

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

Metanodotto

**RIFACIMENTO ALLACCIAMENTO ALMA DISTRIBUZIONE
DN 100 (4") – DP 75 bar**

ATTRAVERSAMENTO IN TOC
CANALE VALTORTO

RELAZIONE GEOTECNICA TOC



| | | | | | |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | | | | |
| 1 | Emissione per Appalto | Polloni | Battisti | Luminari | 15.06.2018 |
| 0 | Emissione per permessi | Polloni | Battisti | Luminari | 08.06.2018 |
| Rev. | Descrizione | Elaborato | Verificato | Approvato | Data |

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 4 |
| 1.1 | Generalità | 4 |
| 1.2 | Scopo della relazione | 4 |
| 2 | LOCALIZZAZIONE DELL'ATTRAVERSAMENTO | 6 |
| 3 | CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA | 9 |
| 3.1 | Inquadramento fisico dell'area | 9 |
| 3.2 | Caratteristiche stratigrafiche | 10 |
| 3.3 | Caratterizzazione geotecnica | 11 |
| 4 | CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE | 12 |
| 5 | SCELTA DEL PROFILO DI TRIVELLAZIONE..... | 13 |
| 5.1 | Localizzazione dei punti di entrata e di uscita | 13 |
| 5.2 | Profondità del profilo | 14 |
| 5.3 | Raggi di curvatura | 15 |
| 5.4 | Angoli di ingresso e di uscita | 18 |
| 5.5 | Individuazione del corridoio litologicamente idoneo | 20 |
| 6 | DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO | 22 |
| 7.1 | Generalità | 24 |
| 7.2 | Metodologia | 24 |
| 7.3 | Calcolo della perdita di carico | 27 |
| 7.4 | Calcoli e risultati | 29 |
| 8 | CEDIMENTI DEL TERRENO IN FASE DI PERFORAZIONE..... | 36 |
| 8.1 | Generalità | 36 |
| 8.2 | Metodologia | 36 |

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

| | | |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| 8.3 | Risultati | 37 |
| 9 | CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE..... | 38 |

ALLEGATO 1 - Indagini geognostiche

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

1 PREMESSA

1.1 Generalità

Tutta l'area ravennate interessata dal tracciato è, secondo il PAI, a potenziale rischio di allagamento. La Normativa del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico (PAI), nel Testo coordinato con le varianti introdotte (approvato con Delibera Giunta Regionale n. 2112 del 5 dicembre 2016) all'Art. 3, stabilisce che anche nelle aree ad elevata probabilità di esondazione è consentita *“la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico essenziali e non delocalizzabili”*, *“a condizione che non aumentino il livello di rischio comportando significativo ostacolo al deflusso o riduzione apprezzabile della capacità d'invaso ...”*.

Il tracciato del metanodotto in oggetto attraversa, nel suo sviluppo intorno alla città di Ravenna, numerosi corsi d'acqua sia di primaria importanza che secondari. Il criterio progettuale che si è adottato è stato quello di posizionare sempre gli attraversamenti in subalveo e di scegliere, almeno per i corsi principali, tecnologie di installazione della tubazione che permettessero da una parte di non incidere minimamente sull'ambiente e sulla dinamica fluviale, dall'altra di posizionare la condotta in profondità, in posizione sicura e protetta nei confronti di qualsiasi fenomeno idraulico.

Tali tecnologie sono rappresentate dai cosiddetti metodi trenchless che permettono l'installazione della condotta tramite *perforazione orizzontale controllata (T.O.C.)* oppure tramite *trivellazione con spingitubo*.

Le installazioni in tal modo eseguite consentono di rispettare le prescrizioni PAI di non ostacolare il deflusso idrico e di non ridurre affatto la capacità d'invaso.

1.2 Scopo della relazione

La presente relazione illustra i criteri e le verifiche tecniche alla base della progettazione della trivellazione orizzontale controllata (TOC) per l'attraversamento del Canale Valtorto da parte della tubazione del metanodotto Snam *“Rifacimento Allacciamento Alma Distribuzione”* DN 100 (4”) – DP 75 bar.

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

Il progetto prevede tramite tale tecnica trenchless l'installazione in subalveo della tubazione del metanodotto DN 100 mm (4"), come riportato nell'elaborato grafico AT-15988-04.

Di seguito vengono esposti i criteri di scelta del profilo di trivellazione in funzione delle particolarità del sito, morfologiche e litologiche, e di dimensionamento della sua geometria in funzione delle caratteristiche della tubazione e dei terreni attraversati.

Sono riportate le verifiche per il dimensionamento della TOC finalizzata all'installazione della condotta del metanodotto, ivi comprese quelle geotecniche relative alla compatibilità della pressione dei fanghi con la resistenza del terreno; in mancanza di rilevati arginali nella sezione di attraversamento non si sono eseguite le relative verifiche nei confronti del sifonamento.

Vengono inoltre fornite indicazioni di carattere operativo per l'esecuzione della trivellazione; resta comunque a carico dell'impresa appaltatrice stabilire, documentandone l'adeguatezza alla situazione locale, le esatte modalità, equipaggiamenti, diametri di perforazione da impiegare per condurre la TOC con successo e senza danno alla condotta da installare.

Per il presente studio ci si è basati sui risultati di una specifica indagine geognostica, di prove di laboratorio geotecnico e caratterizzazione geotecnica riportate nella relazione geologica COMIS NR/08283/NR/17135-200 nella relazione geotecnica COMIS NR/08283/NR/17135-202.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

2 LOCALIZZAZIONE DELL'ATTRAVERSAMENTO

L'attraversamento in progetto, finalizzato all'attraversamento in subalveo del Canale Valtorto, si ubica lungo il tracciato del metanodotto "Rifacimento Allacciamento Alma distribuzione" alla progressiva km 2+600 e ricade nel territorio del comune di Ravenna, a NW del centro cittadino. Il sito si localizza nel foglio IGM 89 Ravenna a scala 1:100.000 e nella sezione n. 223141, della cartografia tecnica regionale della Regione Emilia Romagna a scala 1:10.000.

Di seguito viene mostrata la localizzazione dell'area in studio lungo il tracciato generale del metanodotto su base Atlante stradale De Agostini (Fig.1), su cartografia CTR 1:10.000 (Fig.2a) e su immagine aerea Google (Fig. 2b).

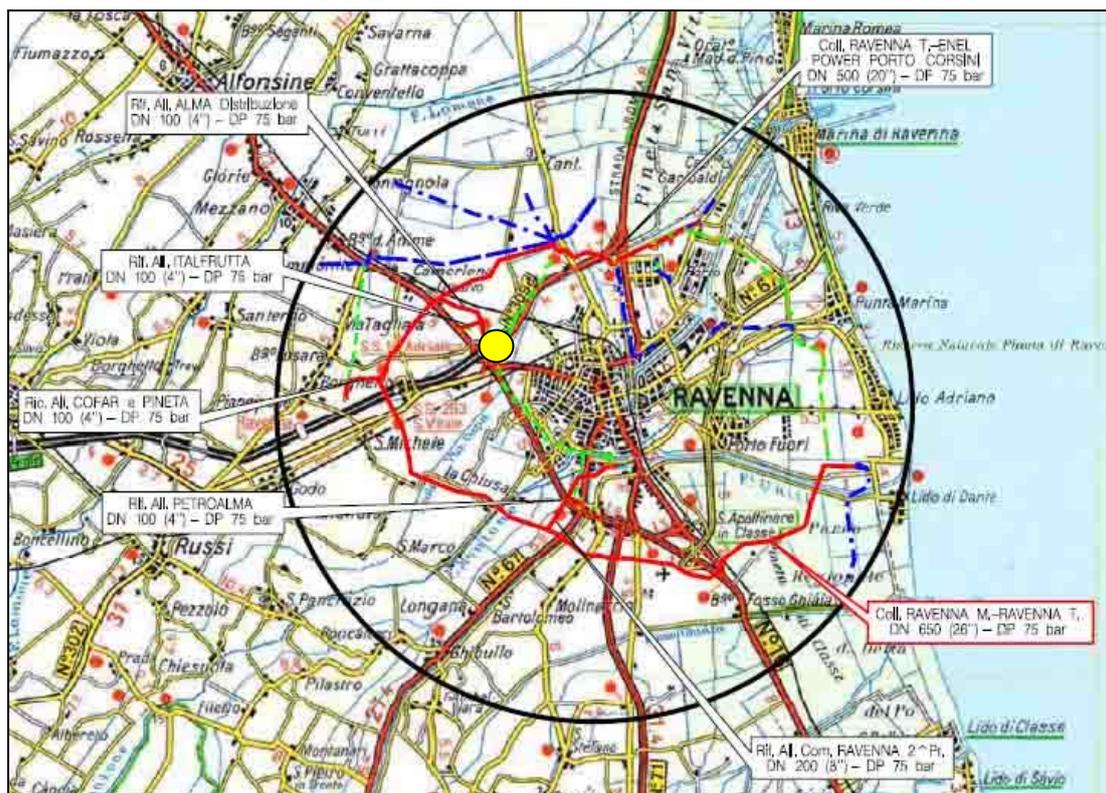


Figura 1– Stralcio Atlante 1:200.000 con localizzazione dell'attraversamento in oggetto (cerchio giallo) lungo il tracciato del metanodotto (in rosso)

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

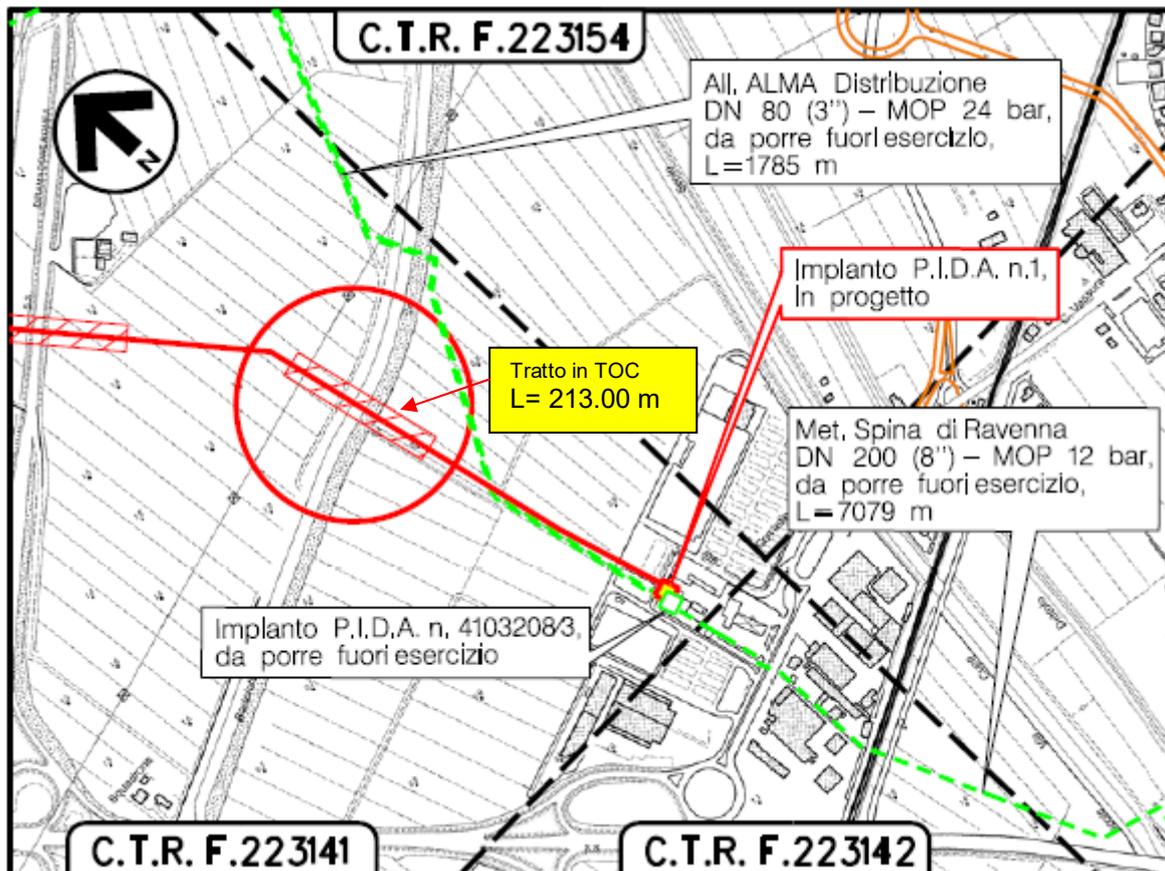


Figura 2a –Localizzazione del sito su CTR 1:10.000

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |



Figura 2 b– Localizzazione della TOC su Immagine aerea (tratta da Google Earth)
 (cerchio giallo sito; in rosso tracciato in progetto, in verde tratti da dismettere, in blu tracciati esistenti)

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

3 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA

3.1 Inquadramento fisico dell'area

L'area in cui si colloca il tracciato e la TOC in progetto è localizzata nella bassa pianura ravennate, il cui territorio è assimilabile ad un piano debolmente inclinato con immersione E-NE, con lievissime ondulazioni che si manifestano con ampie e blande depressioni a fondo sub pianeggiante, separate da strette zone in leggero rilievo date dai dossi dei corsi d'acqua passati e recenti. Dal punto di vista geologico l'area appartiene al settore romagnolo del Bacino Sedimentario Padano, formato da una successione ciclica di depositi marini, deltizi, lagunari, palustri ed alluvionali di età pliocenico-quadernaria, che poggia su di un substrato con una complessa configurazione a pieghe.

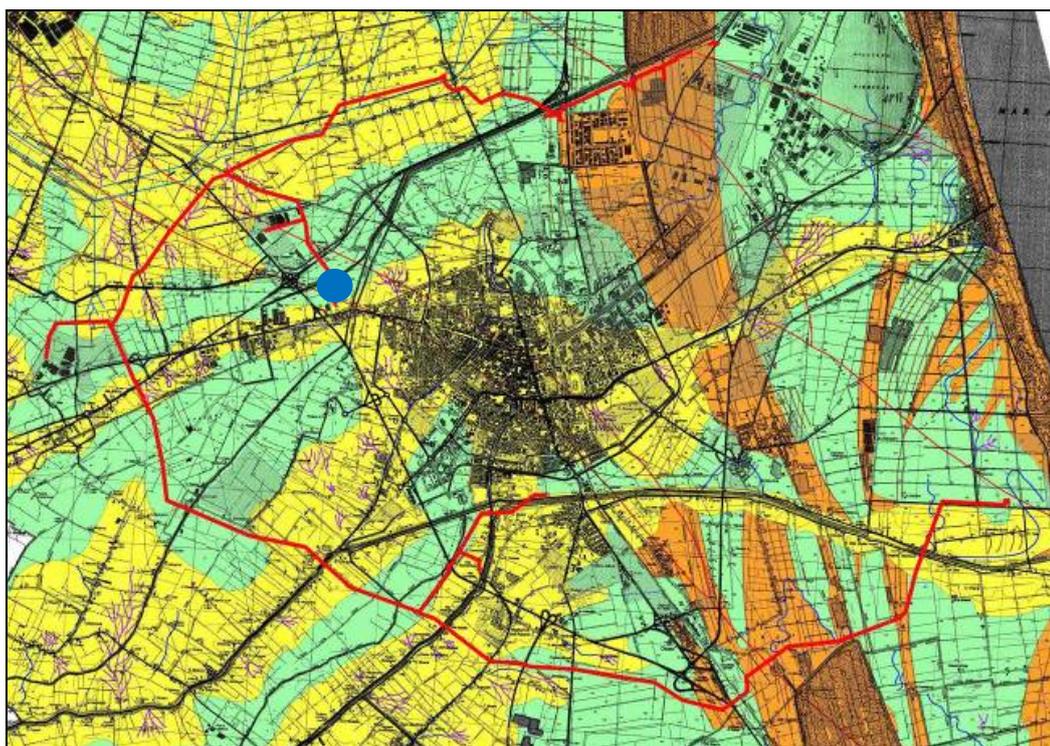


Figura 3 – Stralcio della carta Geomorfológica e Geológica (tratta da POC, 6.I 4.2) con riportato il tracciato
(cerchio blu: TOC; verde: prevalenti limi-argille; giallo: sabbie limose; arancio: sabbie)

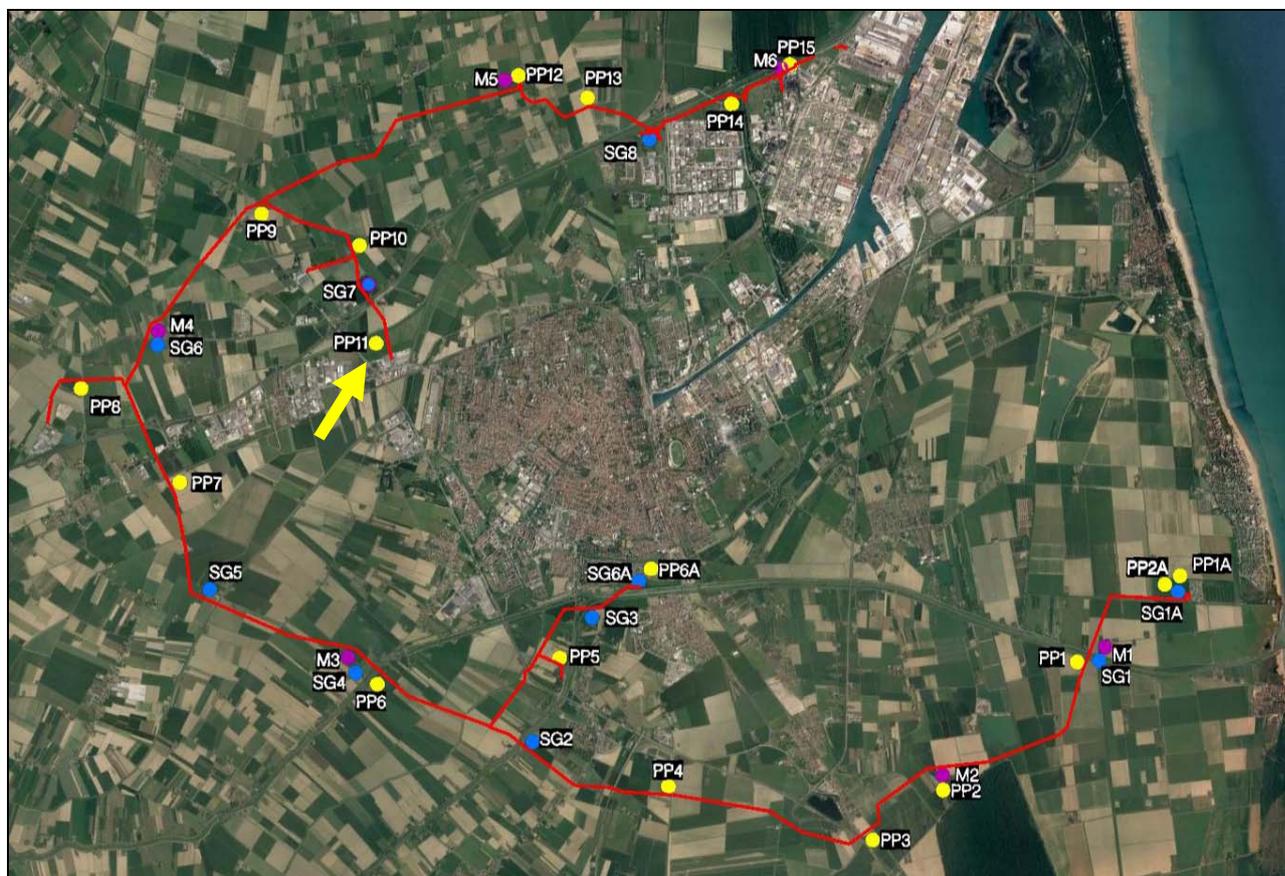
| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

3.2 Caratteristiche stratigrafiche

Le caratteristiche litologiche del sottosuolo in corrispondenza della TOC in esame sono state esplorate tramite un'indagine geognostica consistente in:

- 1 prova penetrometrica statica (nominata CPTU 11) ubicato in destra idrografica dello attraversamento in prossimità del punto di uscita della trivellazione, spinto fino alla profondità di 10 m.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura seguente, mentre l'interpretazione e i diagrammi della prova penetrometrica in allegato 1.



Localizzazione delle indagini svolte

Le indagini hanno evidenziato la presenza di terreni alluvionali con prevalenza di sedimenti coesivi argillo-limosi fino a 4.6 m di profondità, al di sotto dei quali sono presenti terreni granulari sabbioso-limosi, come mostrato nella stratigrafia in allegato e riassunto nella tabella seguente.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

| CPTU 11 | Profondità (m) |
|---------------------------------------|----------------|
| Sabbia, sabbia limosa | 0.00-1.40 |
| Argilla con livelli di argilla limosa | 1.40-4.60 |
| Sabbia e sabbia limosa | 4.60-9.70 |

Tabella 1 – Stratigrafia schematica del sondaggio SG7

Tale situazione stratigrafica è confermata anche dal sondaggio SG7 eseguito presso l'adiacente TOC per l'attraversamento del Canale Canala il quale testimonia la presenza dello strato sabbio-limoso fino alle profondità indagate di 25 m.

3.3 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione dei parametri geotecnici si è basata sulla interpretazione della prova CPTU, in particolare dei valori di resistenza da essa ottenuti.

La dettagliata caratterizzazione geotecnica è riportata nella Relazione Geotecnica COMIS NR/08283-NR/17135-202.

Qui nel seguito si riportano i risultati della caratterizzazione geotecnica relativa ai terreni del sito in oggetto e si forniscono i valori dei parametri ricavati.

| CPTU 11 | Profondità (m) | ϕ (°) | c_u (kPa) | M (MPa) | Eed (MPa) |
|---------------------------------------|----------------|---------------|----------------|------------|--------------|
| Sabbia e sabbia limosa | 0.00-1.40 | 32 | - | 25 | - |
| Argilla con livelli di argilla limosa | 1.40-4.60 | - | 50 | - | 6 |
| Sabbia e sabbia limosa | 4.60-9.70 | 32 | - | 20 | 6 |

Tabella 2 - Valori dei parametri geotecnici. Riferimento CPTU 11

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

La progettazione di una trivellazione orizzontale controllata richiede, nell'ipotesi che esistano condizioni litologiche del sottosuolo che non la impediscano, come elemento essenziale la definizione del profilo di trivellazione che unisca il punto di entrata con il punto di uscita.

A parte i vincoli di carattere territoriale ed ambientale, dal punto di vista tecnico ciò comporta effettuare una serie di verifiche ed operare delle scelte che dipendono dalle caratteristiche morfologiche, litologiche e geotecniche del sito, nonché dalle proprietà meccaniche e geometriche della tubazione da installare.

In sintesi si devono considerare i seguenti aspetti:

- localizzazione dei punti di entrata e uscita
- profondità in corrispondenza di punti critici
- raggi di curvatura
- angoli di ingresso e di uscita
- individuazione del corridoio litologicamente idoneo
- resistenza del terreno alla pressione dei fanghi
- rischio di sifonamento degli argini (se esistenti)
- verifica dei cedimenti indotti.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

5 SCELTA DEL PROFILO DI TRIVELLAZIONE

5.1 Localizzazione dei punti di entrata e di uscita

I punti estremi della trivellazione vengono scelti sulla base delle esigenze di sottopassare in profondità “ostacoli” che non è possibile attraversare in superficie con tecnica tradizionale (corsi d’acqua, strade, ferrovie, zone sensibili, ecc.).

In corrispondenza di tali punti, punto di ingresso e punto di uscita della trivellazione, deve esserci sufficiente spazio per realizzare temporanee aree di lavoro, in genere più estesa quella di ingresso dove si posizionano il rig e tutte le attrezzature di trivellazione.

Naturalmente tali aree, la cui estensione dipende dalla potenza del rig da impiegarsi e dalla lunghezza della trivellazione, devono risultare accessibili, o rese facilmente accessibili, ai mezzi di lavoro e di trasporto ed essere possibilmente a morfologia pianeggiante o comunque poco acclive al fine di minimizzare i movimenti terra e successivi ripristini.

L’area di uscita deve essere posizionata in modo che sia disponibile adeguato spazio per la predisposizione di una pista ove stendere l’intera stringa di varo, in allineamento con la direzione di uscita della TOC e possibilmente di lunghezza non inferiore a quella della TOC. In caso di indisponibilità di sufficiente spazio può essere valutata la possibilità di predisporre la stringa in due o più spezzoni, soluzione che però si preferisce evitare in presenza di terreni sciolti soprattutto per TOC di largo diametro.

Inoltre, nel caso esista una apprezzabile differenza di quota tra punto di entrata e punto di uscita, risulta preferibile, se possibile, posizionare il rig nella posizione meno elevata al fine di facilitare il recupero dei detriti, impiegando una pressione più ridotta alla testa di trivellazione con minor rischio di perdite/venute a giorno di fango di perforazione.

Per la trivellazione in progetto si è scelto di posizionare il punto di ingresso a monte, senso gas, cioè in sinistra idrografica ad una distanza di circa 95 m dalla sponda. Qui la morfologia è assolutamente pianeggiante per poter realizzare la piazzola, di facile accesso ai mezzi. Tale

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

soluzione deriva dalla disponibilità lato valle di uno spazio per la stringa più adeguato, con morfologia anch'essa del tutto piatta.

5.2 Profondità del profilo

La metodologia della trivellazione orizzontale controllata viene vantaggiosamente utilizzata per sottopassare ostacoli di carattere naturale, quali fiumi, specchi d'acqua, aree franose, zone ambientalmente di pregio, ecc. o di natura antropica, come strade, ferrovie, canali, costruzioni varie, ecc. in modo da arrecare con i lavori il minor danno possibile.

La profondità che si deve assegnare al profilo di trivellazione dipende da una parte dal margine di sicurezza che si vuole tenere in corrispondenza di tali punti critici da sottopassare e dall'altra da esigenze di carattere geotecnico intrinseche alla trivellazione.

In merito alla profondità da tenere al di sotto degli "ostacoli", se si tratta di corsi d'acqua o frane, occorre valutare rispettivamente tramite adeguate verifiche di tipo idraulico o geotecnico la probabile evoluzione morfologica planoaltimetrica dell'alveo o la profondità della superficie di scivolamento, tenendo presente un orizzonte temporale adeguato alla vita del metanodotto.

Se si parla invece di opere antropiche, necessita valutare invece l'eventuale interferenza di possibili effetti indotti dalla trivellazione di carattere persistente, quali cedimenti, oppure transitorio, ma da evitare assolutamente, quali venute a giorno di fango durante la perforazione in zone su cui insistono per l'appunto tali opere.

Un altro aspetto importante da tenere in debito conto, spesso però sottovalutato, è quello relativo alla resistenza del terreno nei confronti della pressione dei fanghi di trivellazione, di cui si riferisce successivamente. Tale aspetto va affrontato in fase progettuale in quanto condiziona la scelta del profilo di trivellazione. Infatti una TOC troppo superficiale può determinare la rottura del terreno sovrastante con venuta a giorno dei fanghi e conseguenti danni ambientali.

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

Il profilo di progetto per l'attraversamento del fiume in studio è stato verificato per quanto riguarda la resistenza del terreno alla pressione operativa dei fanghi. In merito alle profondità al di sotto dei corsi d'acqua, è risultato che la TOC sottopassa:

- L'alveo del corso d'acqua del Canale Valtorto ad una profondità che consente uno spessore di copertura di 14.79 m.

5.3 Raggi di curvatura

Il profilo di trivellazione, tipicamente di forma concava, implica la presenza di tratti curvilinei. La scelta del raggio minimo in tali tratti dipende dalle caratteristiche:

- geometriche della tubazione: diametro esterno, spessore di parete e pertanto diametro interno
- meccaniche dell'acciaio impiegato: modulo di elasticità e resistenza (SMYS)
- geologiche del sottosuolo: la consistenza/addensamento del terreno (quindi la "capacità portante") è un elemento altamente condizionante la reazione che esso può opporre alla trivellazione in fase di curvatura.

Il raggio di curvatura minimo della trivellazione, definito in fase progettuale, dipende in primo luogo dal raggio elastico minimo sopportabile dalla tubazione moltiplicato per un fattore (generalmente 2) che permetta in fase di esecuzione della TOC di poter correggere in corso d'opera eventuali variazioni di profilo rispetto al profilo di progetto.

Il raggio di curvatura minimo della condotta ($R_{\min, \text{pipe}}$) si valuta tramite la seguente relazione:

$$R_{\min, \text{pipe}} = (D_e \cdot E) / 2 \left((SMYS / F_s - (P \cdot D_i / 10) / 4W_{th}) \cdot 1000 \right) \quad (1)$$

dove: D_e = diametro esterno

D_i = diametro interno

W_{th} = spessore di parete

SMYS = specified minimum yield strength

| | |
|--|---------------|
| RIFACIMENTO ALLACCIAMENTO ALMA DISTRIBUZIONE DN 100 (4") – DP 75 bar ATTRAVERSAMENTO TOC CANALE VALTORTO | Pag. 15 di 41 |
|--|---------------|

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

P= pressione interna massima

$F_{s, st}$ = fattore di sicurezza relativo al calcolo di resistenza dell'acciaio, usualmente posto pari a 1.5.

Il raggio minimo di progetto della trivellazione ($R_{min, HDD}$) si assume pari a:

$$R_{min, HDD} = R_{min, pipe} * F_{s, dr} \quad \text{con } F_{s, dr} \text{ pari usualmente a } 2 \quad (2)$$

In secondo luogo, per i larghi diametri > 400 mm, in accordo con le raccomandazioni DCA (Drilling Construction Association), il raggio minimo di progetto deve tener conto della reazione che il terreno può offrire secondo la seguente relazione, espressa in forma grafica in figura 4:

$$R_{min} = C \cdot (D_e \times W_{th})^{1/2} \quad (3)$$

in cui C= coefficiente di capacità portante funzione del tipo di terreno con valore compreso tra 8500 e 12500.

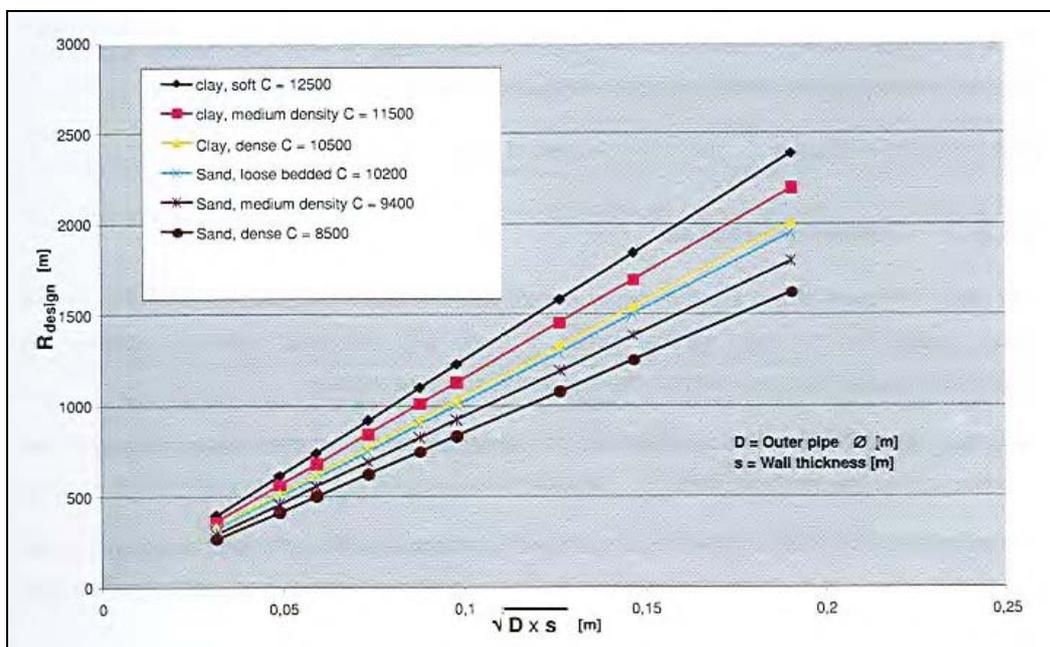


Figura 4 - Grafico di dimensionamento del Raggio in funzione del tipo di terreno, in accordo con DCA 2009

Un confronto di carattere generale dei risultati ottenuti tramite le valutazioni sopradescritte può essere effettuato mediante:

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

- “good engineering practice”, secondo cui il raggio può essere assunto pari a 1 m per millimetro di diametro della tubazione
- valori consigliati da “La costruzione di condotte in acciaio” predisposto da Snam (v. Fig. 5).

| VALORI CONSIGLIATI PER IL DIMENSIONAMENTO DEL PROFILO DELLA PERFORAZIONE | | | |
|--|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| DIAMETRO CONDOTTA (mm) | RAGGIO MINIMO (mm) | ANGOLO D'INGRESSO MASSIMO | ANGOLO D'USCITA MASSIMO |
| < 200 | 250 | 18° | 16° |
| 250 ÷ 300 | 350 ÷ 400 | 18° | 14° |
| 350 ÷ 400 | 450 ÷ 500 | 14° | 12° |
| 450 ÷ 500 | 550 ÷ 600 | 12° | 10° |
| 550 ÷ 600 | 650 ÷ 700 | 12° | 8° |
| 650 ÷ 700 | 800 ÷ 850 | 10° | 8° |
| 750 ÷ 800 | 850 ÷ 950 | 8° | 6° |
| 850 ÷ 900 | 900 ÷ 1000 | 8° | 6° |
| 950 ÷ 1000 | 1000 ÷ 1100 | 6° | 4° |
| 1050 ÷ 1100 | 1100 ÷ 1200 | 6° | 4° |
| 1200 ÷ 1400 | > 1400 | 6° | 4° |

Figura 5 – Valori consigliati per la scelta del raggio minimo di perforazione (da Snam: La costruzione di condotte in acciaio: Le tecnologie trenchless)

Per la TOC in progetto la tubazione in acciaio del gasdotto avrà le seguenti caratteristiche:

- D_e = diametro esterno (114.3 mm)
- D_i = diametro interno (103.9 mm)
- W_{th} = spessore di parete (5.2 mm)
- SMYS= specified minimum yield strength= 360 MPa
- P= pressione interna massima= 75 bar

Il terreno in cui si svilupperà la tubazione avrà un coefficiente di capacità portante minimo pari a: $C = 10.200$

Dalle verifiche effettuate con le relazioni soprariportate (1) e (2) risultano i seguenti valori:

- $R_{min, pipe} = 58$ m
- $R_{min, HDD} = 116$ m

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

Tale ultimo valore del raggio di trivellazione sarebbe da prendersi come riferimento minimo per i tratti in curva della TOC in oggetto. Tuttavia, data la rigidità delle aste di trivellazione che potrebbe essere anche più elevata di quella della condotta, è buona norma utilizzare, in accordo con i valori consigliati nella tabella di Fig. 5 (tratta da Snam rete Gas), un raggio pari a 250 m.

Si sottolinea che tale ultimo valore di 250 m si riferisce al caso di condotta in esercizio, pertanto soggetta alla pressione esterna del terreno e interna del gas.

Invece la condotta in fase di lavoro e priva di pressione interna del gas può sopportare raggi di curvatura anche di 58 m (già comprensivo di $F_s=1.5$).

Si tenga però presente che il raggio di curvatura minimo è da riferirsi alla curva reale della trivellazione nel piano in cui essa si sviluppa. Qualora la curva avesse anche una componente nel piano orizzontale, come nel caso in esame, il raggio reale (chiamato *raggio combinato* R_{com}) va calcolato come la risultante della componente verticale e di quella orizzontale tramite la seguente relazione:

$$R_{com} = ((R_h^2 + R_v^2) / (R_h^2 + R_v^2))^{0.5}$$

Nel caso specifico il progetto prevede per il profilo della TOC un raggio nel piano verticale pari a 250 m e nessuna curvatura planimetrica. In fase di lavoro si prevede di dare al tratto di tubazione nella curva di varo un raggio di 100 m.

5.4 Angoli di ingresso e di uscita

L'angolo di ingresso non ha limitazioni particolari, se non quelle legate alle caratteristiche del rig impiegato. In linea generale gli angoli possono andare da 6° a 18°, con tendenza ad usare i valori più bassi per le condotte di maggior diametro.

L'angolo di uscita è strettamente condizionato dal diametro della tubazione nel senso che da esso dipende l'altezza (ed anche la lunghezza) della curva di varo (*overbend*). Pertanto l'inclinazione in uscita in genere viene contenuta in modo tale che l'altezza dell'*overbend* non ecceda valori di normale operatività. Se ciò tuttavia non fosse possibile, si può fare ricorso a particolari strutture di sostegno della stringa di varo, quali rilevati, impalcature, ecc..

Per il calcolo dell'altezza della curva di varo (H_{over}) si fa riferimento alla seguente formula:

| | |
|--|---------------|
| RIFACIMENTO ALLACCIAMENTO ALMA DISTRIBUZIONE DN 100 (4") – DP 75 bar ATTRAVERSAMENTO TOC CANALE VALTORTO | Pag. 18 di 41 |
|--|---------------|

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

$$H_{over} = R_{over} * (1 - \cos \alpha_{out}) - Z_{pit}$$

dove: R_{over} = raggio della curva di varo, che può essere assunto non inferiore al raggio elastico della tubazione ($R_{min, pipe}$)

α_{out} = angolo di uscita

Z_{pit} = profondità del pozzetto di ricevimento.

Per la TOC in oggetto si sono assunti:

- angolo di ingresso $\alpha_{in} = 18^\circ$
- angolo di uscita $\alpha_{out} = 16^\circ$

La curva di varo risulta come dalla figura seguente (v. Fig. 6).

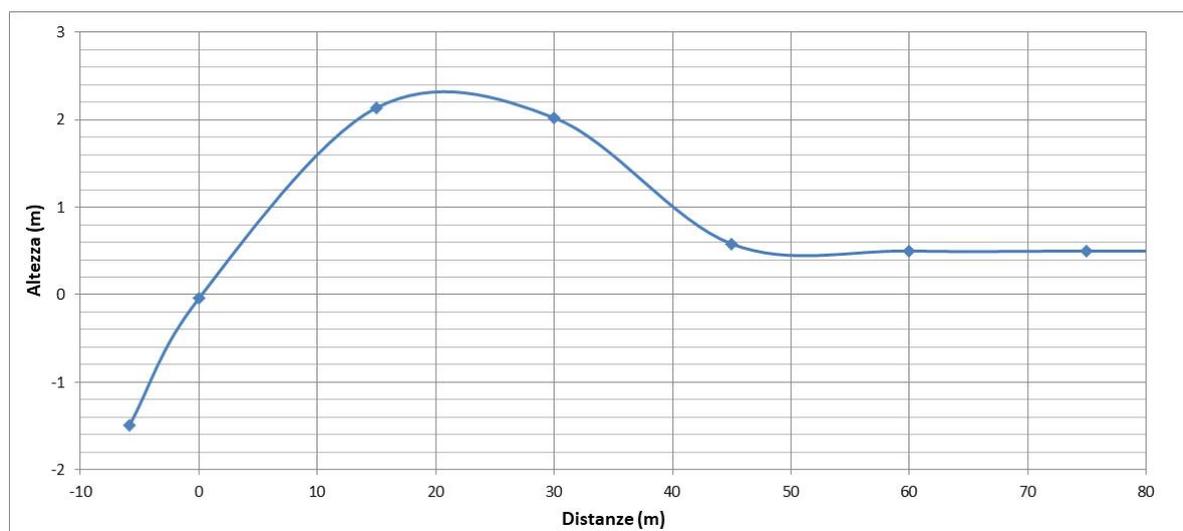


Figura 6 – Grafico della curva di varo nell'ipotesi di angolo di uscita di 16° e raggio= 100 m

Le caratteristiche della curva di varo, nella ipotesi di angolo di uscita di 16° , raggio 100 m, sono le seguenti:

- altezza massima= 2.37 m sul punto di uscita, alla distanza di 22 m
- distanza al punto di flesso= 35 m
- lunghezza totale= 49 m.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

5.5 Individuazione del corridoio litologicamente idoneo

Oggigiorno le TOC possono essere realizzate in una grande varietà di terreni e di rocce, utilizzando utensili di trivellazione, apparecchiature e composizione dei fanghi adeguate al materiale da attraversare (v. Fig. 7).

Grossi limiti però sono posti dalla presenza di materiale incoerente grossolano, quale ghiaia e ciottoli con scarsa presenza di matrice fine, oppure roccia intensamente fratturata. In queste tipologie di terreni il fango di trivellazione riesce ad estrarre per fluitazione solo la matrice mentre i frammenti grossolani rimangono in foro, depositandosi sul fondo. Il rischio, anche nel caso si riuscisse ad ultimare il foro, è che la condotta in fase di tiro rimanga incastrata nel foro e comunque possa risultare seriamente danneggiata nel rivestimento per la frizione con il materiale grossolano che ostruisce il cavo.

Nel caso in oggetto la situazione stratigrafica (v. Relazione Geologica Comis, NR/08283/NR/17135-200) vede la presenza di terreni prevalentemente coesivi fino a 4.6 m circa di profondità con sottostanti terreni incoerenti sabbiosi-limosi fino alle profondità indagate. Si può in sintesi affermare che le tipologie di terreno lungo il profilo permettano una sicura applicabilità del metodo TOC.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

TABLE 2-1 HDD Feasibility Guidelines

| Earth Material | Gravel % by Weight | HDD Feasibility |
|--|--------------------|---|
| Very soft to hard strength, possibly slickensided clay | NA | Good to Excellent. Penetration of strong clay surrounded by looser soils may result in the bit skipping at the interface. Bit steering may be difficult when passing through soft soil layers. |
| Very loose to very dense sand with or without gravel traces. | 0 to 30 | Good to Excellent. Gravel may cause steering problems. |
| Very loose to very dense gravelly sand. | 30 to 50 | Marginal. In these conditions drilling fluid characteristics are critical to success. Bit steering may be inaccurate. |
| Very loose to very dense sandy gravel. | 50 to 85 | Questionable. Horizontal penetration for any appreciable distance will be extremely difficult. Bit steering will be inaccurate. |
| Very loose to very dense gravel. | 85 to 100 | Unacceptable. With current technology horizontal penetration is almost impossible. This type of material must be avoided or penetrated at a steep angle. |
| Rock | NA | Excellent to Unacceptable. Softer or weathered materials offer good HDD characteristics. Penetrating solid rock after passing through soil may be difficult due to the bit's tendency to skip on the lower hard surface. Rock in the rounded cobble form is almost impossible to drill. |

Figura 7 - Fattibilità delle TOC in funzione del tipo di terreno (da Horizontal Directional Drilling, Utility and Pipeline Applications)

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

6 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La trivellazione orizzontale controllata in progetto per l'installazione della condotta del metanodotto collegherà il punto di entrata ubicato in sinistra idrografica circa 95 m prima della sponda con il punto di uscita localizzato in destra ad una distanza di circa 90 m dalla sponda, permettendo di sottopassare in profondità l'alveo del canale.

La metodologia TOC che si intende utilizzare si articola secondo le seguenti fasi (v. Fig. 8):

- esecuzione in spinta da parte del rig di perforazione del foro pilota
- alesatura del foro pilota eseguita in tiro con uno o più passaggi di uno specifico alesatore se necessario
- tiro entro il cavo alesato della colonna di tubazione pre-allestita.

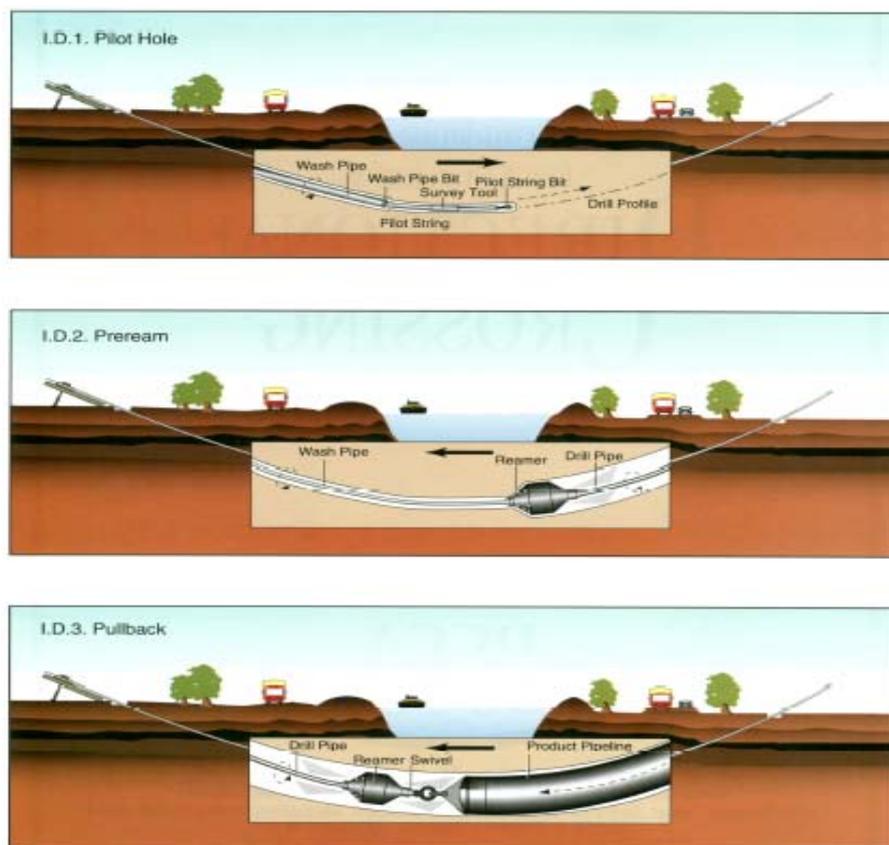


Figura 8: schema delle fasi in cui si articola la T.O.C.

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

Le caratteristiche geometriche della TOC, raffigurate negli elaborati di progetto, sono sintetizzate qui di seguito:

- lunghezza planimetrica della trivellazione: 208.85 m
 - lunghezza reale: 213.00 m
- di cui:
- o tratto rettilineo iniziale inclinato 18° 19.40 m
 - o tratto curvilineo discendente $R_v= 250$ m 77.90 m
 - o tratto rettilineo centrale orizzontale 18.30 m
 - o tratto curvilineo ascendente $R_v= 250$ m 70.30 m
 - o tratto rettilineo finale inclinato 16° 27.10 m

La stringa di varo potrà essere predisposta in un'unica soluzione rettilinea sulla pianura in destra del canale.

Dal punto di vista operativo, stante la dimensione del tubo del metanodotto da installare, risulta più conveniente effettuare il tiro della condotta non zavorrandola con acqua, cui corrisponderrebbe uno sforzo di tiro dell'ordine di 5 t. Si ritiene pertanto necessario un rig da almeno 10 t di capacità di tiro, comunque da valutare da parte dell'impresa.

Il diametro del cavo da realizzare dovrà essere non inferiore a 250 mm. Tale diametro può essere realizzato anche senza passaggi di alesatura, con il solo foro pilota.

La composizione e la gestione dei fanghi dovranno essere particolarmente rivolte a mantenere i corretti parametri reologici, in considerazione anche del fatto che il detrito di perforazione potrebbe contenere anche una certa percentuale di materiale argilloso, difficile da separare dal fango bentonitico di perforazione e che produce pertanto rapido scadimento delle caratteristiche di quest'ultimo.

Comunque sarà l'Appaltatore, sulla base della sua esperienza e dell' equipaggiamento di cui dispone, scegliere le idonee attrezzature, i diametri e le modalità operative da impiegare in funzione della reale situazione del sottosuolo.

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

7 PLASTICIZZAZIONE DEL TERRENO

7.1 Generalità

Durante l'esecuzione della T.O.C., sia in fase di foro pilota che d'alesatura e tiro, nel foro viene mantenuta una pressione dei fanghi più elevata di quella presente nel terreno allo scopo di conferire stabilità al cavo e di permettere un flusso continuo dei fanghi con asportazione dei cuttings di perforazione.

Quando tale pressione raggiunge certi livelli, essa provoca la deformazione plastica dei terreni nell'intorno al foro; poi, superati tali valori, la zona con deformazioni plastiche via via si allarga arrivando alla rottura del terreno e conseguentemente alla perdita di circolazione dei fanghi.

I meccanismi di flusso sono essenzialmente due: il primo è associato ad una generale rottura al taglio dei terreni che genera un flusso plastico non confinato nell'intorno del foro, chiamato *blow-out*; l'altro determina l'apertura di vere e proprie fratture lungo le quali si instaura il flusso, noto con il nome di *hydrofracture* (Hongwey Xia and D. Moore, 2007).

Nel caso di attraversamento di corsi d'acqua, necessita verificare che le zone interessate da deformazioni del terreno a seguito della pressione dei fanghi non siano tanto estese da arrivare in superficie e in particolare ad interessare il fondo alveo.

7.2 Metodologia

L'approccio teorico, noto con il nome di *Formula di Delft* (H.J. Luger and H. J. A. M. Hergarden, 1988), è basato sulla analisi della zona plasticizzata intorno al foro (teoria dell' espansione della cavità) con le seguenti assunzioni: il foro presenta simmetria assiale, il mezzo è omogeneo, isotropo, di dimensioni infinite ed elastico fino l'instaurarsi della rottura, definita secondo il criterio di Mohr-Coulomb come funzione della coesione e dell'angolo di attrito.

Tale formula fornisce la pressione massima sostenibile nei confronti del verificarsi dei fenomeni di rottura del terreno e conseguenti perdite di circolazione. Essa si differenzia in funzione del tipo di materiale: per terreni granulari e per terreni coesivi.

| | |
|--|---------------|
| RIFACIMENTO ALLACCIAMENTO ALMA DISTRIBUZIONE DN 100 (4") – DP 75 bar ATTRAVERSAMENTO TOC CANALE VALTORTO | Pag. 24 di 41 |
|--|---------------|

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

Terreni granulari, condizioni drenate

La pressione massima efficace è data dalla seguente relazione:

$$p_{max} = (p'_r + c_f \cdot \cot \phi_f) \cdot [(R_b/R_{p,max})^2 + Q]^{(-\sin \phi / (1 + \sin \phi))} - c_f \cdot \cot \phi_f + u$$

dove:

$$Q = (\sigma'_0 \cdot \sin \phi + c_f \cdot \cot \phi_f) \cdot 1/G$$

$$p'_r = \sigma'_0 \cdot (1 + \sin \phi) + c_f \cdot \cot \phi_f$$

$$c_f = \text{coesione fattorizzata} = c/f_c \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

f_c = fattore di sicurezza della coesione

$$c = \text{coesione media (kN/m}^2\text{)}$$

$$\phi_f = \text{angolo di attrito fattorizzato} = \arctan(\tan \phi / f_\phi) \text{ (}^\circ\text{)}$$

f_ϕ = fattore di sicurezza dell'angolo di attrito

$$\phi = \text{angolo di attrito medio (}^\circ\text{)}$$

$$\sigma'_0 = \text{pressione effettiva} = \frac{3}{4} \cdot \sigma'_v / f_\gamma \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma'_v = \text{pressione verticale effettiva (kN/m}^2\text{)}$$

f_γ = fattore di sicurezza del peso di volume del materiale

$$G = \text{modulo di taglio} = E / (2(1 + \nu)) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

R_b = raggio del foro (m)

$R_{p,max}$ = raggio massimo ammissibile della zona plastica $\leq 2/3 h$ (m)

h = profondità del centro foro (m)

u = pressione neutra (kPa)

Terreni coesivi, condizioni non drenate

La pressione massima è data dalla seguente relazione:

$$p_{max} = \sigma'_0 + C_{uf} \cdot [1 - \ln(C_{uf}/G + (R_b/R_{p,max})^2)] + u$$

dove:

$$C_{uf} = \text{coesione fattorizzata} = C_u / f_c \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

f_c = fattore di sicurezza della coesione

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

C_u = coesione media (kN/m²)

σ'_0 = pressione effettiva = $\frac{3}{4} \cdot \sigma'_v / f_\gamma$ (kN/m²)

σ'_v = pressione verticale effettiva (kN/m²)

f_γ = fattore di sicurezza del peso di volume del materiale

G= modulo di taglio= $E/(2(1+\nu))$ (kN/m²)

E= modulo elastico (kN/m²)

ν = rapporto di Poisson

R_b = raggio del foro (m)

$R_{p,max}$ = raggio massimo ammissibile della zona plastica $\leq 1/2 h$ (m)

h= profondità del centro foro (m)

u= pressione neutra (kPa)

Con tali relazioni è pertanto determinabile il raggio della zona plastica in funzione della pressione dei fanghi utilizzata ed inoltre la pressione limite p_{lim} , che verrebbe indotta nell'ipotesi di una plasticizzazione senza confini.

Si assume come pressione massima ammissibile p_{max} la pressione minore tra le seguenti:

-quella pari al 90% della pressione limite p_{lim}

-quella per la quale si determina il raggio di influenza massimo ammissibile, pari a $1/2 h$ per i terreni coesivi e per $2/3 h$ per i terreni granulari, essendo h lo spessore di copertura al di sopra dell'asse della trivellazione.

In caso la pressione del terreno non fosse sufficiente a bilanciare quella operativa dei fanghi (di seguito trattata), si procede modificando il profilo di trivellazione in modo da assicurare uno spessore di copertura maggiore che offra una sufficiente resistenza all'azione della pressione dei fanghi nel cavo scongiurando fenomeni di disturbo ai terreni che possano arrivare fino in superficie.

La pressione operativa dei fanghi (p_{oper}) è la pressione minima che deve essere esercitata nel cavo anulare di perforazione al fine di consentire le operazioni per la realizzazione della TOC.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

La verifica delle pressioni dei fanghi nelle varie fasi di perforazione consiste pertanto nel calcolo della pressione operativa e nel suo confronto con la pressione massima che il terreno può sostenere.

Si fa presente che le condizioni più critiche si determinano in corrispondenza della fase di perforazione del foro pilota, quando a causa delle ridotte dimensioni del foro stesso si hanno forti perdite di carico e pertanto necessitano le massime pressioni dei fanghi.

La pressioni dei fanghi p_{oper} che deve essere applicata, variabile con la distanza L dal punto di perforazione e con la relativa profondità h , può essere così distinta:

$$p_{oper} = p_1 + p_2$$

dove:

$$p_1 = \gamma_f \cdot h$$

pressione idrostatica del fango a seguito del dislivello da coprire

$$p_2 = dp/dz \cdot L$$

pressione dovuta alla perdita di carico nell'anello tra foro ed aste di perforazione

in cui

γ_f = peso di volume dei fanghi con in sospensione i detriti di perforazione

dp/dz = perdita di carico unitaria, valutata sulla base dei parametri geometrici dell'anello (cioè diametro del foro e diametro delle aste) nonché sulle caratteristiche reologiche del fluido di perforazione (cioè Viscosità Dinamica e Yield Point).

7.3 Calcolo della perdita di carico

La perdita di carico unitaria lungo la cavità anulare è stata calcolata utilizzando il programma MudWare v. 3 utilizzando come input le caratteristiche reologiche del fango di perforazione e le dimensioni della cavità.

Basandoci sulle esperienze acquisite in perforazioni in terreni simili, si sono determinati i valori dei parametri reologici che verosimilmente avrà il fango di perforazione, valori che sarà cura del tecnico preposto mantenere nel confezionamento dei fanghi (v. Fig. 9).

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

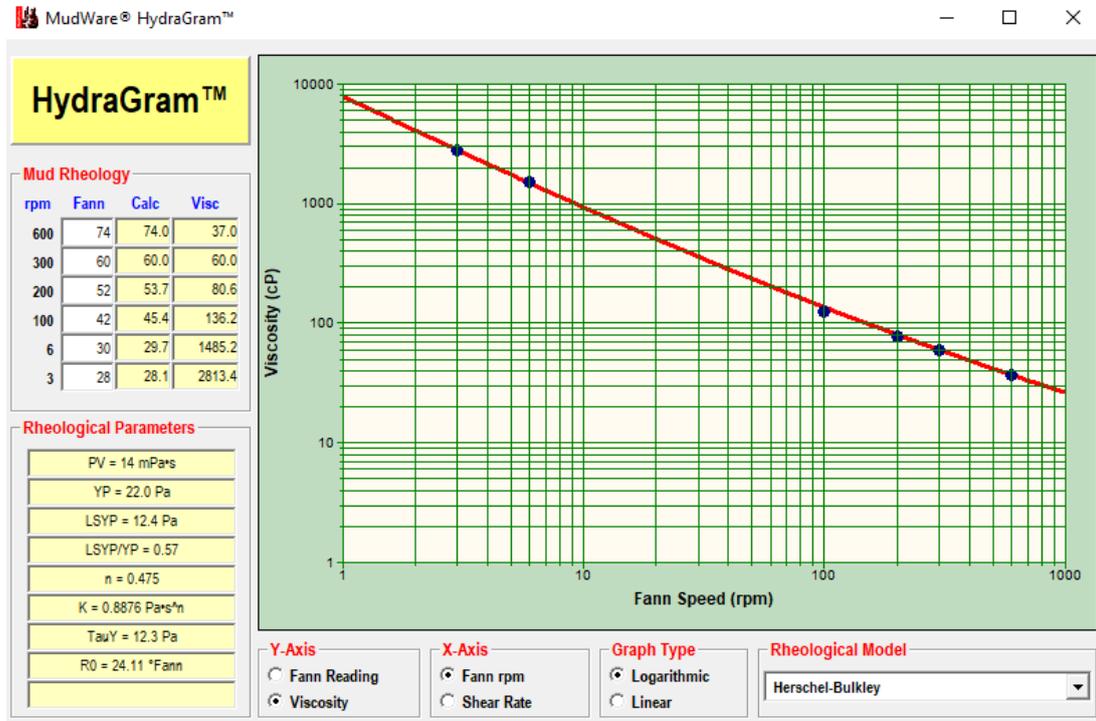


Figura 9 – Caratteristiche reologiche del fango di perforazione in corrispondenza dei terreni sabbiosi, sabbiosi-limosi

Pertanto i dati di input per il calcolo della perdita di carico sono i seguenti:

- Terreno sabbioso: pV= 16 YP= 15
- Terreno coesivo: pV= 8 YP= 30
- D_{hole}= 12 ¼" (311 mm)
- D_{drill pipe}= 5" (127 mm)

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

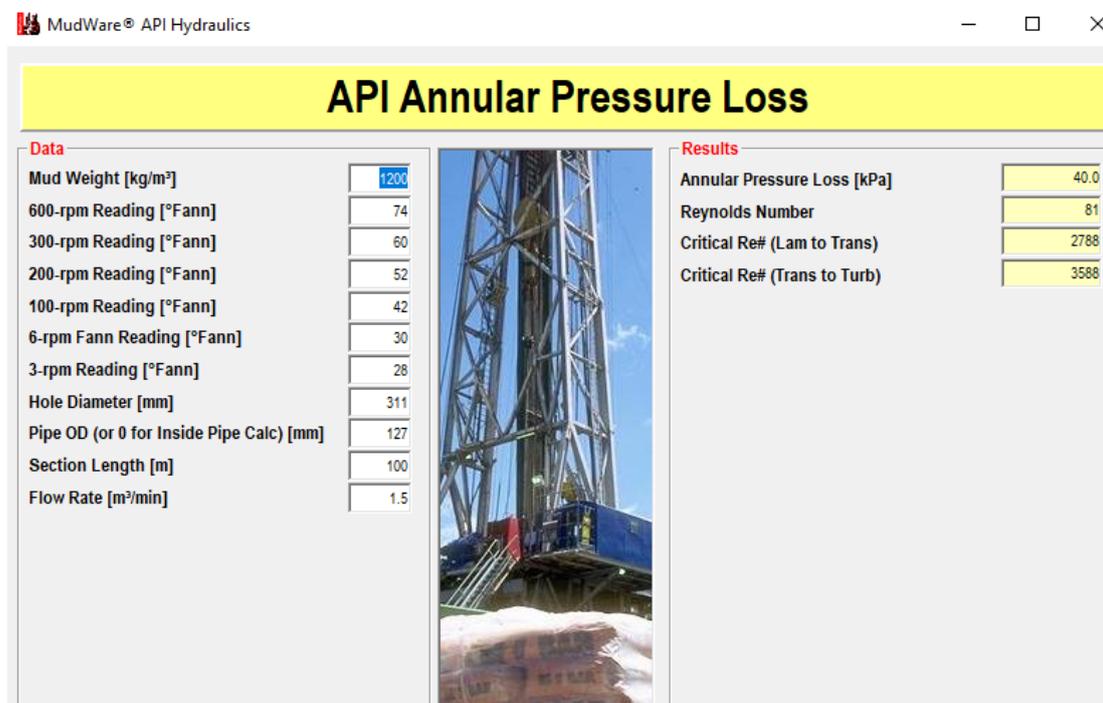


Figura 10 – Risultati del calcolo di caduta di pressione nell’anello per terreni sabbiosi, sabbio-limosi

Come evidenziato in figura 10, i calcoli forniscono il valore di perdita unitaria di pressione pari a:

$uP_{\text{loss}} = 0.40 \text{ kPa/m}$ per terreni sabbiosi, sabbio-limosi, limo-argillosi.

7.4 Calcoli e risultati

La verifica è stata effettuata lungo il percorso di trivellazione della T.O.C. per il quale sono state calcolate:

- la pressione idrostatica dei fanghi, funzione della profondità rispetto alla posizione del rig
- le perdite di carico lungo il percorso anulare, funzione della geometria dell’anello e delle caratteristiche del fango
- la pressione totale, somma delle due precedenti, necessaria per la trivellazione (*pressione operativa*)
- la pressione massima ammissibile, sopportabile dal terreno nei confronti delle venute a giorno dei fanghi (*pressione max blow out*).

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

I parametri geotecnici dei terreni incontrati sono stati desunti dalle elaborazioni delle indagini svolte allo scopo.

In considerazione della presenza di terreni coesivi di spessore circa 4.6 m e sottostanti terreni sabbiosi-limosi, la trivellazione sarà condotta principalmente nell'ambito del secondo litotipo, con lenti avanzamenti che permetta ai terreni di sviluppare le resistenze in condizioni drenate. In tale ipotesi nei calcoli della pressione ammissibile la resistenza del terreno è stata caratterizzata attribuendo un valore di resistenza al taglio di tipo attritivo, assunto come media tra i terreni previsti.

I valori dei parametri geotecnici di input in tal modo assunti, per le verifiche in condizioni drenate e non drenate, sono riportati nella tabella seguente (Tab. 2):

| γ_s | ϕ' | c' | E | ν |
|-------------------|---------|------|----------|-------|
| kN/m ³ | (°) | kPa | MPa | |
| 19 | 30 | 0 | 15000 | 0.33 |

Tabella 2 – Valori dei parametri geotecnici in condizioni drenate e non drenate

Inoltre per il calcolo della caduta di pressione lungo lo spazio anulare si è supposto l'uso di una testa di trivellazione di diametro sufficiente largo, tale da minimizzare i valori di perdita di pressione a non più di 0.40 kPa/m.

Dal momento che ad una diminuzione della superficie dello spazio anulare corrispondono pressioni di esercizio più elevate, l'impresa esecutrice dei lavori dovrà operare una scelta di tali parametri in modo oculato al fine di minimizzare il rischio di fuoriuscite dei fanghi.

Dal confronto delle curve ottenute dalle verifiche, riportate nelle figure 11 e 12, si evidenzia che la pressione operativa dei fanghi risulta sempre inferiore rispetto a quella ammissibile, ad eccezione dell'ultimo tratto di trivellazione di circa 10 m dove, a causa della sempre minore copertura di terreno sopra il foro e della maggiore pressione dei fanghi necessaria per far

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

tornare il flusso verso il rig, la pressione massima ammissibile viene superata. Questo non significa che si avranno necessariamente venute a giorno di fanghi, ma che i margini di sicurezza assunti risultano superati.

Per tale motivo in corrispondenza del tratto terminale della perforazione si adotteranno adeguate precauzioni per contenere, qualora si verificassero, le fuoriuscite di fango. In particolare si dovrà tenere pronto un escavatore per realizzare arginelli di contenimento e predisporre, in anticipo, una vasca in terra dove accumulare l'eventuale fluido fuoriuscito che successivamente dovrà essere asportato.

L'impiego del sistema di misura della pressione dei fanghi durante la perforazione (PWD) garantirà lungo l'intero percorso il controllo dei valori della pressione stessa effettivamente esercitata alla testa di trivellazione in modo da permettere il suo mantenimento entro i valori di sicurezza. Inoltre sarà buona precauzione l'utilizzo di due contatori volumetrici che leggano in contemporanea il volume dei fanghi immessi nel foro e quelli recuperati dal foro, in modo da valutare in tempo reale l'eventuale perdita di fluidi, campanello di allarme principale in caso di fratturazione del terreno intorno al cavo con rischio di successiva venuta a giorno degli stessi.

La curva di varo è rappresentata in figura 13; con l'angolo di ingresso della tubazione pari a 16° e raggio= 100 m essa sarà alta 2.37 m.

| | | | |
|---|--|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

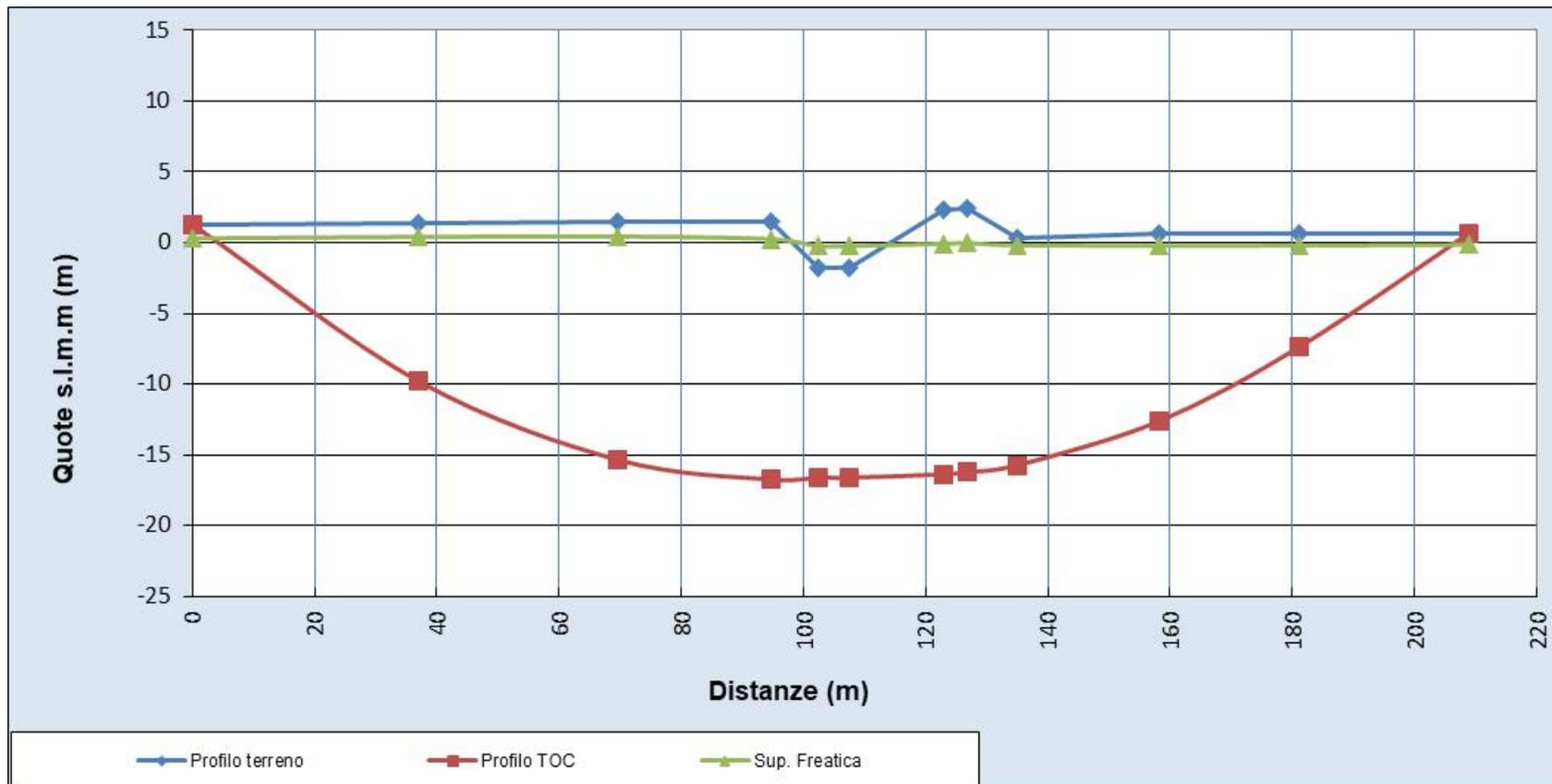


Figura 11 –Sezione schematica del terreno e della T.O.C. (entrata della trivellazione a sinistra)

| | | | |
|---|--|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

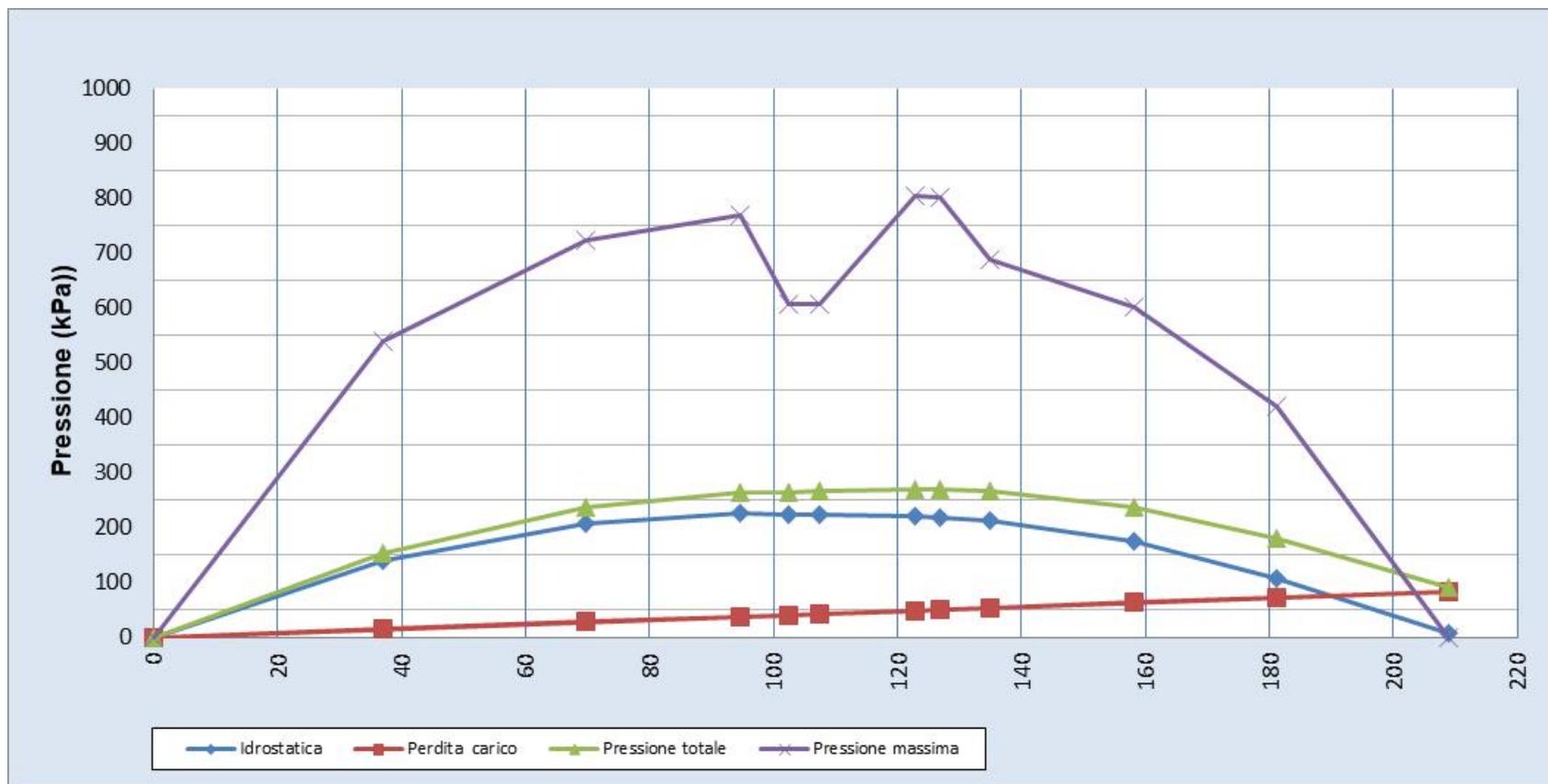


Figura 12 - Andamento della pressione operativa e della resistenza del terreno in funzione della distanza dall'entrata

| | | | |
|---|--|----------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| LSC-220 | | | |

| Station | Ground level (m) | Water table depth (m) | Pipe level (m) | Pipe Soil Cover (m) | c' (kPa) | ϕ' (°) | E (kPa) | ν | γ (kN/m ³) | σ_0' (kPa) | Ro(m) | Rpmax(m) | P _{lim} (kPa) | P _{max} blow out (kPa) |
|---------|------------------|-----------------------|----------------|---------------------|----------|-------------|---------|-------|-------------------------------|-------------------|-------|----------|------------------------|---------------------------------|
| 0 | 1.3 | 1.0 | 1.3 | 0.0 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 |
| 37 | 1.4 | 1.0 | -9.8 | 11.2 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 70 | 7.49 | 0.57 | 484 | 540 |
| 70 | 1.4 | 1.0 | -15.4 | 16.8 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 102 | 11.20 | 0.47 | 623 | 722 |
| 95 | 1.5 | 1.2 | -16.8 | 18.2 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 111 | 12.13 | 0.45 | 662 | 769 |
| 102 | -1.8 | -1.6 | -16.6 | 14.8 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 71 | 9.86 | 0.57 | 488 | 607 |
| 108 | -1.8 | -1.6 | -16.6 | 14.8 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 71 | 9.86 | 0.57 | 488 | 607 |
| 123 | 2.3 | 2.4 | -16.4 | 18.7 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 122 | 12.47 | 0.43 | 709 | 804 |
| 127 | 2.4 | 2.4 | -16.2 | 18.6 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 122 | 12.40 | 0.43 | 706 | 801 |
| 135 | 0.3 | 0.5 | -15.7 | 16.1 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 94 | 10.70 | 0.49 | 590 | 689 |
| 158 | 0.6 | 0.8 | -12.6 | 13.2 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 80 | 8.80 | 0.54 | 529 | 602 |
| 181 | 0.6 | 0.8 | -7.4 | 8.0 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 50 | 5.30 | 0.67 | 386 | 420 |
| 209 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.0 | 0 | 30 | 15000 | 0.33 | 19.0 | 0 | 0.00 | ##### | #DIV/0! | #DIV/0! |

Tabella 3 -. Risultati del calcolo della pressione dei fanghi

| | | | |
|---|--|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

| Dati di input | |
|---------------|--|
|---------------|--|

| | |
|-------------------------|-------|
| Angolo di uscita | 16 ° |
| Raggio della catenaria | 100 m |
| Distanza fra i rulli | 15 m |
| Profondità del pozzetto | 1.5 m |
| Altezza dei rulli | 0.5 m |

| Caratteristiche della condotta: | |
|---------------------------------|--|
|---------------------------------|--|

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Diametro esterno | 114 mm |
| Spessore di parete | 5.2 mm |
| SMYS (Rp) | 360 N/mm ² |

| Profilo della catenaria di varo | |
|---------------------------------|--|
|---------------------------------|--|

| | |
|----------------------------------|---------|
| Altezza massima H _{max} | 2.37 m |
| Distanza alla H _{max} | 21.66 m |
| Altezza del punto di svolta | 1.44 m |
| Dist. al punto di svolta | 35.32 m |
| Angolo punto di svolta | -7.85 ° |
| Lunghezza totale | 48.97 m |
| Lunghezza pozzetto | 5.90 m |

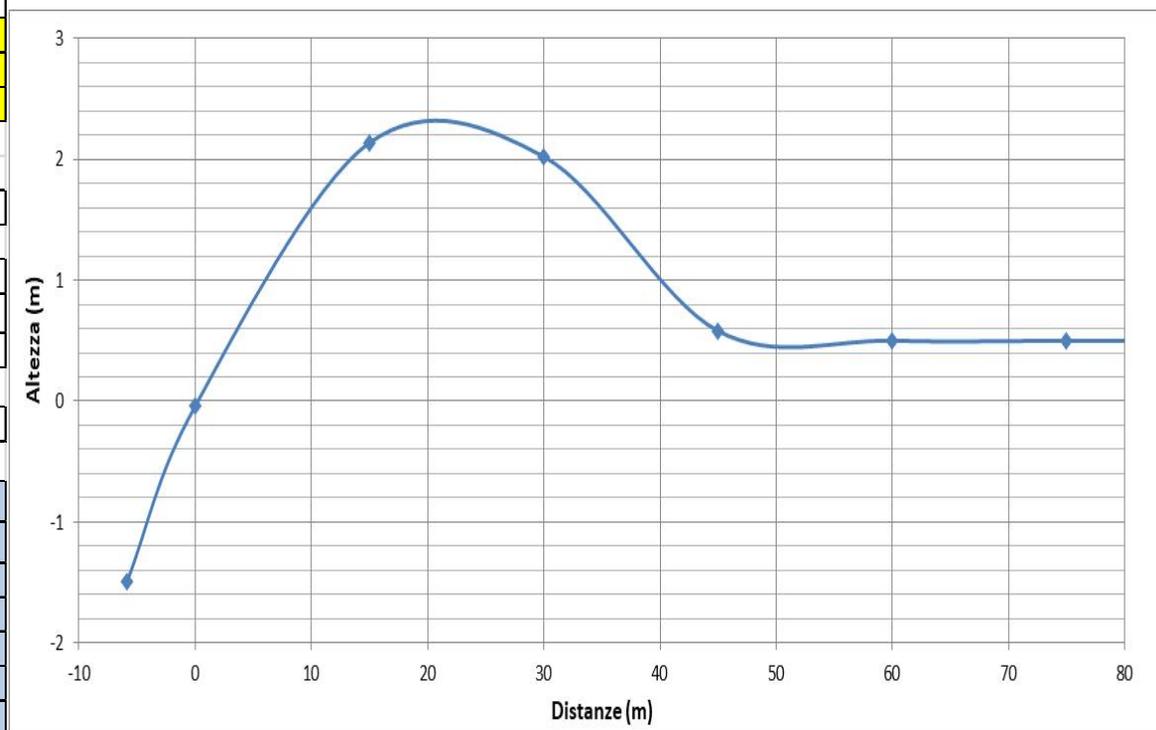


Figura 13 – Calcolo e grafico della curva di varo per angolo di uscita 16°, raggio 100 m. Altezza max. = 2.37 m

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

8 CEDIMENTI DEL TERRENO IN FASE DI PERFORAZIONE

8.1 Generalità

Durante la fase di perforazione l'asportazione del terreno e la modificata distribuzione delle tensioni intorno al cavo cilindrico possono indurre dei cedimenti nei terreni sovrastanti ad esso. La distribuzione degli spostamenti verticali, dipendente dalla profondità del cavo e dalla distanza orizzontale, può manifestarsi fino alla superficie, seppur con intensità in genere ridottissime.

8.2 Metodologia

Da studi sperimentali e dalla casistica si evidenzia che la distribuzione degli spostamenti verticali, lungo una sezione trasversale, può essere descritta da una espressione Gaussiana (Viggiani, 1999), di equazione:

$$w = w_{max} \cdot e^{-x^2/2i^2}$$

dove:

- w cedimento generico di un punto posto in superficie
- w_{max} cedimento in corrispondenza della proiezione in superficie dell'asse TOC
- x distanza del punto dalla proiezione in superficie dell'asse TOC
- i ascissa del punto di flesso del profilo di subsidenza; $i = kh$
- k coefficiente pari a 0.5 per terreni coesivi, 0.25 per terreni incoerenti
- h profondità dell'asse delle perforazione

Per il calcolo dell'assestamento verticale massimo w_{max} si fa ricorso alla seguente espressione:

$$w_{max} = 0.31 V' \cdot D^2 / kz_0$$

dove:

- V' coefficiente dipendente dal tipo di terreno
 - = 0.03 per argille tenere
 - = 0.01÷0.02 per argille consistenti
 - = 0.02 per terreni granulari
- D diametro di perforazione.

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

8.3 Risultati

Si è effettuata la verifica dei cedimenti verticali lungo l'intera lunghezza della trivellazione e quindi anche in corrispondenza del piede degli argini.

Dai calcoli effettuati si sono ricavate le curve degli spostamenti verticali indotti in superficie a causa della perforazione.

Come si può osservare (Fig. 16), grazie alle ridotte dimensioni del cavo, tali cedimenti sono assolutamente trascurabili, quasi assenti, dell'ordine di poche frazioni di millimetro per tutta la lunghezza di trivellazione.

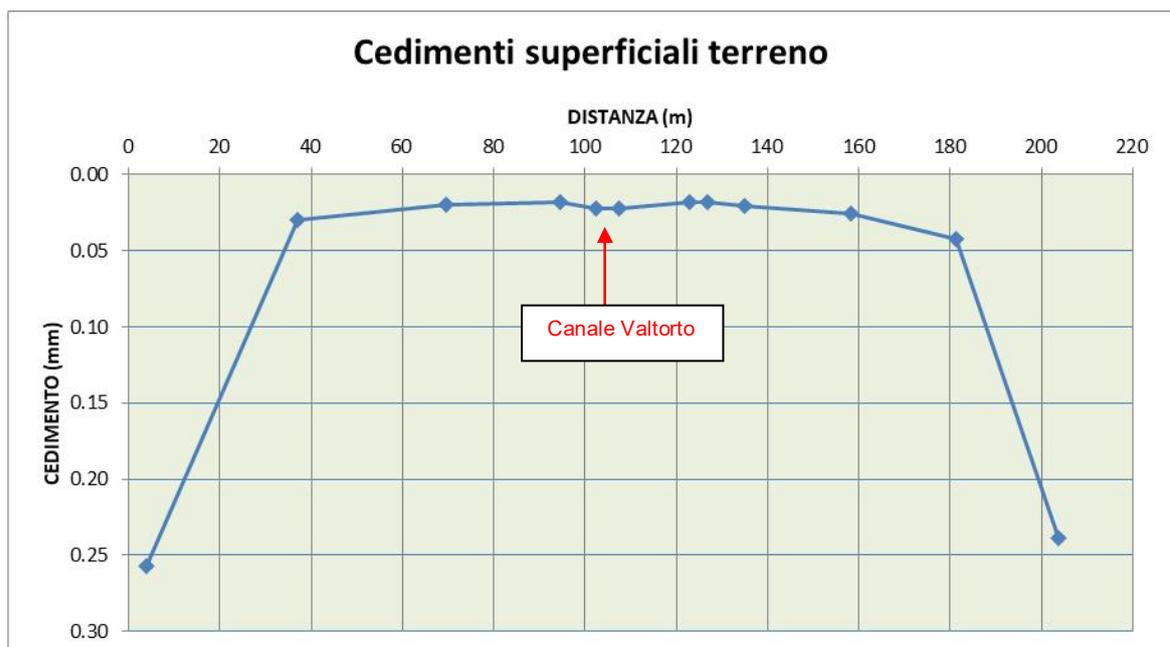


Figura 16 – Andamento dei cedimenti superficiali lungo la perforazione della TOC

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio è stato rivolto alla caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti lungo il tracciato della T.O.C. in progetto al fine di verificarne la fattibilità e fornire i parametri necessari per la sua progettazione esecutiva.

Inoltre sono state eseguite specifiche verifiche in merito ad eventuali effetti che la T.O.C., con la configurazione di progetto, potrebbe indurre in superficie in fase di realizzazione, cioè la rottura del terreno e la fuoriuscita dei fanghi.

Dalle indagini geognostiche e geotecniche eseguite è emerso che i terreni presenti risultano facilmente trivellabili, essendo costituiti da materiale sabbioso-limoso-argilloso.

Sono state inoltre condotte verifiche finalizzate alla valutazione della pressione massima dei fanghi sostenibile dal terreno sovrastante durante la perforazione in paragone con la pressione operativa necessaria per l'avanzamento della trivellazione; questa ultima deve sempre mantenersi inferiore, al fine di evitare qualsiasi fenomeno di fuoriuscita incontrollata in superficie.

In merito al rischio di fuoriuscite incontrollate di fango durante la perforazione, operando adeguatamente in termini di scelta delle idonee attrezzature e delle modalità esecutive, si è verificato che la zona di terreno plasticizzato intorno al foro di trivellazione si mantiene sempre al di sotto del piano campagna per quasi tutta la lunghezza della trivellazione. Solo negli ultimi 10 m circa prima dell'uscita i margini di sicurezza risultano diminuire; tuttavia l'assenza di strutture sensibili o di corsi d'acqua in tale posizione nonché la possibilità di intervenire rapidamente in caso di venuta a giorno di fango riducono notevolmente il rischio di provocare danni.

L'impresa esecutrice, sulla base delle informazioni in merito alla natura del terreno sopra riportate, eventualmente integrate se riterrà opportuno da nuove indagini e verifiche, dovrà pertanto adottare la tecnologia di perforazione più adeguata alla situazione nonché tutti i necessari accorgimenti atti a portare a termine con successo la trivellazione. In particolare si consiglia di massimizzare l'area dell'anello di perforazione (differenza tra l'area della testa e

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

l'area delle aste) usando una testa di perforazione la più larga possibile in modo da minimizzare la perdita di carico della pressione dei fanghi.

Si consiglia inoltre, in corrispondenza del passaggio al di sotto dell'alveo del torrente e nel tratto terminale della TOC, dove i margini di sicurezza in relazione alla venuta a giorno dei fanghi risultano necessariamente inferiori che altrove, di procedere con bassa velocità di avanzamento assicurando la massima pervietà del cavo.

Per quanto riguarda il cedimento indotto in superficie dalla cavità trivellata, è risultato che i cedimenti verticali indotti dal passaggio della perforazione a livello del piano campagna sono impercettibili, praticamente nulli.

Si conclude affermando che la T.O.C. in progetto risulta assolutamente fattibile per quanto riguarda gli aspetti considerati.

| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|---|---|----------------|-------|
|  |  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small> | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

ALLEGATO 1
INDAGINI GEOGNOSTICHE

| | |
|--|---------------|
| RIFACIMENTO ALLACCIAMENTO ALMA DISTRIBUZIONE DN 100 (4") – DP 75 bar ATTRAVERSAMENTO TOC CANALE VALTORTO | Pag. 40 di 41 |
|--|---------------|

| | | | |
|---|---|----------------|-------|
| COMMITTENTE | PROGETTISTA | COMMESSA | C.T. |
|  |  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori | NR/08283 | 15988 |
| | | LSC-220 | |

CPTU 11

