sovrapposti assialmente.

Il sistema consente: la realizzazione di tunnel (anche curvilinei) con l'immediata collocazione del rivestimento definitivo, il raggiungimento di lunghezze di trivellazione praticamente illimitate utilizzando stazioni di spinta intermedie, il controllo sulla direzione del tunnel in qualsiasi fase di avanzamento, il controllo remoto della testata di trivellazione, l'impermeabilizzazione e la stabilità del cavo e del fronte di scavo in tutte le fasi di lavoro, l'utilizzo di fanghi bentonitici lubrificanti per ridurre gli attriti terreno-tubo di rivestimento ed infine la possibilità di eseguire eventuali iniezioni di malte sui terreni di perforazione nella fase finale dei lavori.

L'insieme di queste caratteristiche ed il corretto utilizzo delle attrezzature consentono di ottenere una notevole riduzione dei cedimenti nel terreno e delle alterazioni nel regime di filtrazione di sub-alveo.

### A.3.2 Criteri di fattibilità per attraversamenti con "microtunnelling"

Il giudizio di fattibilità di un attraversamento mediante la tecnica del microtunnel discende usualmente da una serie di considerazioni riguardanti generalmente la natura dei terreni

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 51 di 67	<b>Rev.</b> 0

da attraversare, la geometria dell'attraversamento, la profondità dei pozzi ed infine la disponibilità di adeguate aree di cantiere.

Nel seguito verranno dettagliati i criteri secondo i quali tali argomenti influiscono sulla formulazione di tale giudizio. Nel successivo capitolo verranno esposti i relativi approcci progettuali.

#### *Natura del terreno*

La natura del terreno riveste, come è ovvio nel caso di una trivellazione, una importanza primaria per la fattibilità dell'attraversamento soprattutto in relazione alla sua stessa variabilità litologica lungo il profilo di trivellazione, alla tipologia di testata di perforazione adottata e infine al diametro del tunnel. Le metodologie di trivellazione oggi disponibili permettono di affrontare con successo terreni sia di natura incoerente, che coesiva e rocciosa. Il litotipo da perforare determina tuttavia, oltre che la tipologia degli utensili di scavo, anche e soprattutto il tipo di fresa da adottare.

Relativamente ai terreni di trivellazione, la fattibilità è in generale rapportabile, più che alla loro natura litologica in quanto tale, alla variabilità litologica lungo il profilo di trivellazione ed, in caso di terreni sciolti, alla presenza di inclusi lapidei.

E' opportuno porre in evidenza che i rischi connessi con eventuali insuccessi in fase di trivellazione consistono, oltre che nella impossibilità di avanzamento della fresa, in serie difficoltà di recupero della macchina. In quest'ambito, le frese che permettono l'accesso al fronte di scavo presentano senz'altro una maggiore flessibilità di impiego e minori rischi esecutivi nel senso sopra esposto, ma in genere non possono essere utilizzate sottofalda.

La natura del terreno da attraversare influenzi la scelta della testata di perforazione ed il campo di applicabilità della metodologia stessa, soprattutto nel caso di terreni con elevate percentuali di trovanti.

In terreni coesivi e non coesivi in assenza di trovanti, le frese attualmente disponibili sono idonee per la perforazione in un vasto campo di diametri, dai 250 fino ai 1800 mm. All'aumentare della percentuale e delle dimensioni dei trovanti, aumenta il valore dei diametri minimi di perforazione.



Un ruolo importante, nel caso di scavo in trovanti a mezzo di frese integrali, viene svolto dalla compattezza del terreno: quando si lavori in terreni incoerenti molto addensati o coesivi compatti, i quali esplicano una efficace azione di incastro sui trovanti (permettendo ai dischi della fresa di aggredirli e tagliarli), i diametri minimi possono essere ridotti.

#### *Tipologia della testata di perforazione*

Per quanto riguarda la tipologia di fresa da adottare, frese a testa aperta senza dispositivi di confinamento sono utilizzabili in terreni coesivi ed in assenza di falda; esse non possono pertanto essere impiegate, in generale, nell'attraversamento di alvei fluviali mentre possono esserlo, ad esempio, nella realizzazione di trivellazioni al di sotto di strutture arginali.

Frese a testa chiusa sono di massima utilizzabili sia in terreni coesivi che incoerenti; mentre nei primi può essere utilizzato il sistema a pressione di terreno o ad aria compressa, nei secondi, causa la elevata permeabilità e l'assenza di coesione, viene in generale preferito il sistema a pressione con fanghi.

In presenza di falda il bilanciamento della pressione idrica viene generalmente conseguito con pressione di fanghi od aria compressa.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 52 di 67	<b>Rev.</b> 0

Altro limite dovuto alla natura dei terreni da attraversare è quello legato alla eterogeneità degli stessi: mentre infatti nelle frese di tipo puntuale gli utensili di taglio possono essere sostituiti in corso d'opera, il cambio della tipologia di fresa non è generalmente possibile per le macchine integrali. Pertanto problemi in fase di trivellazione possono insorgere, in relazione alla tipologia di fresa adottata, nel caso di terreni caratterizzati da marcata variabilità in asse al tunnel; caso, questo, frequentemente rilevato in trivellazioni in roccia nelle quali vengano riscontrate lenti di materiale sciolto e soffice ed ancora in terreni alluvionali o morenici in cui si rinvergono trovanti di dimensioni rilevanti.

#### *Geometria di attraversamento*

La geometria di attraversamento, come già descritto, viene determinata sia in base alla configurazione idraulica del corso d'acqua che alla situazione geomorfologica del sito e alle caratteristiche strutturali della tubazione.

Una volta definita la copertura di progetto, la scelta tra le tipologie di trivellazione disponibili (ed in particolare tra quelle ad asse curvo e rettilineo) comporta notevoli riflessi sugli aspetti di fattibilità.

In caso di forti coperture in alvei incisi, ad esempio, la scelta di assi di trivellazione rettilinei porta a notevoli profondità dei pozzi di spinta e di arrivo, con conseguenti problemi sia dal punto di vista esecutivo (soprattutto in presenza di falda) che economico; d'altronde geometrie ad asse curvilineo, pur consentendo una sostanziale riduzione della profondità dei pozzi, rappresentano in generale contenuti tecnologici più elevati rispetto alle trivellazioni rettilinee e comportano maggiore lunghezza della trivellazione, aumento delle aree di cantiere, dilatazione dei tempi di costruzione e dei relativi costi.

#### *Postazioni di trivellazione e di arrivo*



Il giudizio di fattibilità non può prescindere da una attenta valutazione delle problematiche connesse con la realizzazione dei pozzi di partenza e di arrivo, sia in relazione alla natura dei terreni (pendenza delle pareti per scavi di sbancamento, infiggibilità di palancole, scalabilità e sostegno delle pareti di scavo), che alla presenza di falda (rischi di sifonamento a fondo scavo, possibilità di aggrottamento dell'acqua e di depressione del livello di falda) ed alla profondità massima realizzabile con ciascuna tecnologia.

#### *Disponibilità di aree di cantiere*

Infine, deve essere valutata la disponibilità di adeguate aree per l'installazione del cantiere e per lo stoccaggio temporaneo dei materiali e l'esistenza di accessi idonei al transito dei mezzi d'opera.

Questo aspetto non rappresenta in generale in ambiti fluviali particolari difficoltà, soprattutto in conseguenza delle ridotte dimensioni delle installazioni necessarie per l'esecuzione dei lavori di trivellazione. Qualche difficoltà potrebbe presentarsi nel reperimento delle aree da adibire a pista di varo durante le operazioni di posa della condotta all'interno del tunnel.

Nella pratica operativa, gli unici limiti vengono in genere rappresentati da situazioni morfologiche particolarmente accidentate o ancora da infrastrutture (di solito rilevati stradali o ferroviari) eventualmente esistenti in prossimità al corso d'acqua, ad una distanza tale da ridurre eccessivamente gli spazi disponibili. In quest'ultimo caso, le soluzioni adottabili possono contemplare, se necessario, il prolungamento della trivellazione fino a comprendere il superamento della infrastruttura.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 53 di 67	<b>Rev.</b> 0

#### A.4 Trivellazione orizzontale controllata

##### A.4.1 Metodologia costruttiva

Si tratta di un sistema di trivellazione derivato dai metodi di perforazione direzionale per pozzi petroliferi.

In una prima fase viene realizzato un *foro pilota* di piccolo diametro lungo il profilo di progetto prestabilito, generalmente curvo, utilizzando una lancia a getti - o in alternativa un motore a fanghi - collegata in testa a delle aste di perforazione. La testata di perforazione effettua sia l'azione di taglio meccanico del terreno che le deviazioni necessarie per seguire la direzione di progetto.

La seconda fase di *alesaggio* ha lo scopo di "allargare" il foro pilota fino al diametro idoneo per l'alloggiamento della condotta. Il numero degli alesaggi e le dimensioni degli appositi alesatori utilizzati, dipendono da diversi fattori (natura dei terreni, diametro della condotta, sforzi di tiro ammissibili...).

Infine il *tiro-posa* della condotta viene effettuato tramite il tiro delle aste di perforazione, in coda alle quali è collegata la condotta stessa.

Il sistema si presta a raggiungere notevoli profondità di sub-alveo permettendo, così, di mantenere adeguate distanze di sicurezza da strutture preesistenti, come ad esempio argini. E' caratterizzato da una sostanziale rapidità di esecuzione. I suoi limiti sono riconducibili alla litologia dei terreni e alla morfologia del corso d'acqua.

In relazione a quanto sopradetto, di seguito vengono analizzati i criteri di fattibilità che riguardano gli attraversamenti con scavi a cielo aperto, con microtunnelling e con T.O.C. (Horizontal Directional Drilling).

##### A.4.2 Criteri di fattibilità per attraversamenti con "T.O.C."

La fattibilità di un attraversamento mediante trivellazione orizzontale controllata dipende essenzialmente da quattro ordini di fattori:

- disponibilità di aree adeguate;
- geometria dell'attraversamento;
- compatibilità con la rete idrodinamica di sub-alveo;
- natura litostratigrafica dei terreni.



##### **Disponibilità delle aree di cantiere**

La principale valutazione da effettuare in relazione alla disponibilità di adeguate aree di cantiere riguarda lo spazio necessario per la preparazione della colonna pre-saldata sulla "pista di varo".

Infatti, per evitare possibili fenomeni di blocco della condotta durante le pause di tiro-posa per saldatura, collaudo e rivestimento dei giunti, è desiderabile (anche se non sempre e strettamente necessario) poter approntare la colonna in una unica sezione di tiro pre-saldata.

Pertanto, la lunghezza dell'attraversamento e la possibilità di effettuare interruzioni del tiro-posa stanno alla base della valutazione della minima estensione longitudinale dell'area di cantiere.

La pista di varo può necessitare una configurazione geometrica complessa, con la realizzazione di un eventuale rilevato, in relazione alle caratteristiche strutturali della condotta da posare. Durante la fase di tiro-posa, infatti, la condotta deve sempre

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 54 di 67	<b>Rev.</b> 0

configurarsi con un profilo geometrico compatibile con le tensioni ammissibili del materiale di cui è costituita.

Deve essere inoltre disponibile una adeguata area di cantiere in prossimità delle due sponde, per l'installazione di tutte le apparecchiature e lo stoccaggio dei materiali.

### **Congigurazione geometrica e compatibilità con la rete idrodinamica**

Come descritto per le precedenti tipologie di attraversamento, le caratteristiche strutturali e geometriche della condotta definiscono i limiti ammissibili per la geometria della trivellazione, in particolare per quanto riguarda il raggio di curvatura minimo e gli angoli in entrata ed uscita rispetto all'orizzontale.

L'esame della fattibilità di un attraversamento richiede pertanto la valutazione della effettiva possibilità di applicare una determinata geometria della condotta alla morfologia del sito da trivellare.

Gli angoli di ingresso ed uscita variano preferibilmente (in funzione della rigidità della condotta e del tipo di rig) tra i 5° ed i 18° sull'orizzontale, anche se attrezzature particolari possono attualmente raggiungere inclinazioni sull'orizzontale di 45°.

Il raggio di curvatura della trivellazione deve essere determinato in modo da non superare quello ammissibile per la condotta e da facilitare le operazioni di tiro-posa; generalmente, i raggi di curvatura della condotta ammissibili non sono inferiori a 1000 volte il suo raggio.

Infine, la definizione del profilo di progetto non può non tenere in conto le limitazioni dovute alla presenza di strutture ed infrastrutture in adiacenza o sull'asse di perforazione; in tali casi, debbono essere tenute distanze di sicurezza dettate sia da valutazioni relative alla stabilità (di cui si tratterà estesamente nel capitolo dedicato alle verifiche di progetto) che da esigenze di tipo ambientale ed operativo.

In generale la fattibilità di una T.O.C. per l'attraversamento di un corso d'acqua risulta critica ogniqualvolta risulta possibile il verificarsi di un percorso di filtrazione "preferenziale" lungo la condotta posata con resistenza idraulica inferiore a quella preesistente, naturalmente presente e relativa al minimo percorso di filtrazione.



Inoltre, può essere necessario mantenere distanze adeguate (fissate in 10 m nel regolamento del *NOVA Corp. of Alberta, Calgary*) dal letto fluviale per minimizzare i rischi di inquinamento da bentonite conseguenti ad eventuali *blow-out*, mentre la necessità di evitare azioni di disturbo al sistema magnetico di rilevamento direzionale impone l'adozione di distanze di sicurezza (dell'ordine dei 25 m) da strutture in acciaio (quali ad esempio condotte in parallelo) esistenti in prossimità della sezione di attraversamento.

### **Natura del terreno**

La conoscenza delle caratteristiche geotecniche e stratigrafiche del terreno da attraversare è essenziale per esprimere il giudizio di fattibilità, nel caso della T.O.C. come in ogni altro progetto di attraversamento ed in particolare per gli attraversamenti di tipo trenchless.

Per la definizione della influenza che la natura del terreno riveste nel processo decisionale, è importante una conoscenza del comportamento delle diverse litologie in fase di trivellazione. In generale, il foro trivellato può comportarsi in due modi diversi, dipendentemente dalla natura del terreno attraversato:

- in terreni prevalentemente coesivi prevale generalmente il comportamento "a foro aperto": il terreno viene tagliato meccanicamente ed il foro resta aperto per un tempo variabile, ma comunque sufficiente a permettere le operazioni di tiro-posa senza richiudersi. In questo caso, si verifica all'interno del foro un flusso costante di miscela di

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 55 di 67	<b>Rev.</b> 0

perforazione, dagli alesatori alla superficie, che mantiene in sospensione il materiale di scavo e lo avvia all'esterno;

- in terreni incoerenti, prevale invece il comportamento “a foro fluido”, nel quale il foro in quanto tale non esiste e l'azione di taglio, prevalentemente idraulica, è esercitata dai getti di fango che si miscelano ai materiali incontrati costituendo un volume uniforme di terreno allo stato fluido, assimilabile ad un “tubo di flusso”. In questo caso, il flusso di fanghi dagli alesatori alla superficie non è mantenuto, in quanto tutti i fanghi immessi si miscelano al terreno di scavo. Durante il tiro-posa la condotta viene pertanto tirata facendola di fatto galleggiare all'interno del tubo di flusso.

Le due schematizzazioni sopra riportate corrispondono, naturalmente, a comportamenti estremi; nello stesso tipo di terreno essi saranno presenti in funzione del diametro del foro da eseguire. Inoltre, in conseguenza delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni alluvionali generalmente riscontrati negli attraversamenti fluviali, in genere è molto probabile che in uno stesso attraversamento coesistano entrambi i tipi di comportamento.

La struttura del foro aperto, che è la più favorevole per la posa della condotta, si verifica con maggiore probabilità all'aumentare dello stato di consistenza nelle argille e dell'addensamento nelle sabbie. In quest'ultimo caso, il foro può rimanere aperto anche grazie ai deboli fenomeni di cementazione che frequentemente si riscontrano in sabbie molto addensate in ambito fluviale.



Le perforazioni mediante T.O.C. sono generalmente realizzabili in un vasto campo di litotipi, esteso dalle argille molli fino alle rocce tenere. E' evidente l'ampiezza di tali limiti, pur restando requisiti essenziali per la riuscita della perforazione l'esperienza dell'impresa esecutrice e l'eventuale adattamento delle attrezzature di scavo alle situazioni litologiche locali.

Le limitazioni alla fattibilità dell'attraversamento collegate alla natura litostratigrafica dei terreni sono riconducibili essenzialmente a due situazioni particolarmente gravose: perforazione di litotipi rocciosi e di terreni aventi una elevata percentuale di materiale grossolano.

In presenza di roccia, è possibile effettuare la trivellazione ma è necessario osservare che, in relazione alla durezza del materiale ed al diametro della tubazione da installare, possono nascere difficoltà legate alla disponibilità di utensili ed aste di perforazione appropriati agli sforzi previsti.

La presenza di materiale grossolano (ghiaia, ciottoli, detrito grossolano, roccia intensamente fratturata) costituisce uno dei limiti più marcati di questo tipo di trivellazione, soprattutto quando la percentuale di elementi con dimensioni della ghiaia o superiori sia maggiore del 60% in peso del totale; oltre tale limite, infatti, la granulometria dei terreni costituisce un ostacolo sia per le operazioni di alesatura che per il mantenimento del foro.

Anche in presenza di percentuali inferiori, tuttavia, l'utilizzo della T.O.C. può essere problematico, perché tutti materiali di risulta dello scavo (*cuttings*) che non restano in sospensione tendono a depositarsi sul fondo del foro e, durante la fase di tiro-posa, davanti alla sezione di tiro. Per questo motivo in presenza di ghiaia e ciottoli può essere opportuno allargare il foro ad un diametro almeno doppio rispetto a quello della tubazione da posare; così facendo, durante il tiro-posa la condotta può scorrere al di sopra del materiale depositato, senza trascinarlo ed evitando quindi il blocco della colonna.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 56 di 67	<b>Rev.</b> 0

Concludendo queste considerazioni preme comunque ribadire che, analogamente a quanto accade per le altre tipologie trenchless (micro- e mini-tunneling, spingitubo), le schematizzazioni sopra riportate hanno valore puramente indicativo, essendo necessario affrontare ogni attraversamento come un caso a se stante, valutando correttamente tutte le situazioni locali che possono costituire pregiudizio per la buona riuscita del lavoro.

Si segnala, ad esempio, come le combinazioni tra i diversi tipi di terreno possano costituire elemento decisivo per l'espressione del giudizio di fattibilità, soprattutto con riferimento alle zone di contatto o transizione tra litotipi diversi ed alla influenza che la natura dei terreni ha sulla scelta degli utensili di perforazione; è evidente che marcate disomogeneità nella resistenza al taglio e nella natura del terreno, con alternanze tra materiali lapidei e terrosi aventi rapporti tra gli strati e/o giaciture sfavorevoli, possono costituire, in tal senso, un sensibile motivo di impedimento all'applicazione del metodo.

Un altro elemento da valutare, di difficile schematizzazione se riferito al caso generale, è quello del rischio di rottura del terreno per effetto dei fanghi di perforazione: le pressioni di tali fanghi, utilizzate per assicurare la necessaria azione di taglio nel terreno e/o il trasporto dei *cuttings* verso la superficie, possono provocare fenomeni di *blow-out*, soprattutto in corrispondenza dei tratti di perforazione a modesta profondità, qualora particolari condizioni locali (ad esempio nel caso di un pre-esistente stato di fessurazione diffusa del terreno) favoriscano lo sviluppo di rotture al di sopra della tubazione oppure quando, per motivi operativi, si renda necessario un incremento temporaneo delle pressioni di lavoro.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 57 di 67	<b>Rev.</b> 0

## APPENDICE B - STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI BH12, S1, S2, S3 e S8 E FOTOGRAFIE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI

Per l'ubicazione dei sondaggi si rimanda alla Figura 5.1/A.

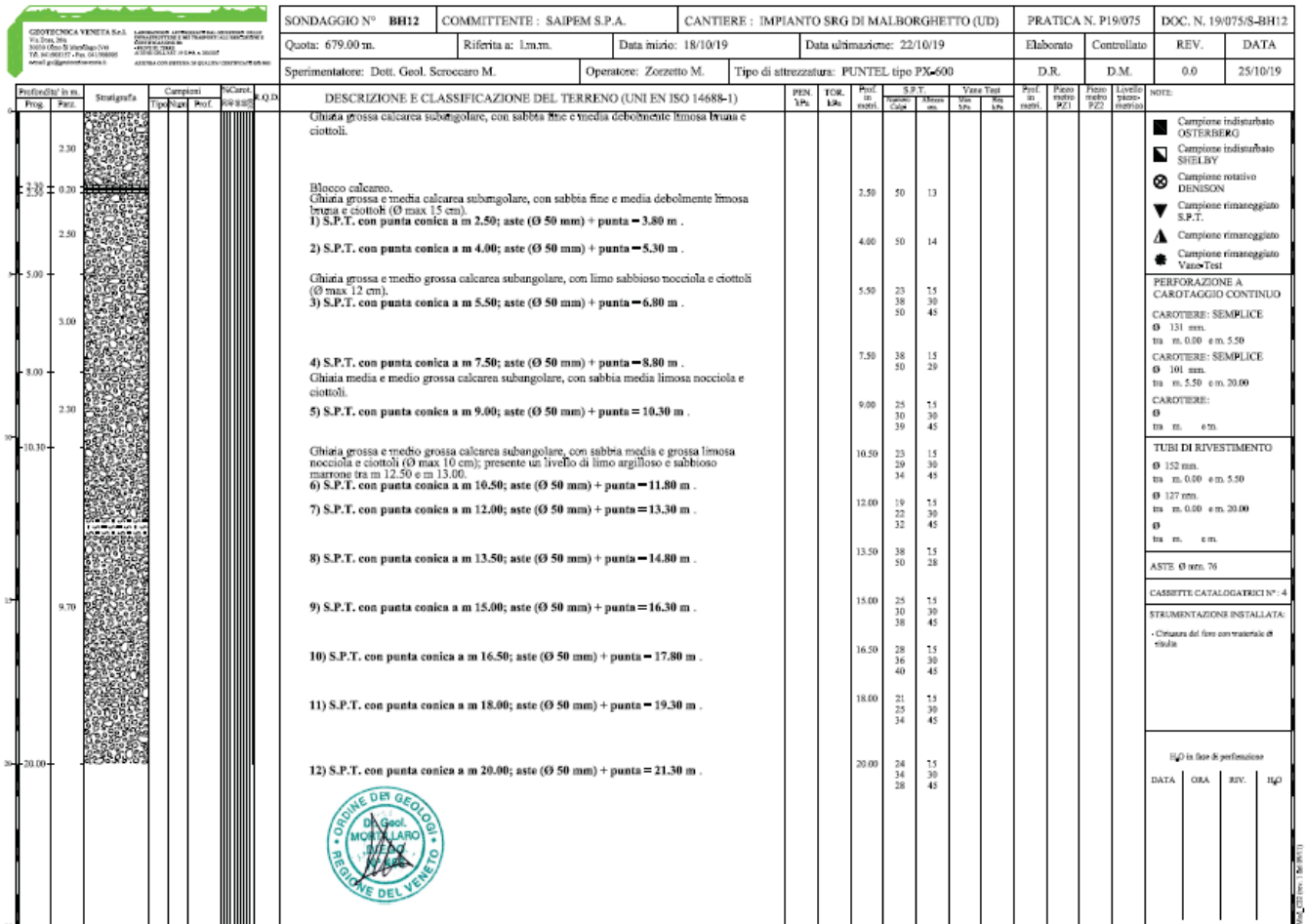






Figura A/2 – Colonna stratigrafica sondaggio BH12 (estratto dal Doc./8/)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 58 di 67	<b>Rev.</b> 0





*Figura A/3 – Documentazione fotografica sondaggio BH12 (estratto dal Doc./8/)*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 59 di 67	<b>Rev.</b> 0



<b>Sondaggio S01</b>	
Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0 – 0.15	Limi sabbiosi organici (orizzonte A)
0.15 – 0.6	Limi sabbioso ghiaiosi bruno scuro
0.6 – 3.0	Ghiaie con sabbie limose/sabbie con ghiaie limose (ghiaie eterometriche, con fini prevalenti, comuni clasti grossolani), di colore beige
3.0 – 4.0	Sabbie limose con ghiaie (ghiaie fini prevalenti), di colore beige
4.0 – 4.5	Trovante di calcari grigi
4.5 – 6.6	Limi sabbiosi con ghiaie (ghiaie fini prevalenti), di colore bruno
6.6 – 9.9	Alternanze di limi ghiaioso da sabbiosi a con sabbia e sabbie limose da ghiaiose a con ghiaie (ghiaie eterometriche con clasti grossolani frequenti), di prevalente colore beige
9.9 – 10.5	Ghiaie grossolane sabbioso limose
11.5 – 14.0	Sabbie ghiaiose con limi (ghiaie eterometriche, clasti grossolani comuni). Livello di sabbie fini (13,4-13,6). Prevalente colore beige rosato
14.0 – 17.0	Ghiaie (in prevalenza fini, clasti grossolani comuni, piccoli trovanti) limose con sabbie, di colore bruno grigiastro
17.0 – 18.7	Ghiaie grossolane e medie (con piccoli trovanti) sabbiose debolmente limose, di colore bruno
18.7 – 19.8	Ghiaie (in prevalenza fini, con piccolo trovante) sabbioso limose, di colore bruno
19.8 – 20.0	Sabbie ghiaiose (in prevalenza fini) con limo, di colore bruno

*Figura A/4 – Colonna stratigrafica sondaggio S1 (estratto dal Doc./10/)*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 60 di 67	<b>Rev.</b> 0



Sondaggio S01		
<b>Modalità indagine</b>	Sondaggio verticale	 <p>Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
<b>Data</b>	24/09/2019	
<b>Profondità raggiunta</b>	20.0 m da p.c.	
<b>Livello di Falda (m da p.c.)</b>	n.n.	 <p>Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m</p>
<b>Campioni Prelevati:</b> A: Ambientale GT: Geotecnico	S1 (0-1m) - A S1 (1-2m) - A S1 (2-3m) - A	
 <p>Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m</p>		 <p>Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m</p>

Figura A/5 – Scheda fotografica sondaggio S1 (estratto dal Doc./10/)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 61 di 67	<b>Rev.</b> 0

Sondaggio S02	
Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0 – 2.5	Sabbie ghiaiose (in prevalenza fini) debolmente limose grigio biancastre
2.5 – 3.0	Trovante (Calcari marnosi rosati)
3.0 – 4.6	Limi massivi marroni, soffici. Livelli di limi sabbiosi debolmente ghiaiosi (3.0-3.1 m; 3.8-3.9 m)
4.6 – 10.5	Ghiaie eterogenee (con prevalenza di ghiaie fini) limose con sabbia. Diffusi livelli di limi sabbioso ghiaiosi; tra 8.7-8.85 m limi debolmente ghiaiosi. Colore prevalente bruno rosato
10.5 – 12.2	Ghiaie fini sabbioso limose bruno grigiastre
12.2 – 15.1	Ghiaie eterogenee sabbioso limose, colore bruno rosato; trovante 14.9-15.1 m
15.1 – 17.0	Limi sabbiosi/debolmente sabbiosi, argillosi e ghiaiosi, di colore marrone; livello di limi debolmente argillosi marroni, consistenti tra 15.4-15.5 m e 16.85-17.0 m
17.0 – 18.7	Limi sabbiosi debolmente argillosi e ghiaiosi (ghiaie fini), di colore grigio brunastro. Trovante di calcare grigio tra 17.0-17.2 m; limi argillosi grigi tra 17.8-18.3
18.7 – 19.1	Limi sabbiosi debolmente argillosi, di colore marrone. Trovante di calcare grigio tra 18.9-19.0 m
19.1 – 20.0	Limi sabbioso ghiaiosi, di colore grigio marrone, consistenti da 19.5 m

Figura A/6 – Colonna stratigrafica sondaggio S2 (estratto dal Doc./10/)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 62 di 67	<b>Rev.</b> 0









Sondaggio S02		
<b>Modalità indagine</b>	Sondaggio verticale	
<b>Data</b>	16/09/2019	
<b>Profondità raggiunta</b>	20.0 m da p.c.	<p style="text-align: center;">Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
<b>Livello di Falda (m da p.c.)</b>	n.n.	
<b>Campioni Prelevati:</b> A: Ambientale GT: Geotecnico	S2 (0-1m) - A S2 (1-2m) - A S2 (2-3m) - A	
		

Figura A/7– Scheda fotografica sondaggio S2 (estratto dal Doc./10/)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 63 di 67	<b>Rev.</b> 0

<b>Sondaggio S03</b>	
<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>Descrizione stratigrafica</b>
0.0 – 1.5	Sabbie ghiaiose (in prevalenza fini) limose grigio biancastre
1.5 – 2.0	Trovante
2.0 – 3.0	Limi e limi debolmente sabbiosi marroni. Livello di limi sabbiosi debolmente ghiaiosi (2.2-2.4 m) e di limi con sabbia ghiaiosi (2.7-2.9 m)
3.0 – 3.6	Limi sabbiosi debolmente ghiaiosi beige
3.6 – 6.2	Limi ghiaiosi con sabbia grigio brunastri e sabbie ghiaiose con limi, di colore grigio brunastro (ghiaie fini prevalenti, con clasti grossolani comuni). Livello di limi e limi debolmente sabbiosi tra 5.6-5.9 m
6.2 – 7.0	Limi sabbioso ghiaiosi (ghiaie in prevalenza medie e grossolane) di colore beige
7.0 – 9.6	Prevalenti limi sabbioso ghiaiosi e sabbie con limo ghiaiose (ghiaie eterometriche, con prevalenza di fini e medie; clasti grossolani frequenti). Colore beige.
9.6 – 16.0	Alternanze di prevalenti limi ghiaiosi con sabbie/sabbiosi e di sabbie ghiaiose con limo, di prevalente colore bruno grigiastro. Livelli di limi debolmente argillosi (9.75-10.1 m; 11.5-11.8 m) e limi sabbiosi (10.7-10.8 m); livello di ghiaie (in prevalenza medie e fini) sabbioso limose beige (15.0-15.5 m)
16.0 – 17.0	Limi ghiaioso (ghiaie grossolane e medie prevalenti) sabbiosi, di colore beige.
17.0 – 17.5	Limi sabbioso ghiaiosi (ghiaie in prevalenza fini) di colore beige
17.5 – 18.1	Ghiaie (in prevalenza medie e fini) sabbioso limose beige
18.1 – 18.3	Limi beige
18.3 – 20.0	Prevalenti limi ghiaioso (ghiaie in prevalenza fini, con piccoli trovanti) sabbiosi, di colore beige, moderatamente consistenti



*Figura A/8 – Colonna stratigrafica sondaggio S3 (estratto dal Doc./10/)*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 64 di 67	<b>Rev.</b> 0

<b>Sondaggio S03</b>		
<b>Modalità indagine</b>	Sondaggio verticale	 <p style="text-align: center;">Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
<b>Data</b>	25/09/2019	
<b>Profondità raggiunta</b>	20.0 m da p.c.	 <p style="text-align: center;">Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m</p>
<b>Livello di Falda (m da p.c.)</b>	8.45	
<b>Campioni Prelevati:</b> A: Ambientale GT: Geotecnico	NO	 <p style="text-align: center;">Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m</p>  <p style="text-align: center;">Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m</p>



Figura A/9 – Scheda fotografica sondaggio S3 (estratto dal Doc./10)



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 65 di 67	<b>Rev.</b> 0

Sondaggio S08	
Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0 – 1.5	Sabbie limose debolmente ghiaiose, grigio biancastre
1.5 – 5.0	Sabbie limoso ghiaiose (in prevalenza fini); subordinate ghiaie limose con sabbie; colore prevalente bruno grigiastro
5.0 – 6.0	Sabbie limoso ghiaiose (ghiaie eterometriche, in prevalenza medie e grossolane con piccoli trovanti), di colore grigio brunastro
6.0 – 8.3	Ghiaie eterometriche sabbioso limose, di colore bruno grigiastro
8.3 – 8.7	Limi debolmente sabbiosi e argillosi, marroni, consistenti
8.7 – 8.9	Limi argillosi grigi, plastici, con trovante
8.9 – 9.4	Sabbie limose con ghiaie/ghiaiose (ghiaie fini), di colore bruno grigiastro
9.4 – 12.0	Limi sabbiosi debolmente argillosi e ghiaiosi, di colore bruno grigiastro, moderatamente consistenti da 11.4 m
12.0 – 12.8	Limi sabbiosi ghiaiosi (in prevalenza ghiaie fini), di colore bruno grigiastro
12.8 – 14.4	Limi e limi debolmente sabbiosi con piccoli trovanti; intercalazioni irregolari (principale tra 13.4-13.7 m) di ghiaie fini con sabbie; colori da marrone a bruno grigiastro
14.4 – 15.0	Limi sabbiosi debolmente ghiaiosi (in prevalenza ghiaie fini millimetriche)

Figura A/10 – Colonna stratigrafica sondaggio S8 (estratto dal Doc./10/)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 66 di 67	<b>Rev.</b> 0






Sondaggio S08	
<b>Modalità indagine</b>	Sondaggio verticale
<b>Data</b>	19/09/2019
<b>Profondità raggiunta</b>	15.0 m da p.c.
<b>Livello di Falda (m da p.c.)</b>	n.n.
<b>Campioni Prelevati:</b> <b>A: Ambientale</b> <b>GT: Geotecnico</b>	S8 (0-1m) - A S8 (1-2m) - A S8 (2-3m) - A
	
Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m	
	
Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m	
	
Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m	

Figura A/11 – Scheda fotografica sondaggio S8 (estratto dal Doc./10/)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 023093	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ:</b> Regione Friuli	<b>SPC. LA-E-80406</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> <b>COD. TEC.</b>	<b>PROGETTO:</b> ADEGUAMENTO IMPIANTO COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO	Fg. 67 di 67	<b>Rev.</b> 0

**APPENDICE C - Indagini geognostiche geotecniche propedeutiche alla realizzazione di una nuova rete elettrica MT attraversante il Torrente Fella mediante la tecnica del microtunnelling, nell'ambito dell'adeguamento impianto SRG di Malborghetto (UD) Geotecnica Veneta s.r.l., pratica P20/104.**

**APPENDICE D – Analisi granulometriche sui campioni prelevati, Sondaggi P1, P2 e P3. Laboratorio geomeccanico Orazi, Novembre 2020.**