

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 1 di 63	Rev. 0

Metanodotto:

DERIVAZIONE (20121) CAMPODARSEGO-RESANA

DN 300 (12") – DP 24 bar

ATTRAVERSAMENTO CANALE MUSON DEI SASSI N. 2

COMUNE DI LOREGGIA (PD)

RELAZIONE GEOTECNICA TOC E VERIFICA SIFONAMENTO ARGINI



1	Modifica per recepimento prescrizioni GC Padova	Polloni	Battisti	Luminari	28/02/2020
0	Emissione	Polloni	Battisti	Luminari	18/01/2019
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 2 di 63	Rev. 0

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	6
3	CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA.....	9
3.1	Inquadramento fisico dell'area	9
3.2	Caratteristiche stratigrafiche	10
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	15
4.1	Parametri derivati dalle prove SPT	15
5	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE.....	20
6	SCELTA DEL PROFILO DI TRIVELLAZIONE.....	21
6.1	Localizzazione dei punti di entrata e di uscita	21
6.2	Profondità del profilo	22
6.3	Raggi di curvatura	23
6.4	Angoli di ingresso e di uscita	25
6.5	Individuazione del corridoio litologicamente idoneo	28
7	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	30
7.1	Caratteristiche della TOC	30
7.2	Calcolo dello sforzo di tiro	31
7.3	Raccomandazioni e prescrizioni	33
8	PLASTICIZZAZIONE DEL TERRENO	35
8.1	Generalità	35
8.2	Metodologia	35
8.3	Calcolo della perdita di carico	38

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 3 di 63	Rev. 0

8.4	Calcoli e risultati	40
9	VERIFICA AL SIFONAMENTO	47
9.1	Generalità	47
9.2	Metodologia	47
9.2.1	Metodo del gradiente	48
9.2.2	Metodo olandese	49
9.3	Risultati	50
10	CEDIMENTI DEL TERRENO IN FASE DI PERFORAZIONE.....	51
10.1	Generalità	51
10.2	Metodologia	51
10.3	Risultati	52
11	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	53

APPENDICE – Calcolo sforzo di tiro

ALLEGATO 1 - Risultati indagini geognostiche

ALLEGATO 2 - Prove di laboratorio geotecnico

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 4 di 63	Rev. 0

1 PREMESSA

La presente relazione illustra i criteri e le verifiche tecniche alla base della progettazione della trivellazione orizzontale controllata (TOC) per l'attraversamento del torrente Muson dei Sassi n. 2 lungo il metanodotto Snam Rete Gas "Rifacimento Campodarsego-Castelfranco Veneto e opere connesse" DN 300 (12"), localizzato nel territorio del comune di Loreggia, in provincia di Padova.

Il progetto prevede l'installazione tramite TOC della tubazione del metanodotto e parallelamente ad essa anche una tubazione in acciaio portacavo di diametro DN 200 mm in cui inserire la polifora. Pertanto andranno eseguite 2 trivellazioni parallele a distanza di 6÷8 m, una di diametro sufficiente per installare la tubazione del metanodotto DN= 300 mm e l'altra per il tubo di protezione portacavi DN= 200 mm.

Le verifiche di seguito riportate in merito alla geometria della TOC si riferiscono alla situazione di maggior diametro, ma valgono anche per quella più piccola.

La geometria dell'attraversamento, indicata nell'elaborato dis. AT-20121-32 al quale si rimanda per maggiori dettagli, tiene conto di quanto previsto nella "Regola Tecnica" di cui al D.M. 17 Aprile 2008.

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, ivi comprese quelle geotecniche relative alla compatibilità della pressione dei fanghi con la resistenza del terreno, nonché quelle idrauliche relative alla stabilità degli argini del corso d'acqua attraversato.

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.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 5 di 63	Rev. 0

Nella presente relazione 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, gli equipaggiamenti, diametri di perforazione da impiegare per condurre la TOC con successo e senza danno alla condotta da installare, nonché eventuali opere di bonifica in corrispondenza di tratti che ne abbisognassero.

Per il presente studio ci si è basati sui risultati di una specifica indagine geognostica e di prove di laboratorio geotecnico riportate negli allegati 1 e 2 rispettivamente. L'inquadramento geologico generale dell'area attraversata dal metanodotto in esame è illustrato nella Relazione Geologica COMIS NR/16025 LSC-201.

Ulteriori informazioni di carattere stratigrafico sono state attinte dallo studio della Regione Veneto "*Muson dei Sassi. Verifica della consistenza delle arginature nel tratto di competenza dell'unità periferica del Genio Civile di Padova*".

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni riportate nella presente relazione sono comunque da considerarsi preliminari. L'Impresa esecutrice è tenuta a verificarne l'effettiva rispondenza con la situazione locale, anche tramite ulteriori indagini che riterrà necessarie.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 6 di 63	Rev. 0

2 LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'attraversamento in progetto, finalizzato all'attraversamento in subalveo del torrente Muson dei Sassi, si ubica lungo il tracciato del metanodotto "Derivazione (20121) Campodarsego-Resana, alla progressiva 13+700 km e ricade nella parte occidentale del territorio del comune di Loreggia in provincia di Padova.

Il sito si localizza nel foglio IGM 50 Padova a scala 1:100.000 e nella sezione n. 126040 della cartografia tecnica regionale della Regione Veneto 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 (v. Fig. 2b).

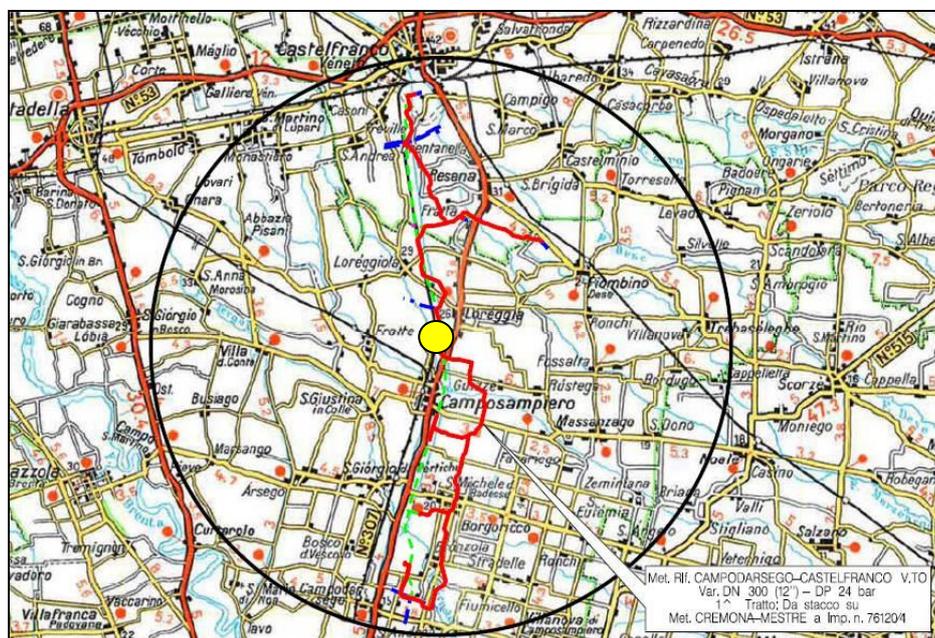


Figura 1– Stralcio Atlante 1:200.000 con localizzazione dell'attraversamento in oggetto (cerchio giallo) lungo il tracciato del metanodotto (in rosso)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 7 di 63	Rev. 0

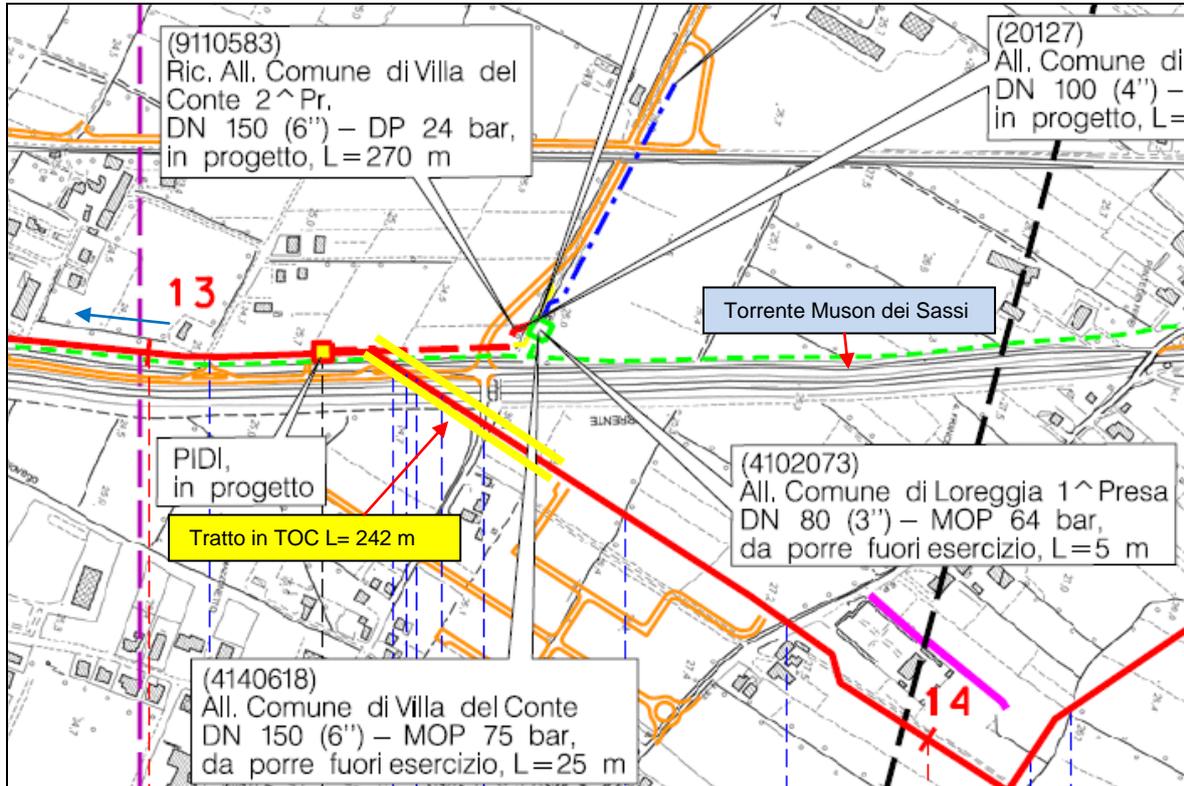


Figura 2a –Localizzazione del sito su CTR 1:10.000



Figura 2b –Localizzazione dell'attraversamento TOC su immagine aerea Google

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA' 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 8 di 63	Rev. 0

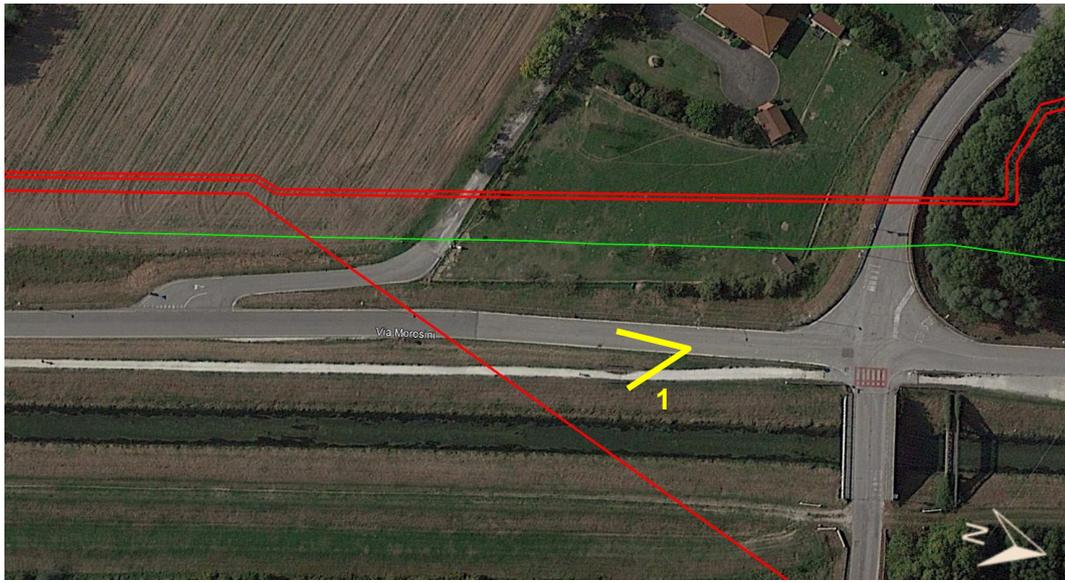


Figura 2c –Vista del punto di ripresa fotografico



Figura 2d –Vista n.1 del torrente in oggetto e della condotta in attraversamento

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12'') – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12'')/200(8'') – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 9 di 63	Rev. 0

3 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA

3.1 Inquadramento fisico dell'area

La zona in cui si localizza l'attraversamento in oggetto ricade nella zona di transizione tra media e bassa pianura veneta, di poco a valle della linea esterna dei fontanili. La morfologia è del tutto pianeggiante con elevazione di circa 25 m s.l.m..

Le pendenze generali del territorio sono bassissime, dell'ordine dello 0.1 % con direzione N-S. L'unico elemento morfologico che caratterizza il territorio, peraltro forma antropica, è costituito dalla presenza del corso d'acqua del torrente Muson dei Sassi e dalle relative arginature.

Dal punto di vista geologico la pianura veneta è formata dall'accumularsi del materiale detritico proveniente dallo smantellamento dei rilievi alpini e prealpini, trasportati dai vari torrenti che scendevano fino alla costa adriatica.

Si tratta di depositi di origine fluvio-glaciale e alluvionale prevalentemente granulare con granulometrie in genere degradanti passando da N a S (v. carta geologica di sintesi in Fig. 3): dalle ghiaie e sabbie prevalenti nella parte settentrionale, alle sabbie limose con ghiaia nella parte centrale e alle alternanze limi argillosi con sabbie fini nel tratto più meridionale. Naturalmente questa distinzione ha carattere generale; la reale composizione del terreno presenta eteropie sia verticali che laterali legate ai complessi processi di migrazione planimetrica degli alvei che si sono susseguiti nel periodo quaternario postglaciale.

Dal punto di vista del reticolo idrico, l'elemento principale incontrato dal metanodotto è il torrente Muson dei Sassi, che viene attraversato più volte dal tracciato e in particolare nella localizzazione in oggetto.

Esso è un torrente che si origina nella zona collinare a nord di Asolo e che, raggiunto Castelfranco Veneto, dopo la confluenza con il fosso Avenale, scorre in un alveo artificiale creato nel '600, lungo circa 25 km che lo porta a confluire nel F. Brenta poco a nord di Padova, all'altezza di Pontevigodarzere.

Da Castelfranco Veneto il corso d'acqua, con andamento subrettilineo N-S, è arginato e nella parte centrale e finale pensile; non riceve più contributi idrici anche perché quelli provenienti dalla destra sottopassano il Muson dei Sassi con botte a sifone per raggiungere quindi la laguna Veneta. Tra questi i principali sono il T. Musone Vecchio e il T. Tergola.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 10 di 63	Rev. 0

Nella sezione di attraversamento in esame il Torrente Muson dei Sassi risulta quasi pensile, con un fondo alveo posizionato ad una profondità di pochissimi decimetri al di sotto della quota della pianura ed è contenuto da rilevati arginali sia in destra che in sinistra che si elevano di circa 4-5 m sul piano.

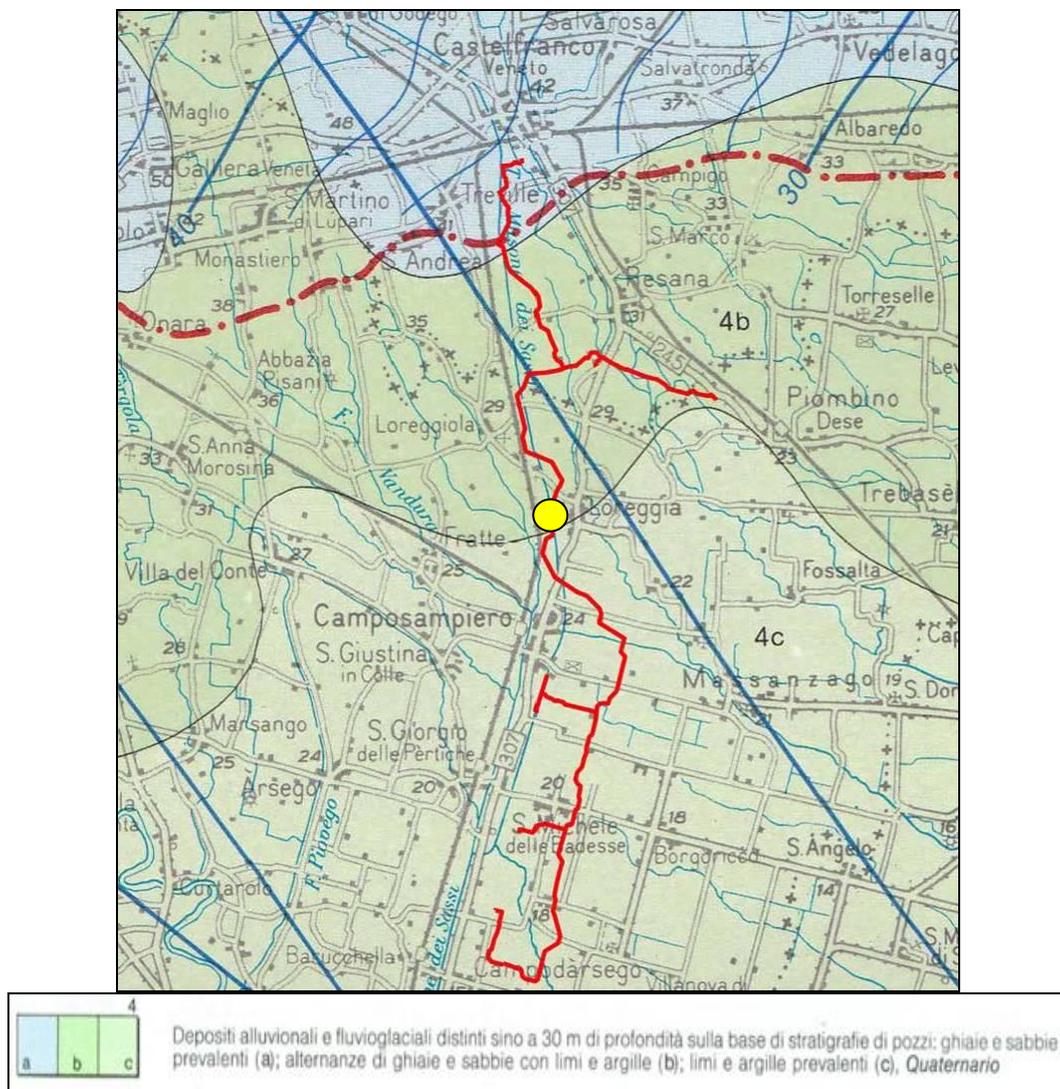


Figura 3 Carta geologica del Veneto, 1:25000, con localizzazione dell'attraversamento

3.2 Caratteristiche stratigrafiche

Le caratteristiche litologiche e geotecniche del sottosuolo nella zona di attraversamento sono state esplorate tramite un'indagine geognostica allo scopo eseguita nell'ambito del presente

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 11 di 63	Rev. 0

progetto consistente in due sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a 20 m, uno in destra e uno in sinistra idrografica.

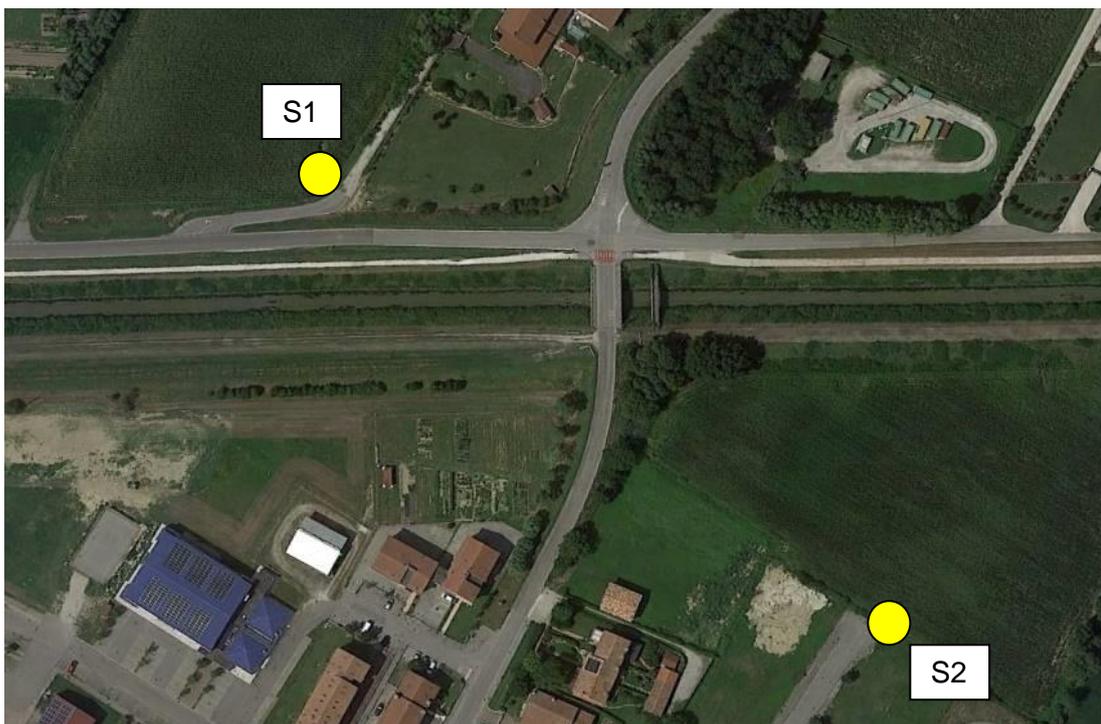


Figura 4- Localizzazione sondaggi eseguiti

Dall'esame delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti si può schematizzare il sottosuolo dell'area da attraversare con la TOC come costituito da depositi alluvionali per lo più incoerenti costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie limose e subordinatamente da limi. E' presente un livello di spessore 1-2 m costituito da sabbia ghiaiosa con elementi di 4-5 cm a profondità dell'ordine di 9-11 m in destra idrografica e di 12-13 in sinistra.

Di seguito si riportano le stratigrafie di sintesi, mentre le stratigrafie di dettaglio figurano in Allegato 1.

Sondaggio S1	Profondità (m)
Limo bruno con pochi elementi ghiaiosi	0.0-0.7
Sabbia poco limosa, sciolta	0.7-9.2
Sabbia con elementi ghiaiosi 4-5 cm	9.2-11.0

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 12 di 63	Rev. 0

Sabbia addensata	11.0-20.0
------------------	-----------

Sondaggio S2	Profondità (m)
Argilla limosa	0.0-2.3
Sabbia poco limosa con livello di limo argilloso da 6.5 a 8.2	2.3-12.0
Sabbia con elementi ghiaiosi 4-5 cm	12.0-13.4
Sabbia addensata	13.4-20.0

Sono state inoltre prese in considerazione per confronto le indagini eseguite per conto della Regione Veneto e riportate nello studio *“Muson dei Sassi. Verifica della consistenza delle arginature nel tratto di competenza dell'unità periferica del Genio Civile di Padova”*, in particolare (v. Fig. 5):

- in sinistra: sondaggio S4 e prove penetrometriche statiche CPT 9 e 10
- in destra: sondaggi SD, S1, S2 e S3.

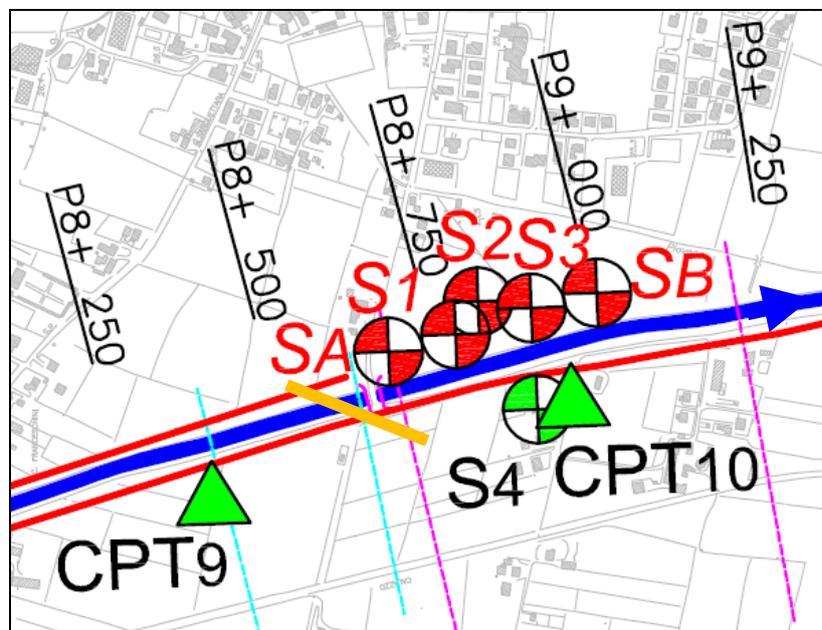


Figura 5 – Ubicazione indagini: il rosso indagini GC campagna 2009,
in verde indagini GC 2010
Sezione di attraversamento in arancio

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 13 di 63	Rev. 0

Si fa presente che tutte le indagini eseguite dal G.C. di Padova e prese qui in considerazione, a parte S3, sono ubicate sulla sommità arginale, motivo per il quale le profondità dei vari livelli stratigrafici vanno adeguatamente riportate al livello di campagna.

Sondaggio SA (GC 2009)	Profondità (m)
Corpo arginale: limo sabbioso argilloso	0.0-5.0
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	5.2-12.0
Limo sabbioso	12.0-14.4
Sabbia con rari clasti	14.4-20.00

Sondaggio S1 (GC 2009)	Profondità (m)
Corpo arginale: limo sabbioso argilloso	0.0-4.9
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	4.9-11.1
Sabbia, limo sabbioso	11.1-12.3
Sabbia con rari clasti	12.3-20.00

Sondaggio S2 (GC 2009)	Profondità (m)
Corpo arginale: limo sabbioso argilloso	0.0-5.3
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	5.3-11.9
Sabbia con rari clasti	11.9-20.0

Sondaggio S3 (GC 2009)	Profondità (m)
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	0.0-7.0
Sabbia, limo sabbioso	7.0-10.0

Sondaggio S4 (GC 2010)	Profondità (m)
Corpo arginale: limo sabbioso argilloso	0.0-4.2
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	4.2-12.0
Sabbia	12.0-15.0

CPT 9 (GC 2010)	Profondità (m)
Corpo arginale: limo sabbioso argilloso	0.0-4.3
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	4.2-13.6
Sabbia	13.6-20.0

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 14 di 63	Rev. 0

CPT 10 (GC 2010)	Profondità (m)
Corpo arginale: limo sabbioso argilloso	0.0-4.5
Alternanze argilla limosa, limo sabbioso, sabbia limosa	4.5-12.0
Sabbia	12.0-20.0

Tabella 1 – Stratigrafie schematiche dei sondaggi e delle prove penetrometriche di GC

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA' 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 15 di 63	Rev. 0

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione dei parametri geotecnici si è basata sui risultati delle prove Standard Penetration Test (SPT) condotti in foro, delle prove speditive di Vane Test (VT) e di Pocket Penetrometer (PP) eseguite sulle carote di terreno.

4.1 Parametri derivati dalle prove SPT

Nel corso dei sondaggi S1 e S2 sono state eseguite 7 prove Standard Penetration Test (SPT), la elaborazione delle quali ha consentito di ricavare i parametri di resistenza e di elasticità dei terreni granulari limosi e sabbiosi indagati.

In particolare, dai risultati delle prove (v. Tab. 2) sono stati desunti i valori di densità relativa (D_r) e quindi di resistenza al taglio (φ') dei terreni granulari presenti, utilizzando la duplice correlazione densità relativa $D_R = f(N_{SPT})$ e angolo di attrito $\varphi' = f(D_R)$, ed inoltre i valori del modulo di elasticità E.

Sondaggio	profondità sup. piezo (m)	profondità prova (m)	Colpi/15 cm			N_{SPT}	Terreno
S1	1	12	5	13	13	26	Sabbia
		15	7	10	13	23	Sabbia
		18	9	14	15	29	Sabbia
S2	1.5	4.5	6	7	6	13	Sabbia
		7.5	5	9	12	21	Sabbia
		12	9	14	17	31	Sabbia ghiaiosa
		15	7	12	13	25	Sabbia

Tabella 2 – Risultati delle prove SPT

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 16 di 63	Rev. 0

Stima della densità relativa D_R

Molte relazioni empiriche e basate su sperimentazioni sono state proposte da vari autori, soprattutto per terreni incoerenti, al fine di derivare dai valori delle prove SPT (N_{SPT}) la densità relativa (D_R) dei depositi, tenendo in opportuno conto i valori di pressione efficace σ'_{vo} .

I valori di densità relativa sono stati calcolati tramite la correlazione di *Gibbs e Holtz* (1957):

$$D_r = 21 \times (N / (0.7 + \sigma'_{vo} / p_a))^{0.5}$$

relazione valevole per sabbie normalmente consolidate.

In figura 6 è riportato il grafico dei valori della densità relativa in funzione di N_{SPT} .

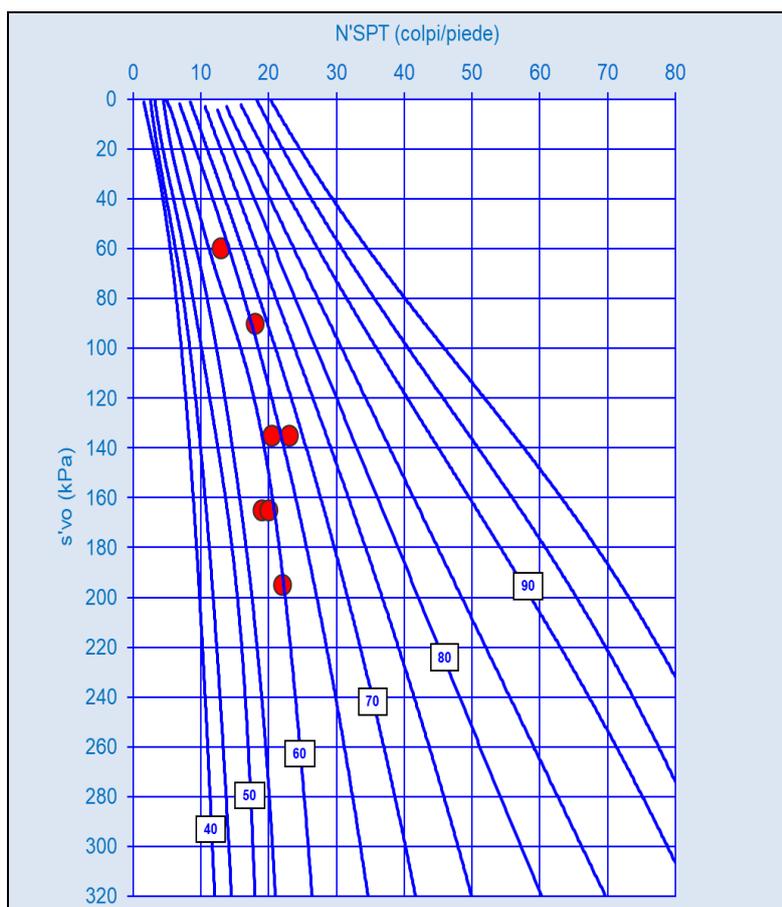


Figura 6 – Stima della densità relativa

Stima dell'angolo di resistenza al taglio ϕ

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12'') – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12'')/200(8'') – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 17 di 63	Rev. 0

Il valore del parametro di resistenza al taglio in condizioni efficaci (ϕ') è stato stimato indirettamente a partire dai valori calcolati di densità relativa facendo ricorso alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) (v. Tab. 3 e Fig. 7).

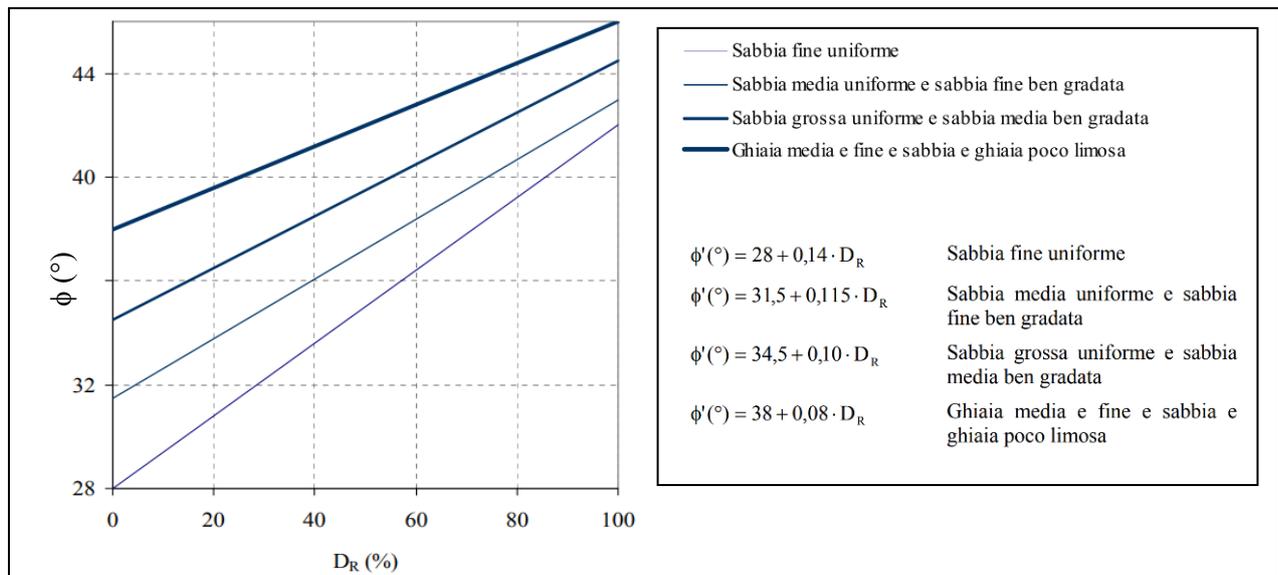


Figura 7 – Correlazione densità relativa (D_r) - angolo di resistenza al taglio (ϕ) Schmertmann. 1975)

Come si vede dalla tabella 3 i valori di densità relativa dei terreni sabbiosi incontrati in entrambi i sondaggi ricadono in un limitato range da 59% e 67%, segnalando uno stato di buon addensamento cui competono valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\phi = 38^{\circ} - 39^{\circ}$.

Sondaggio	profondità (m)	Terreno	N_{spt}	D_r (%) Gibbs Holtz	ϕ ($^{\circ}$) Shmertmann
S1	12	Sabbia	26	64	38
	15	Sabbia	23	59	38
	18	Sabbia	29	60	38
S2	4.5	Sabbia	13	63	32
	7.5	Sabbia	21	66	38
	12	Sabbia ghiaiosa	31	67	39
	15	Sabbia	25	59	38

Tabella 3 – Calcolo della densità relativa e dell'angolo di resistenza al taglio

Stima del modulo di elasticità E

Per quanto attiene il modulo di elasticità, esso è stato stimato sulla base di:

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA' 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 18 di 63	Rev. 0

- relazione di Janbu (1967):

$$E = m(\sigma'_{v0} p'_a)^{0.5}$$

dove

m= coefficiente funzione del tipo di terreno e del grado di addensamento

p'_a = pressione di riferimento (=100 kPa)

Nella Tabella 4 si riportano i valori del parametro del modulo di elasticità derivati tramite la correlazione sopra esposta.

I valori rientrano in un range di 15-28 MPa.

<i>Sondaggio</i>	<i>profondità (m)</i>	<i>Terreno</i>	<i>E Modulo di Joung (MPa)</i>
S1	12	Sabbia	24
	15	Sabbia	24
	18	Sabbia	28
S2	4.5	Sabbia	15
	7.5	Sabbia	20
	12	Sabbia ghiaiosa	26
	15	Sabbia	25

Tabella 4 - Stima del modulo di elasticità E dalle prove SPT

Stima della coesione non drenata

In sponda sinistra sono presenti fino a profondità di circa 12 m, alternanze di sabbie con subordinati livelli di limi argillosi e di argille limose. La stima del valore della loro resistenza al taglio in condizioni non drenate si basa su numerose prove speditive effettuate sulle carote estratte nel corso del sondaggio S2 e anche dai vari sondaggi effettuati da Genio Civile di Padova, precisamente da prove Pocket Penetrometer (PP) e da prove Vane Test VT).

Le stime di seguito riportate rappresentano la media aritmetica tra tutte le prove effettuate sui terreni coesivi incontrati nei vari sondaggi.

- Sondaggio SA PP: $c_u=33$ kPa VT: $c_u= 26$ kPa

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 19 di 63	Rev. 0

- Sondaggio S1 PP: $c_u=42$ kPa VT: $c_u= 31$ kPa
- Sondaggio S2 PP: $c_u=34$ kPa VT: $c_u= 31$ kPa
- Sondaggio S3 PP: $c_u=36$ kPa VT: $c_u= 35$ kPa

Come si può notare i valori stimati convergono nel classificare i terreni coesivi presenti a bassa resistenza al taglio in condizioni non drenate.

4.3 Parametri derivati da prove di laboratorio

Sui campioni prelevati sono state eseguite solamente analisi granulometriche, utili ai fini della classificazione dei terreni per l'impiego della tecnica trenchless della trivellazione orizzontale controllata (v. Allegato 2).

CAMPIONE		S1 C1 9,5/10,0m	S1 C2 17,5/18,0m	S2 C1 4,0/4,3m	S2 C2 8,2/8,5m	S2 C3 12,5/13,0m	S2 C4 17,6/18,0m
Limite di liquidità	%	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Indice di plasticità	%	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Frazione ghiaiosa	%	28,1	23,2	1,0	3,5	27,3	0,4
Frazione sabbiosa	%	61,8	61,4	76,6	70,1	62,3	75,3
Frazione fine	%	10,1	15,4	22,4	26,4	10,4	24,3
Classificazione USCS	-	SW-SM	SM	SM	SM	SW-SM	SM

Tutte le prove hanno evidenziato che i terreni da attraversare sono costituiti da sabbie (circa 60-70%) con una percentuale dell'ordine del 28 % di ghiaia in corrispondenza dello strato di un paio di metri di spessore, presente intorno ai 10-12 m, e con frazione fine altrove.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 20 di 63	Rev. 0

5 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
- sforzi di tiro in fase di varo
- resistenza del terreno alla pressione dei fanghi
- rischio di sifonamento degli argini (se esistenti)
- verifica dei cedimenti indotti.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 21 di 63	Rev. 0

6 SCELTA DEL PROFILO DI TRIVELLAZIONE

6.1 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 destra idrografica ad una distanza di circa 60 m dal piede dell'argine. Qui la morfologia è assolutamente pianeggiante per poter realizzare la piazzola, di facile accesso ai mezzi. Tale

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 22 di 63	Rev. 0

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

6.2 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 venute a giorno dei fanghi e conseguenti danni ambientali.

Il profilo di progetto per l'attraversamento del T. Muson in studio è stato scelto in modo da attraversare i terreni sabbiosi e sabbiosi-limosi presenti sopra il livello di sabbie ghiaiose

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 23 di 63	Rev. 0

posizionato a 10-13 m, che comunque stante la subordinata percentuale di ghiaia risulta percorribile; il profilo è stato inoltre verificato per quanto riguarda la resistenza del terreno alla pressione operativa dei fanghi risultando idoneo al riguardo. In merito alla profondità al di sotto del corso d'acqua da attraversare, è risultato che la TOC sottopassa il Torrente Muson dei Sassi ad una profondità che consente uno spessore di copertura di 10 m.

6.3 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 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:

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

dove: D_e = diametro esterno

D_i = diametro interno

W_{th} = spessore di parete

SMYS= specified minimum yield strength

P= pressione interna massima

$F_{s, st}$ = fattore di sicurezza relativo al calcolo di resistenza dell'acciaio.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 24 di 63	Rev. 0

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

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

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

- “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 si userà una tubazione in acciaio delle seguenti caratteristiche:

- D_e = diametro esterno (323.9 mm)
- D_i = diametro interno (304.9 mm)
- W_{th} = spessore di parete (9.5 mm)
- SMYS= specified minimum yield strength= 360 MPa
- P = pressione interna massima= 75 bar

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA' 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 25 di 63	Rev. 0

Dalle verifiche effettuate con le relazioni soprariportate risultano i seguenti valori:

- $R_{\min, \text{pipe}} = 175 \text{ m}$
- $R_{\min, \text{HDD}} = 350 \text{ m}$

Tale ultimo valore del raggio di trivellazione è da prendersi come riferimento minimo per i tratti in curva della TOC in oggetto. Esso risulta in accordo con la soprariportata relazione empirica e con i valori consigliati nella tabella di Fig. 5.

Si sottolinea che tale valore 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 150 m (con $F_s=1.5$).

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:

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

Nel caso specifico il progetto prevede per il profilo della TOC un raggio nel piano verticale pari a 400 m e nessuna curvatura planimetrica.

6.4 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 15°, 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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 26 di 63	Rev. 0

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:

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

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 $\alpha_{in} = 10^\circ$
- angolo di uscita $\alpha_{out} = 10^\circ$

La curva di varo risulta come dalla figura seguente (v. Fig. 7).

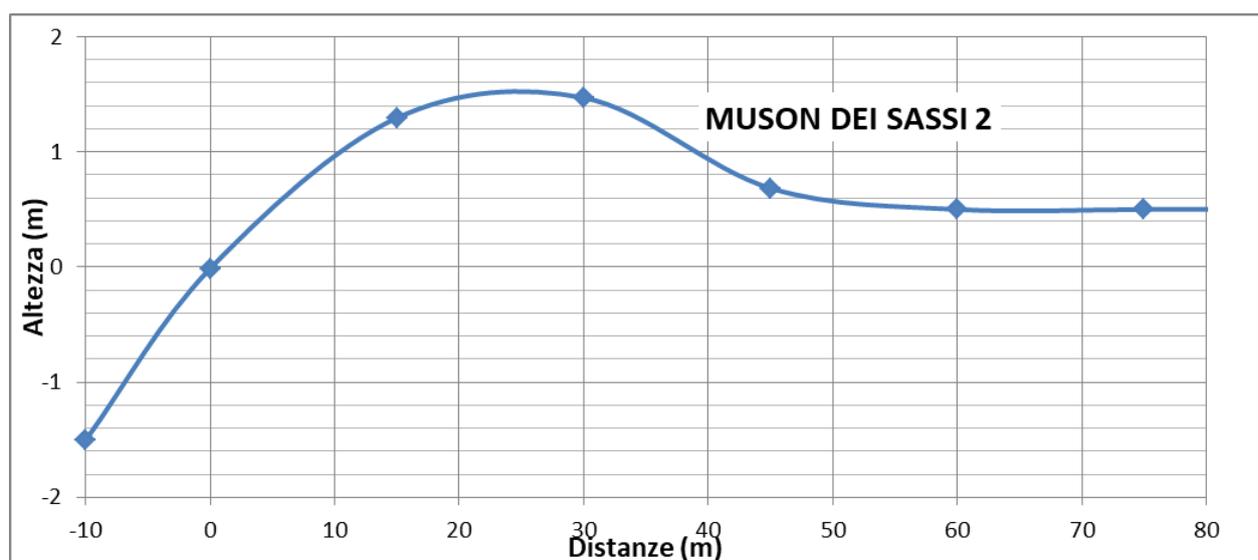


Figura 7 – Grafico della curva di varo nell'ipotesi di angolo di uscita di 10° e raggio= 200 m

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 27 di 63	Rev. 0

Le caratteristiche della curva di varo, nella ipotesi di angolo di uscita di 10°, raggio 200 m, sono le seguenti:

- altezza massima= 1.54 m sul punto di uscita, alla distanza di 25 m
- distanza al punto di flesso= 39 m
- lunghezza totale= 54 m.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 28 di 63	Rev. 0

6.5 Individuazione del corridoio litologicamente idoneo

Oggi giorno 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. 8).

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.

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 29 di 63	Rev. 0

Nel caso in oggetto la situazione stratigrafica (v. Relazione Geologica Comis, NR/16125 LSC-202) vede la presenza di terreni prevalentemente incoerenti sabbiosi-limosi con presenza intorno ai 10 m di uno strato sabbioso con ghiaia in percentuale di circa 28% di spessore circa 2 m.

Il profilo di trivellazione è stato scelto in modo da attraversare i terreni sabbio-limosi e non interessare il livello sabbioso con ghiaia, in modo di avere una più facile trivellazione.

In ogni modo anche i terreni dello strato sabbioso con ghiaia, qualora interessati dalla trivellazione, risulterebbero assolutamente perforabili.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 30 di 63	Rev. 0

7 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

7.1 Caratteristiche della TOC

La trivellazione orizzontale controllata in progetto per l'installazione della condotta del metanodotto collegherà il punto di entrata ubicato in destra idrografica ad di là del piede arginale di circa 60 m con il punto di uscita localizzato in sinistra ad una distanza di circa 105 m dal piede arginale, permettendo di sottopassare contestualmente il torrente Muson dei Sassi, una strada privata, due volte Via Morosini, una pista pedonale e la strada sulla sommità arginale in sinistra.

La metodologia TOC che si intende utilizzare si articola secondo le seguenti fasi (v. Fig. 9):

- 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
- tiro entro il cavo alesato della colonna di tubazione pre-allestita.

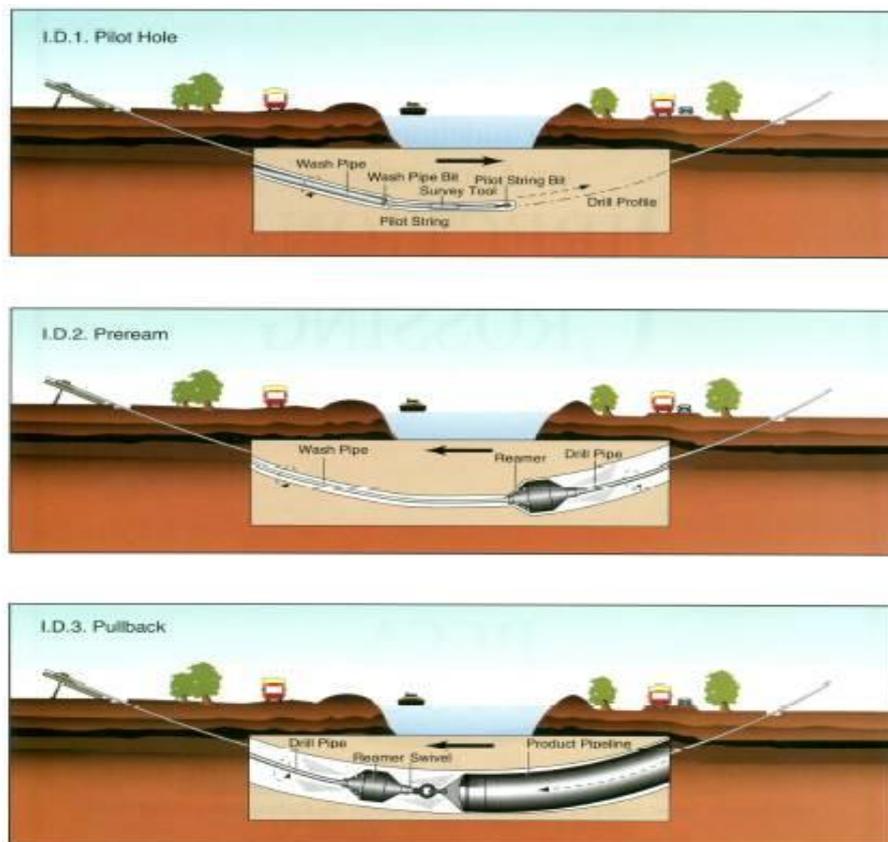


Figura 9: schema delle fasi in cui si articola la T.O.C.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 31 di 63	Rev. 0

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

- lunghezza planimetrica della trivellazione: 240.67 m
 - lunghezza reale: 243.15 m
- di cui:
- o tratto rettilineo iniziale inclinato 10° 24.43 m
 - o tratto curvilineo iniziale $R_v= 400$ m 69.46 m
 - o tratto rettilineo centrale orizzontale 52.00 m
 - o tratto curvilineo finale $R_v= 400$ m 69.46 m
 - o tratto rettilineo finale inclinato 10° 25.32 m

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

7.2 Calcolo dello sforzo di tiro

La scelta della macchina di perforazione (rig) da utilizzare si basa soprattutto sullo sforzo di tiro previsto, necessario per il tiro della tubazione.

Naturalmente la potenza del rig dovrà essere superiore allo sforzo previsto per il tiro di un adeguato fattore di sicurezza, in caso necessitasse una maggiore forza a seguito di eventuali evenienze, quali l'incastro della tubazione per occlusione parziale del foro.

Le forze che si oppongono al tiro e che pertanto devono essere vinte dalla capacità del rig sono dovute principalmente a:

- attrito tubazione-rulliere per la parte fuori dal cavo
- attrito tubazione-terreno per la parte in cavo
- adesione tubazione-fango di perforazione sempre per la parte in cavo.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 32 di 63	Rev. 0

Le forze di attrito sono funzione del peso della tubazione e della sua reazione elastica nei tratti di curva, sia nel tratto di colonna di varo qualora curvilinea che nel cavo nei tratti ad andamento curvilineo, nonché dei coefficienti di attrito nei rispettivi tratti.

Dato che la tubazione all'interno del cavo è totalmente immersa nel fango di trivellazione (il cui peso di volume è dell'ordine di $12\div 13 \text{ kN/m}^3$), la forza verticale che determina l'attrito è la forza peso sommersa, cioè la risultante del peso della tubazione con la sua spinta di galleggiamento. Per tubazioni piccole, in genere la risultante è positiva, mentre invece per tubazioni di largo diametro essa è negativa. In questo ultimo caso può risultare utile, al fine di minimizzare l'attrito e pertanto lo sforzo di tiro, zavorrare parzialmente o totalmente la condotta con acqua per portarla il più possibile vicino al un peso sommerso prossimo a zero.

I calcoli dello sforzo di tiro vengono eseguiti seguendo la normativa americana A.G.A. (American Gas Association), che valuta tale sforzo come somma dei tiri parziali per singoli tratti, così schematizzabili:

- tratto all'aperto su rulliere
- tratto di discesa rettilineo inclinato
- tratto di curva elastica di discesa con dato raggio di curvatura
- tratto rettilineo orizzontale
- tratto di curva elastica di risalita con dato raggio di curvatura
- tratto di risalita rettilineo inclinato.

Lo sforzo di tiro applicato alla tubazione deve risultare necessariamente inferiore alla sollecitazione longitudinale ammissibile da parte della condotta, secondo quanto stabilito dalle ASME B 31.4 – 2002 che prevedono che le sollecitazioni applicate longitudinalmente alla tubazione siano inferiori all' 80% dello SMYS.

Gli sforzi di tiro, calcolati per le varie fasi, presentano un massimo alla fine della fase di tiro nella parte rettilinea di risalita, e risultano i seguenti:

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 33 di 63	Rev. 0

- tubazione vuota: 165 kN cui corrisponde una sollecitazione pari allo 4.89 % dello SMYS
- tubazione piena d'acqua: 184 kN cui corrisponde una sollecitazione pari allo 5.44% dello SMYS

In Appendice vengono riportati in dettaglio i dati di input e di output delle calcolazioni effettuate, nonché i relativi grafici.

Come risulta lo sforzo di tiro è di poco inferiore nel caso si tiri la tubazione vuota che zavorrata con acqua. Le sollecitazioni si mantengono a valori assai bassi rispetto all'ammissibile, dell'ordine del 5 % dello SMYS.

In considerazione degli sforzi di tiro previsti, che l'Impresa è tenuta a verificare, potrà essere impiegato un rig dell'ordine di 30 ton di capacità di tiro.

Altresì l'Impresa sceglierà i diametri del foro pilota e dei successivi passaggi di alesatura più congrui alle capacità del rig che intende utilizzare sia per l'installazione della condotta del metanodotto DN 300 mm che della condotta portacavi DN 200 mm.

7.3 Raccomandazioni e prescrizioni

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. Se ritenuto utile si potrà fare ricorso all'impiego di una centrifuga in aggiunta al normale impianto di separazione al fine sia di contenere i volumi di fango da confezionare che successivamente da smaltire.

Il sistema di guida della trivellazione sarà preferibilmente di tipo magnetico (ad es. Paratrack II) tramite il rilevamento del campo magnetico artificiale generato da un cavo elettrico ad anello, posato in superficie con un braccio in asse del profilo della TOC e un braccio di ritorno a debita

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 34 di 63	Rev. 0

distanza. Qualora si evidenziassero sorgenti spurie di campi magnetici di disturbo (che tuttavia non sembra siano presenti nel caso in oggetto), si può fare ricorso al sistema di guida giroscopico. Comunque l'Appaltatore potrà decidere il sistema di guida che ritiene più opportuno al fine di garantire le precisioni stabilite nella SPC SNAM LSC – 225 Requisiti tecnici per la realizzazione di opere Trenchless, di cui si allega qui di seguito l'estratto relativo:

lunghezza trivellata:	$\pm 0,5\%$ della lunghezza di progetto;
verticalmente:	$\pm 2\%$ rispetto alla massima copertura di progetto;
planimetricamente:	non sono ammessi scostamenti planimetrici superiori a $\pm 0,5$ m;
raggio di curva elastica:	il raggio di curva elastica non dovrà di norma essere, su tutto lo sviluppo della curva, inferiore a quello di progetto e comunque, in nessun punto della catenaria di varo, si dovranno utilizzare raggi di curvatura inferiori al raggio elastico della condotta, calcolato tenendo conto della temperatura (Δt) e delle pressioni (collaudo ed esercizio)
angolo di entrata asta pilota:	coincidente con quello di progetto;
angolo di uscita asta pilota:	$\pm 10\%$ di quello di progetto.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA' 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 35 di 63	Rev. 0

8 PLASTICIZZAZIONE DEL TERRENO

8.1 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.

8.2 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.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 36 di 63	Rev. 0

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.

Terreni granulari, condizioni drenate

La pressione massima efficace è data dalla seguente relazione:

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

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:

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 37 di 63	Rev. 0

dove:

C_{uf} = coesione fattorizzata = C_u/f_c (kN/m²)

f_c = fattore di sicurezza della coesione

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.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 38 di 63	Rev. 0

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.

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).

8.3 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. 10).

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 39 di 63	Rev. 0



Figura 10 – 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: $pV= 8$ $YP= 30$
- $D_{hole}= 12 \frac{1}{4}" (311 \text{ mm})$
- $D_{drill \text{ pipe}}= 6 \frac{5}{8}" (168 \text{ mm})$
-

Tali diametri saranno comunque scelti dall'Impresa in funzione delle attrezzature di cui dispone nonché della potenza del rig che intende utilizzare per la TOC in oggetto.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA' 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 40 di 63	Rev. 0

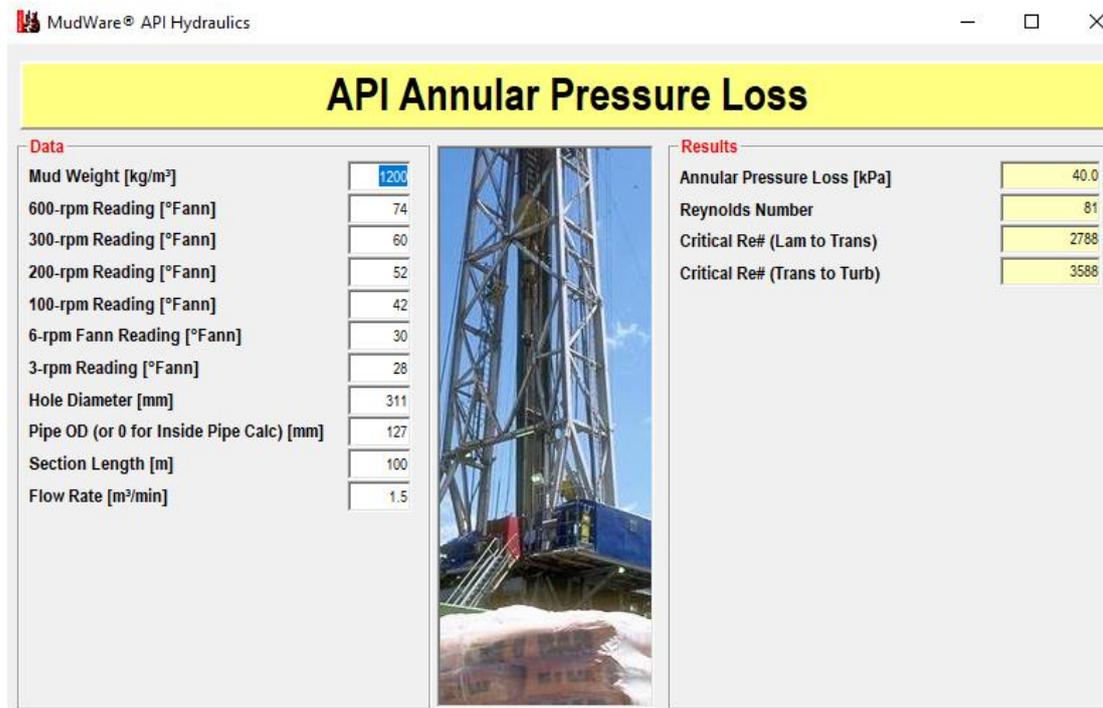


Figura 11 – Risultati del calcolo di caduta di pressione nell'anello per terreni sabbiosi, sabbio-limosi

Come evidenziato in figura 11, per i diametri ipotizzati i calcoli forniscono il valore di perdita unitaria di pressione pari a:

$$uP_{\text{loss}} = 0.40 \text{ kPa/m}$$

Tale valore potrà variare parzialmente in funzione delle reali dimensioni delle attrezzature utilizzate.

8.4 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*)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 41 di 63	Rev. 0

- la pressione massima ammissibile, sopportabile dal terreno nei confronti delle venute a giorno dei fanghi (*pressione max blow out*).

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

In considerazione della presenza di terreni sabbiosi-limosi con subordinata presenza di terreni coesivi, si ipotizza una trivellazione condotta 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 sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5):

γ_s	ϕ'	c'	E	ν
kN/m ³	(°)	kPa	MPa	
19	25	0	15000	0.33

Tabella 5 – Valori dei parametri geotecnici

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 12 e 13, si evidenzia che la pressione operativa dei fanghi risulta sempre inferiore rispetto a quella ammissibile, ad eccezione dell'ultimo tratto di trivellazione di circa 15 m dove, a causa della sempre minore

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 42 di 63	Rev. 0

copertura di terreno sopra il foro e della maggiore pressione dei fanghi necessaria per far 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 far defluire l'eventuale fluido fuoriuscito che successivamente dovrà essere asportato.

L'Impresa valuterà l'opportunità di adottare il sistema di misura della pressione dei fanghi durante la perforazione (PWD) il quale consentirà lungo l'intero percorso il controllo dei valori della pressione stessa effettivamente esercitata alla testa di trivellazione in modo da verificarne la congruità con i valori preventivamente calcolati ed eventualmente fornire un warning in caso di anomalie. Oltre alla costante verifica della fuoriuscita dei fanghi di perforazione, può costituire un utile ausilio 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 14; con l'angolo di ingresso della tubazione pari a 10° essa sarà alta 1.54 m.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE VENETO	LSC-220	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12'') – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12'')/200(8'') – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 43 di 63	Rev. 0

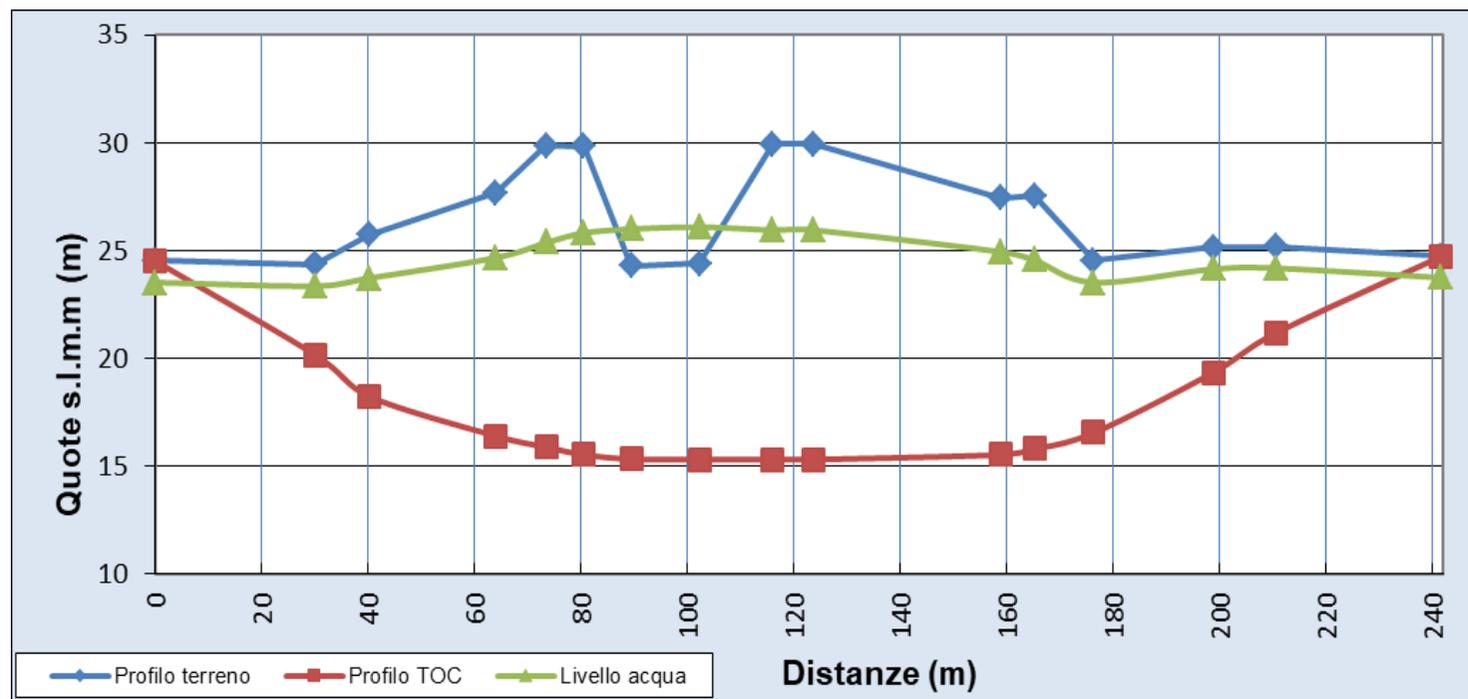


Figura 12 –Sezione schematica del terreno e della T.O.C. (entrata della trivellazione a sinistra)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12'') – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12'')/200(8'') – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 44 di 63	Rev. 0

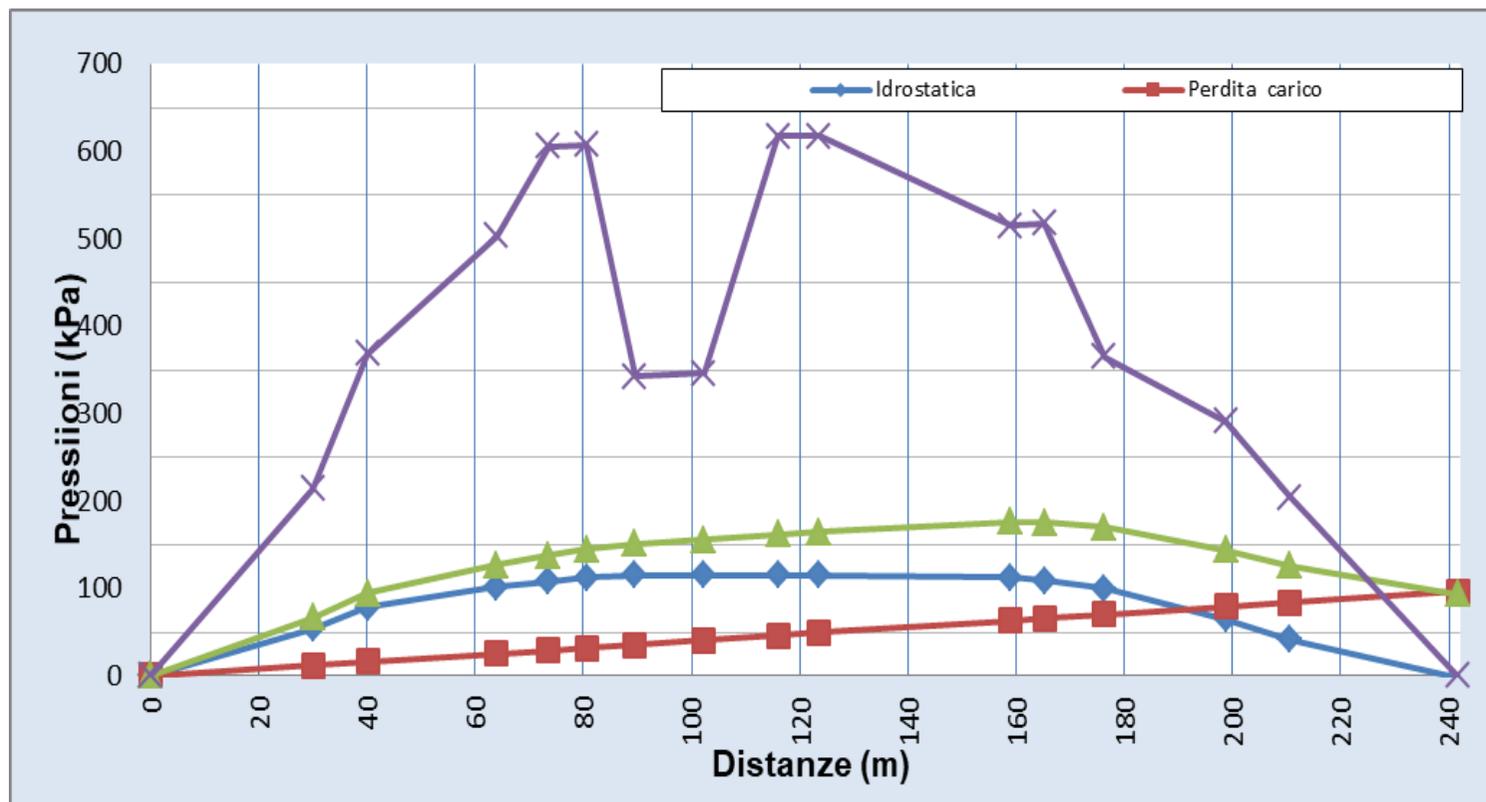


Figura 13 - Andamento della pressione operativa e della resistenza del terreno in funzione della distanza dall'entrata

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12'') – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12'')/200(8'') – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 45 di 63	Rev. 0

Station	Ground level (m)	Water table depth (m)	Pipe level (m)	Pipe Soil Cover (m)	c' (kPa)	Ø' (°)	E (kPa)	v	γ (kN/m3)	σ0'f (kPa)	Ro(m)	Rpmax(m)	P _{lim} (kPa)
0	24.5	1.0	24.5	0.0	0	25	15000	0.33	19.0	0	0.00	0.00	0
30	24.4	1.0	20.2	4.2	0	25	15000	0.33	19.0	31	2.80	0.94	224
40	25.7	2.0	18.2	7.5	0	25	15000	0.33	19.0	57	4.99	0.69	347
64	27.7	3.0	16.4	11.3	0	25	15000	0.33	19.0	85	7.52	0.56	466
74	29.9	4.5	15.9	14.0	0	25	15000	0.33	19.0	112	9.33	0.49	565
81	29.8	4.0	15.5	14.3	0	25	15000	0.33	19.0	110	9.53	0.50	558
90	24.3	-1.7	15.3	9.0	0	25	15000	0.33	19.0	38	5.99	0.85	259
102	24.4	-1.7	15.3	9.1	0	25	15000	0.33	19.0	38	6.06	0.84	262
116	30.0	4.0	15.3	14.7	0	25	15000	0.33	19.0	112	9.77	0.49	565
124	30.0	4.0	15.3	14.7	0	25	15000	0.33	19.0	112	9.77	0.49	565
159	27.4	2.5	15.5	11.9	0	25	15000	0.33	19.0	85	7.95	0.56	465
165	27.6	3.0	15.8	11.8	0	25	15000	0.33	19.0	88	7.84	0.56	476
176	24.5	1.0	16.5	8.0	0	25	15000	0.33	19.0	52	5.32	0.72	326
199	25.1	1.0	19.3	5.8	0	25	15000	0.33	19.0	40	3.87	0.82	269
211	25.2	1.0	21.2	4.0	0	25	15000	0.33	19.0	30	2.67	0.95	218
242	24.7	1.0	24.7	0.0	0	25	15000	0.33	19.0	0	0.00	0.00	0

Tabella 6 -. Risultati del calcolo della pressione dei fanghi

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16025	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE VENETO	LSC-221	
	PROGETTO Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (1^Tratto Campodarsego – Resana) DN 300(12") – DP 24 bar Rif. Met. Campodarsego – Castelfranco V.to (2^Tratto Resana – Castelfranco V.to) DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar e opere connesse	Pagina 46 di 63	Rev. 0

Angolo di uscita	10 °
Raggio della catenaria	200 m
Distanza fra i rulli	15 m
Profondità del pozzetto	1.5 m
Altezza dei rulli	0.5 m

Caratteristiche della condotta:

Diametro esterno	300 mm
Spessore di parete	9.5 mm
SMYS (Rp)	360 N/mm ²

Profilo della catenaria di varo

Altezza massima H _{max}	1.54 m
Distanza alla H _{max}	24.76 m
Altezza del punto di svolta	1.02 m
Dist. al punto di svolta	39.16 m
Angolo punto di svolta	-4.13 °
Lunghezza totale	53.56 m
Lunghezza pozzetto	9.97 m

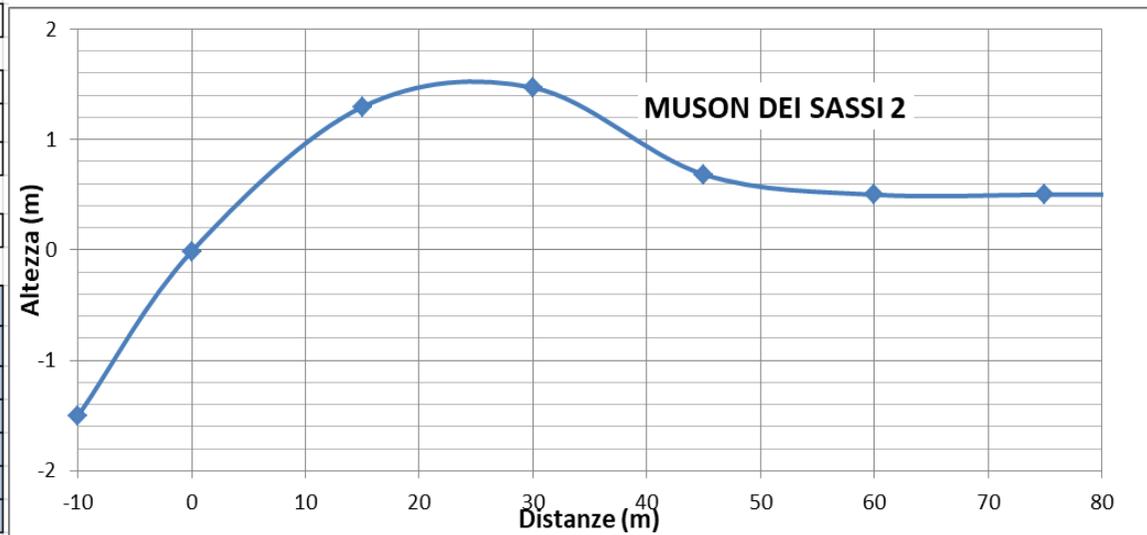


Figura 14 – Calcolo e grafico della curva di varo per angolo di uscita 10°, raggio 200 m. Altezza max. = 1.54 m

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

9 VERIFICA AL SIFONAMENTO

9.1 Generalità

La trivellazione, attraversando il corso d'acqua del Torrente Muson dei Sassi, sottopassa anche i relativi rilevati arginali. Il cavo lungo il quale viene messa in posto la tubazione potrebbe rappresentare una via di preferenziale filtrazione delle acque e, a seguito di elevati battenti idrici in fase di piena, si potrebbero instaurare fenomeni di sifonamento al piede dell'argine.

Tale eventualità non si verifica durante i lavori di trivellazione, se eseguiti in periodi di magra, quando non si hanno battenti idrici al di sopra del piano campagna. Si fa comunque presente che in fase di esecuzione dei lavori nel cavo viene mantenuto con una elevata pressione il fango di trivellazione, il quale ha una permeabilità praticamente nulla, e quindi il cavo stesso costituisce una via di difficile filtrazione.

Nel presente capitolo si verifica che la profondità di sottopasso dell'argine sia tale da scongiurare, con adeguato fattore di sicurezza, qualsiasi fenomeno di filtrazione e di sifonamento dovuto alla installazione della condotta con il metodo della TOC, dal momento che il cavo trivellato una volta inserita la tubazione tende a chiudersi nel giro di poco tempo a seguito del cedimento del terreno circostante.

9.2 Metodologia

Per la verifica al sifonamento si sono usati due differenti metodi, riconducibili all'analisi del gradiente idraulico dei possibili percorsi di filtrazione lungo il tratto rimaneggiato dalla TOC paragonato con quello critico o con quello reale nel corpo arginale esistente adeguatamente ridotto da un coefficiente parziale.

I metodi utilizzati sono i seguenti:

- Metodo del gradiente
- Metodo olandese

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

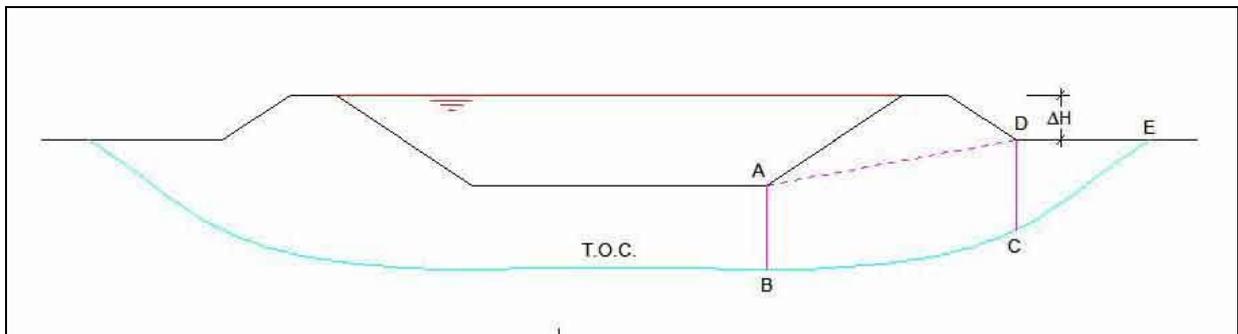


Figura 15- Sezione trasversale teorica

(per precauzione si assume che il franco idrico sia nullo)

9.2.1 Metodo del gradiente

L'azione viscosa dell'acqua provoca un trasferimento di energia fra l'acqua e il terreno: fra due punti distanti Δs lungo una linea di corrente infatti si ha una perdita di carico Δh . La forza corrispondente si chiama forza di filtrazione: al suo aumentare al di sopra di un certo valore può provocare il fenomeno del sifonamento che consiste nell'asportazione di granuli di terreno e il conseguente sempre più veloce moto di filtrazione fino al formarsi di veri e propri canali di flusso.

La velocità limite del moto di filtrazione al di sopra della quale si inizia ad avere asportazione di particelle di terreno corrisponde ad un cosiddetto gradiente critico i_{cr} dato da:

$$i_{cr} = (\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w = \gamma' / \gamma_w$$

dove:

γ_s = peso specifico dei granuli

γ_w = peso specifico dell'acqua

γ' = peso specifico sommerso dei granuli

Il gradiente idraulico che determinerebbe il moto di filtrazione lungo il percorso di trivellazione è funzione della sua lunghezza L (minimo percorso tra ABCE e ABCD, v. Fig. 14) e della perdita di carico Δh , cioè il dislivello tra livello di massima piena prevista e piede dell'argine secondo la relazione:

$$i = \Delta h / L$$

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

Il fattore di sicurezza nei confronti del sifonamento risulta pertanto:

$$F_s = i_{cr} / i = i_{cr} \cdot L / \Delta h$$

Il metodo non tiene conto di differenziazioni tra percorsi orizzontali e percorsi verticali; nel calcolo, per tenere in conto il disturbo provocato dalla trivellazione lungo il tratto orizzontale, si considera un valore del peso di volume medio tra il peso del terreno indisturbato in posto e il peso di volume dei fanghi di perforazione (presenti lungo il percorso orizzontale trivellato). In tal modo si tiene conto della situazione peggiore che si ha quando il terreno intorno al foro non ha ancora avuto modo di consolidarsi del tutto.

In accordo con le nuove NTC 2018 (6.2.4.2 *Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi idraulici*) si ritiene soddisfatta la verifica quando verifichi la seguente condizione (v. stralcio NTC in Fig. 16).

nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico i risulti non superiore al gradiente idraulico critico i_{cr} diviso per un coefficiente parziale $\gamma_R = 3$, se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale $\gamma_R = 2$ nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;

Figura 16 - Stralcio delle NTC 2018 - 6.2.4.2

9.2.2 Metodo olandese

Il metodo olandese (NEN 3050-3051 Provincie di Zuid, Holland, 1985) rappresenta il confronto tra la lunghezza totale del percorso di filtrazione a seguito della trivellazione e quello più breve ipotizzabile nel corpo arginale nella situazione preesistente alla TOC.

La lunghezza del percorso L a lavori eseguiti è stata assunta come il minimo tra i percorsi ABCD e ABCE, tenendo in conto la differenziazione tra percorso orizzontale (penalizzato di un fattore 1/3) e percorso verticale. Il percorso di filtrazione nell'ambito del rilevato arginale L_{arg} viene stimato, per cautela, come il più lungo, cioè quello corrispondente al tratto congiungente il piede interno con quello esterno (tratto AE).

Il fattore di sicurezza indica quanto più lungo è il tragitto dell'acqua di filtrazione lungo la zona interessata dal passaggio della TOC (ABCD o ABCE) rispetto al percorso più sfavorevole nel corpo arginale nelle condizioni antecedenti la trivellazione (AE) ($F_s = L / L_{arg}$).

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

Per ulteriore cautela, al fine di tenere conto anche dell'eventuale scadimento delle proprietà dei terreni lungo la zona trivellata, il tratto orizzontale viene ulteriormente penalizzato di un fattore 2, così da portare ad 1/6 il peso della sua lunghezza di filtrazione, mentre il percorso nel rilevato arginale viene penalizzato solo di un fattore 3.

L'effetto turbativo dovuto dalla presenza della perforazione nel tratto orizzontale viene tenuto in conto dal fattore riduttivo di 1/6 da applicarsi ai percorsi di filtrazione nella direzione orizzontale.

La verifica si ritiene soddisfatta se risulta $F_s = (AB + 1/6BC + CD) / (AD/3) > 1$.

9.3 Risultati

La verifica ha riguardato entrambi gli argini del T. Muson dei Sassi.

Per quanto riguarda i battenti idrici, non è stato tenuto in conto il franco idrico e quindi i livelli sono stati assunti a quota sommità della sponda sinistra che risulta a quota più bassa della sommità arginale di destra.

Per la verifica con il metodo del gradiente si è tenuto in conto quanto previsto dalle NTC 2018. Per la verifica con il metodo olandese si è usata la penalizzazione di 1/6 sui percorsi orizzontali della filtrazione lungo la zona trivellata.

Pur introducendo tali cautele, i risultati dei calcoli di filtrazione hanno mostrato fattori di sicurezza sempre soddisfacenti con entrambi i metodi adottati.

Essi nel seguito vengono riassunti per le due tipologie di verifiche eseguite (v. Tab. 7).

RISULTATI VERIFICHE SIFONAMENTO				
METODO GRADIENTE		METODO OLANDESE		
L= ABCD	$F_s = i_{cr} \cdot L/DH$	$L = AB + 1/6BC + CD$	$Larg = AD/3$	$F_s = L/Larg$
67.38	5.40	23.21	17.67	1.43
91.61	6.92	29.11	25.00	1.24

Tabella 7 – Caratteristiche geometriche (con riferimento alla Fig. 14) e risultati del calcolo di filtrazione

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

10 CEDIMENTI DEL TERRENO IN FASE DI PERFORAZIONE

10.1 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.

10.2 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:

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

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.

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

10.3 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. 17) tali spostamenti sono assolutamente trascurabili, quasi assenti, dell'ordine di poche frazioni di millimetro.

Di seguito si riportano i risultati salienti.

- Profondità foro dal piede del rilevato dx $h = 5.71$ m
- Profondità foro dal piede del rilevato sin $h = 8.52$ m

- Cedimento verticale argine dx $w_{max} = 0.17$ mm
- Cedimento verticale argine sin $w_{max} = 0.16$ mm

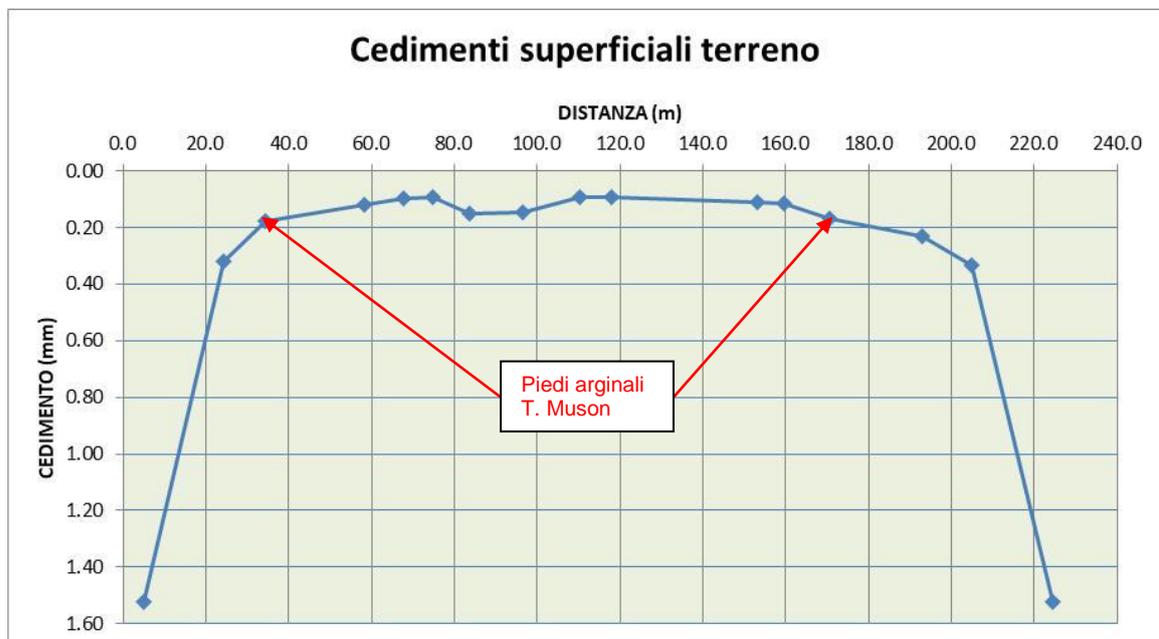


Figura 17 – Andamento dei cedimenti superficiali lungo la perforazione della TOC

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

11 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 prevalentemente sabbioso-limoso.

Il profilo è stato mantenuto al di sopra della quota della presunta presenza di terreno sabbioso-ghiaioso, al fine di rendere più agevole la trivellazione.

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 15 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 il rischio di provocare danni.

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni riportate nella presente relazione sono da considerarsi preliminari.

L'impresa esecutrice è tenuta a verificarne l'effettiva rispondenza con la situazione locale, anche tramite le ulteriori indagini che riterrà necessarie, così che sulla base delle informazioni acquisite procederà alla scelta delle esatte modalità, equipaggiamenti, tipologia (getto o motore) e diametri della testa di perforazione da impiegare nonché degli eventuali

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

interventi di bonifica/sostegno delle ghiaie nel tratto di discesa al fine di condurre la TOC con successo e senza danno alla condotta da installare.

In particolare si consiglia di massimizzare l'area dell'anello di perforazione (differenza tra l'area della testa e 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.

In merito alla verifica di sifonamento degli argini, l'elevata profondità (di 15.06 m sotto l'argine destro e di 15.63 sotto il sinistro) alla quale è impostata la trivellazione orizzontale controllata nonché le elevate distanze dei punti di entrata e di uscita dai piedi arginali fanno sì che non esista rischio alcuno che si verifichi il fenomeno. Le verifiche condotte con metodi diversi, anche in accordo con la NTC 2018, hanno infatti evidenziato fattori di sicurezza nei confronti del sifonamento elevati.

Per quanto riguarda il cedimento indotto dalla cavità trivellata al di sotto dell'argine, 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.

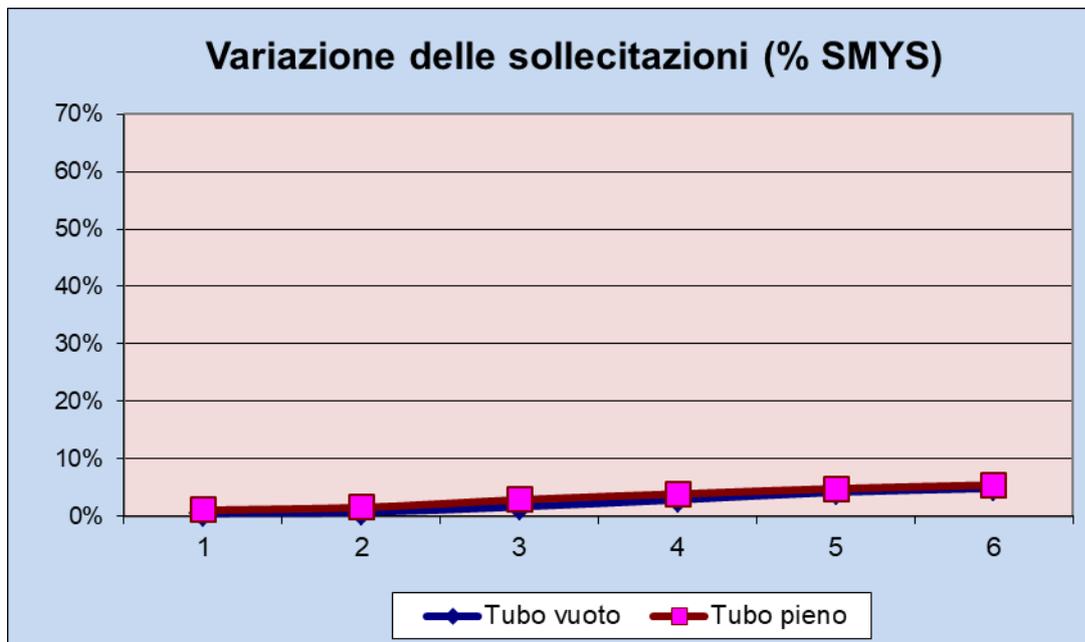
PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

**APPENDICE
CALCOLO DELLO SFORZO DI TIRO**

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

Caratteristiche della condotta			Sollecitazioni al tiro		Vuoto	Pieno	
Diametro	323.90	mm	In superficie	Sforzo di tiro:	18.04	35.45	kN
Spessore	9.50	mm		Sollecitazione	1.92	3.78	N/mm ²
Sezione res.	9,383.31	mm ²		Riferita allo SMYS	0.53%	1.05%	
Rivestimento	HDPE		Nel primo tratto	Sforzo di tiro	23.72	51.77	kN
Spessore	2	mm	inclinato	Sollecitazione	2.53	5.52	N/mm ²
Sezione res.	2,047.69	mm ²		Riferita allo SMYS	0.70%	1.53%	
Peso del tubo kg/m	Vuoto	Pieno	Alla prima curva elastica	Sforzo di tiro	56.19	97.39	kN
	75.68	148.69		Sollecitazione	5.99	10.38	N/mm ²
				Riferita allo SMYS	1.66%	2.88%	
Peso del tubo nel foro	Vuoto	Pieno	Nel tratto rettilineo	Sforzo di tiro	97.42	130.86	kN
	-29.88	43.13		Sollecitazione	10.38	13.95	N/mm ²
				Riferita allo SMYS	2.88%	3.87%	
Coefficienti di attrito	sui rulli	nel foro	Alla seconda curva elastica	Sforzo di tiro	142.05	161.98	kN
	0.1	0.6		Sollecitazione	15.14	17.26	N/mm ²
densità dei fanghi kg/l		1.25		Riferita allo SMYS	4.21%	4.80%	
Coeff. di attrito nei fanghi		5.00E-05					
			Al secondo tratto	Sforzo di tiro	165.07	183.82	kN
			inclinato	Sollecitazione	17.59	19.59	N/mm ²
				Riferita allo SMYS	4.89%	5.44%	

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	



PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

ALLEGATO 1

INDAGINI GEOGNOSTICHE

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO SG5

LEGENDA

Ø mm	R v	A z	Pz	metri m	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 - 100	SPT SPT	N	R.Q.D. % 0 - 100	prof. m	DESCRIZIONE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <ol style="list-style-type: none"> 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere 2) Rivestimento 3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione) 4) Piezometri 5) Scala metrica con limiti delle battute (>) 6) Simbolo litologico 7) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa) 8) Resistenza alla punta (kg/cm²) 9) Vane test (kg/cm²) 10) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %) 11) Prova S.P.T. 12) Valore di N_{spt} 13) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %) 14) Profondità della base dello strato (m) 15) Descrizione della litologia dello strato </div> <div style="width: 35%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><i>Tubo aperto</i></p> <p>tubo cieco </p> <p>finestrato </p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><i>Casagrande</i></p> <p>tubo cieco </p> <p>cella drenaggio </p> <p>cementazione </p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px; font-size: small;"> <p><i>She = Shelby</i> <i>Den = Denison</i> <i>Ost = Osterberg</i> <i>Maz = Mazier</i> <i>Crp = Craps</i> <i>nk3 = NK3</i> <i>Ind = Indisturbato</i> <i>Dis = Disturbato</i> <i>SDi = Semi disturbato</i> <i>SPT = SPT</i></p> </div> </div> </div>														

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

Committente: SNAM RETE GAS	Sondaggio: S.1
Riferimento: LOREGGIA	Data: 8/02/2019
Coordinate: N 45.59285° E 11.93622°	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	RQD % 0 --- 100	prof m	DESCRIZIONE
				1		1) Dis < 0,10 0,30						0,7	LIMO BRUNO CON POCHI ELEMENTI GHIAIOSI.
				2		2) Dis < 0,80 1,10						1,2	SABBIA MARRONE DEBOLMENTE LIMOSA.
				3		3) Dis < 1,60 2,00						2,5	SABBIA GRIGIA MEDIA POCO ADDENSATA.
				4									SABBIOA MARRONE MEDIO-GROSSA SCARSAMENTE LIMOSA, SCIOLTA.
				5									
				6									
				7									
				8									
				9									
				10		4) Rim < 9,50 10,00						9,2	SABBIA MARRONE CHIARO MEDIA CON ELEMENTI GHIAIOSI, Ø MAX 4-5 cm, MODERATAMENTE ADDENSATA.
				11								11,0	SABBIA MARRONE- NOCCIOLA, MEDIO GROSSA, ADDENSATA.
				12						5-13-13	26		
				13									
				14									
				15						7-10-13	23		
				16									
				17									
				18		5) Rim < 17,50 18,00				9-14-15	29		
				19									
101				20								20,0	

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

Committente: SNAM RETE GAS	Sondaggio: S.2
Riferimento: LOREGGIA	Data: 7/02/2019
Coordinate: N 45.59483° E 11.93766°	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA - S.2

Pagina 1/1

Ø mm	R V	A I S	Pz	metri ban.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	
										S.P.T.	N				
														0.2	TERRENO VEGETALE.
				1.		1) Dis < 0,10 0,30 2) Dis < 0,60 1,00									ARGILLA DEBOLMENTE LIMOSA MARRONE, MODERATAMENTE CONSISTENTE, PRESENTI FIAMME DI OSSIDAZIONE.
				2.		3) Dis < 1,60 2,00	1.8								
				3.			1.5							2.3	
				4.			1.5							2.7	ARGILLA MARRONE GRIGIO CHIARO MODERATAMENTE CONSISTENTE.
				5.			0.8								LIMO GRIGIO DEBOLMENTE SABBIOSO POCO CONSISTENTE.
				6.		4) Rim < 4,00 4,30	1							3.9	
				7.					6-7-6		13				SABBIA GRIGIA, MEDIO FINE, DEBOLMENTE LIMOSA, MODERATAMENTE ADDENSATA.
				8.										6.5	
				9.			1.5								LIMO GRIGIO CHIARO DEBOLEMENTE ARGILLOSO, CONSISTENTE.
				10.			1.3								
				11.			1.5								
				12.		5) Rim < 8,20 8,50								8.2	
				13.					5-9-12		21				SABBIA NOCCIOLA CHIARO SCARSAMENTE LIMOSA, ADDENSATA.
				14.											
				15.											
				16.											
				17.											
				18.		6) Rim < 12,50 12,80								12.0	
				19.					9-14-17		31				SABBIA NOCCIOLA CHIARO CON ELEMENTI GHIAIOSI, Ø MAX 4-5 cm, ADDENSATA.
				20.											
				101										13.4	
				20.					7-12-13		25				SABBIA MEDIA, NOCCIOLA CHIARO - BEIGE, ADDENSATA.
				20.		7) Rim < 17,60 18,00								20.0	

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-220	

ALLEGATO 2

RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

PROPRIETARIO	PROGETTISTA	COMMESSA	N. PRATICA
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-220	

CAMPIONE		S1 C1 9,5/10,0m	S1 C2 17,5/18,0m	S2 C1 4,0/4,3m	S2 C2 8,2/8,5m	S2 C3 12,5/13,0m	S2 C4 17,6/18,0m
Limite di liquidità	%	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Indice di plasticità	%	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Frazione ghiaiosa	%	28,1	23,2	1,0	3,5	27,3	0,4
Frazione sabbiosa	%	61,8	61,4	76,6	70,1	62,3	75,3
Frazione fine	%	10,1	15,4	22,4	26,4	10,4	24,3
Classificazione USCS	-	SW-SM	SM	SM	SM	SW-SM	SM