

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 1 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

EMERGENZA GAS  
**INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE**  
**(DL 17.05.2022, N. 50)**  
**FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE**  
**GASDOTTI**

**Met. Collegamento PDE FSRU Ravenna al Nodo di Ravenna**  
**DN 900 (36") DP 75 bar**

**ATTRAVERSAMENTO:**

**Fiumi Uniti**

**RELAZIONE TECNICA - ILLUSTRATIVA**



0	Emissione per Pemessi	V. Lucarini	A. Gigliotti	M. Begini	20/09/2022
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 2 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ.....</b>	<b>3</b>
1.1	SCOPO.....	3
1.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	3
1.3	DEFINIZIONI .....	3
1.4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
<b>2</b>	<b>UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE STATO DI FATTO.....</b>	<b>5</b>
2.1	DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	5
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO DEL TRACCIATO .....	6
2.3	UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO .....	7
<b>3</b>	<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>9</b>
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE .....	9
4.2	CARATTERISTICHE MECCANICHE .....	10
<b>5</b>	<b>VERIFICA DELLO SPESSORE DEL TUBO DI LINEA DN 900 (36") .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE CONDOTTE IN OPERA .....</b>	<b>13</b>
6.1	TUBO DI LINEA DN 900 (36") .....	13
6.2	PROTEZIONE CATODICA .....	13
6.3	POLIFORA PORTACAVI E TELECONTROLLO .....	13
<b>7</b>	<b>GEOMETRIA E MODALITÀ ESECUTIVE.....</b>	<b>14</b>
7.1	GEOMETRIA DELL'ATTRAVERSAMENTO .....	14
7.2	MODALITÀ ESECUTIVE DELLA POSA DEL METANODOTTO IN PROGETTO .....	14
7.2.1	<i>Descrizione generale metodologia T.O.C.</i> .....	14
<b>8</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>SIFONAMENTO.....</b>	<b>20</b>
9.1	ASPETTI GENERALI DEL SIFONAMENTO .....	20
9.2	METODOLOGIE DI CALCOLO .....	21
9.2.1	<i>Verifica Speditiva</i> .....	22
9.2.2	<i>Metodo di Bligh-Lane</i> .....	23
9.3	RISULTATI DELLE ELABORAZIONI .....	26
<b>10</b>	<b>INTERVENTI DI RIPRISTINO POST-OPERAM .....</b>	<b>27</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>28</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 3 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 1 GENERALITÀ

### 1.1 Scopo

Nella presente relazione sono illustrate le caratteristiche dei materiali e le modalità esecutive dell'attraversamento del corso d'acqua denominato Fiumi Uniti, da parte del metanodotto in progetto "FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti".

L'attraversamento è situato nel territorio comunale di Ravenna inquadrato nel foglio 170 mappali 1 e 2 dell'U.T.E. (Ufficio Tecnico Erariale-Catasto) e verrà realizzato in T.O.C.

### 1.2 Elaborati di riferimento

- DIS-AT-6C-37253 Attraversamento in T.O.C. Fiume Uniti

### 1.3 Definizioni

*Condotte di 1° specie:* condotte con pressione massima di esercizio superiore a 24 bar;

*Profondità di interramento:* distanza compresa tra la generatrice superiore del tubo e la superficie del terreno (piano campagna);

*Diametro nominale (DN):* unità di misura convenzionale in mm, che definisce la sezione della tubazione e degli apparati;

*Pressione massima di esercizio (MOP):* massima pressione relativa alla quale un sistema può essere fatto funzionare in modo continuo nelle condizioni di normale esercizio;

*Pressione di progetto (DP):* pressione relativa alla quale si riferiscono i calcoli di progetto. La pressione di progetto (DP) deve essere uguale o superiore alla pressione massima di esercizio (MOP) prevista.

*Tecnica "T.O.C." (o "H.D.D.):* Trivellazione Orizzontale Controllata (Horizontal Directional Drilling) è una tecnologia trenchless finalizzata alla posa della tubazione interrata senza necessità di esecuzione di scavo a cielo aperto.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 4 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

#### 1.4 Normativa di Riferimento

Per la progettazione del tratto a terra sono state prese in considerazione le norme e disposizioni di legge vigenti, costituite dalle seguenti normative:

- *D.M. 17.04.2008* del Ministero dello Sviluppo Economico – Regola Tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0,8.
- *D.M. 17.01.2018*: Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.
- CSLLP Circolare 21/01/2019, n. 7 “Circolare Applicativa - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.”
- Decreto Legge 25 Giugno 2003, n. 233: “Attuazione della direttiva 1999/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori esposti al rischio di atmosfere esplosive”
- *D.L. 9 Aprile 2008, n. 81*: “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”
- Decreto del Presidente della Repubblica 23 Marzo 1998, n. 126: “Norme per l'attuazione della direttiva 94/9/CE in materia di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva”
- *D.L. 25 Febbraio 2000*: “Attuazione della direttiva 97/23/CE in materia di attrezzature a pressione”
- *Specifiche Snam Rete Gas e documentazione contrattuale.*
- Norme CEI / UNI / EN.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 5 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 2 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE STATO DI FATTO

### 2.1 Descrizione del progetto

Nell'ambito delle iniziative legate alla realizzazione di nuove capacità di rigassificazione regolate dall'art.5 del DL n.50 del 17/5/2022 e mirate a diversificare le fonti di approvvigionamento di gas ai fini della sicurezza energetica nazionale, la Società Snam FSRU Italia, controllata al 100% da Snam S.p.A ("Snam"), intende sottoporre l'istanza autorizzativa per l'ormeggio di un mezzo navale tipo FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) da ormeggiarsi in corrispondenza della piattaforma offshore esistente di Petra (Gruppo PIR) posta a circa 8,5 km a largo di Punta Marina (c.d. Progetto FSRU Ravenna) e delle connesse infrastrutture per l'allacciamento alla rete di trasporto esistente.

Il progetto di Snam FSRU Italia ricomprende le opere necessarie alla connessione con la Rete Nazionale Gasdotti e che saranno realizzate dalla Società Snam Rete Gas. Tali opere sono considerate, ai fini della presente istanza, opere connesse e funzionali all'esercizio della FSRU.

L'FSRU sarà in grado di stoccare fino a 170 mila metri cubi di Gas Naturale Liquefatto (GNL), rigassificarlo e trasferirlo in una nuova condotta che lo convoglierà nel punto di connessione alla Rete Gasdotti posto a circa 42 km dal punto di ormeggio presso la piattaforma esistente offshore Petra.

L'FSRU sarà rifornita ad intervalli regolari (5/7 giorni) da metaniere di taglia variabile e sarà anche in grado di fornire a sua volta metaniere di piccola/media taglia (metaniere Small Scale LNG).

L'FSRU assicurerà un flusso annuo di almeno 5 miliardi di standard metri cubi di gas naturale equivalente a circa un sesto della quantità di gas naturale oggi importata dalla Russia.

La qualità del gas liquido gestito dalla FSRU dipenderà dalle fonti di approvvigionamento internazionali, pertanto il gas vaporizzato andrà analizzato ed eventualmente corretto per portarlo alle condizioni di trasporto richieste dalla Rete Nazionale. Le apparecchiature ed i sistemi dedicati a tale gestione (correzione indice di Wobbe) sono stati previsti in un impianto dedicato posto in prossimità dell'impianto di filtraggio e misura fiscale (PDE FSRU di Ravenna e impianto di regolazione DP 100-75 bar) ubicato in località Punta Marina (Ravenna).

L'ormeggio della FSRU presso la piattaforma Petra prevede l'adeguamento della struttura esistente per tener conto che l'ormeggio della FSRU presso la piattaforma sarà permanente, che i mezzi navali coinvolti hanno degli ingombri maggiori e che quindi occorreranno maggiori spazi per accomodare le nuove parti impiantistiche.

Le condotte che attualmente collegano la piattaforma Petra con il deposito costiero (due condotte DN 550(22")) non sono interessate dall'intervento progettuale perché le verifiche condotte hanno mostrato l'incompatibilità con le condizioni di trasporto del gas naturale in uscita dalla FSRU.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 6 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

L'entrata in esercizio del Progetto FSRU Ravenna è previsto non oltre **settembre 2024** con l'obiettivo di anticiparla a luglio 2024.

## 2.2 Inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del tracciato

Per quanto riguarda l'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'opera in progetto, si rimanda alla relazione geologica n. REL-CGB-E-35070 e ai relativi allegati.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 7 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

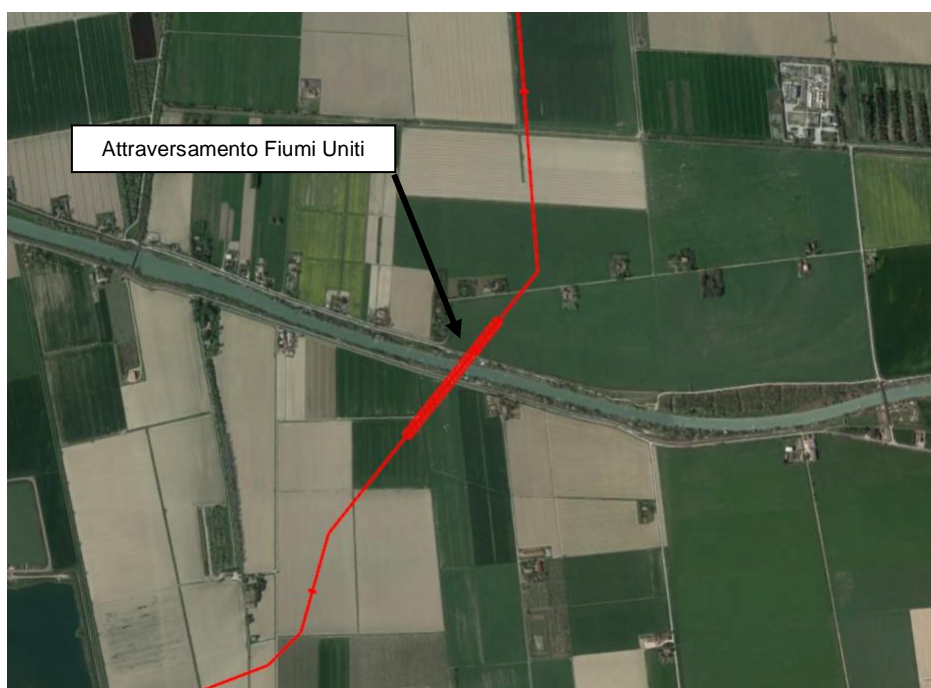
Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

### 2.3 Ubicazione area di intervento

L'attraversamento in oggetto sarà situato nella Regione Emilia Romagna, nel Comune di Ravenna.

In questa zona, il tracciato attraversa superfici adibite ad uso seminativo che non presentano particolari criticità geomorfologiche.

In corrispondenza dell'attraversamento, il corso d'acqua presenta un'ampiezza di circa 85 metri e profondità di circa 7 metri.



**Figura 2.3:** Stralcio con foto aerea dell'ubicazione dell'attraversamento dei Fiumi Uniti con il metanodotto in progetto (in rosso)



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 8 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

### 3 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Si riporta di seguito la documentazione fotografica relativa all'attraversamento del fiume oggetto di studio.



**Figura 3.1:** Panoramica della zona dell'attraversamento (in rosso l'andamento qualitativo della tubazione)



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 9 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

L'attraversamento verrà realizzato in TOC e la tubazione è costituita da acciaio di qualità aventi le caratteristiche meccaniche e chimiche rispondenti a quanto richiesto dal *D.M.17/04/2008*.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche geometriche e meccaniche dei vari tipi di condotta utilizzate nell'attraversamento.

### 4.1 Caratteristiche geometriche

#### a. Tubo di linea a spessore maggiorato DN 900 (36')

diametro esterno	$D_e$	=	916.4 mm
spessore	$t$	=	14.2 mm
diametro interno	$D_i$	=	888.00 mm
peso per unità di lunghezza	$p$	=	315.92 kg/m

#### b. Tubo portacavi DN 200 (8")

diametro esterno	$D_e$	=	219.10 mm
spessore	$t$	=	7.00 mm
diametro interno	$D_i$	=	205.1 mm
peso per unità di lunghezza	$p$	=	36.61 kg/m

#### c. Trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.)

lunghezza trivellazione	$L$	=	582.70 m
distanza orizzontale	$L_1$	=	582.01 m
profondità minima rispetto al corso d'acqua	$H_1$	=	15.00 m

- Primo tratto rettilineo (senso gas)

angolo di uscita	$\alpha$	=	5° 53'
lunghezza	$L$	=	145.72 m
distanza orizzontale	$L_1$	=	144.95 m

- Tratto curvilineo

lunghezza (sviluppo)	$L$	=	167.05 m
lunghezza orizzontale	$L_1$	=	166.92 m
raggio	$R$	=	1000.00 m

- Secondo tratto rettilineo (senso gas)

Angolo di ingresso	$\alpha$	=	3° 41'
lunghezza	$L$	=	270.70 mm
distanza orizzontale	$L_1$	=	270.14 mm

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 10 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 4.2 Caratteristiche meccaniche

### a. Tubo di linea a spessore maggiorato DN 900 (36")

tipo di acciaio	L450 NB/MB
carico unitario di snervamento minimo garantito	$R_{t0.5} = 450 \text{ Mpa}$

### b. Tubo portacavi DN 200 (8")

tipo di acciaio	L360 NB/MB
carico unitario di snervamento minimo garantito	$R_{t0.5} = 360 \text{ MPa}$

	PROGETTISTA <b>techfem</b>	COMMESSA <b>NQ/R22178</b>	UNITÀ <b>20</b>
	LOCALITÀ <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	PROGETTO <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 11 di 28	Rev. <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 5 VERIFICA DELLO SPESSORE DEL TUBO DI LINEA DN 900 (36")

In riferimento al *DM 17/04/08*, lo spessore nominale del tubo di linea minimo  $t_{min}$ , al netto delle tolleranze negative di fabbricazione, deve risultare non inferiore al valore determinato con la seguente espressione:

$$t \geq t_{min} [mm] = \frac{(DP \times D)}{(20 \times s_p)}$$

con:

- $D$ : diametro esterno della condotta in mm;
- $DP$ : pressione di progetto;
- $s_p$ : sollecitazione circonferenziale ammissibile  $[MPa] \leq f \times R_{t0.5}$ ;
- $f$ : grado di utilizzazione;
- $R_{t0.5}$ : carico unitario di snervamento minimo garantito;

Secondo il *DM 17/04/08* le condotte per il trasporto di gas naturale si classificano in funzione della MOP, pressione massima di esercizio:

- 1ª specie con  $MOP > 24$  bar;
- 2ª specie con  $12 < MOP \leq 24$  bar;
- 3ª specie con  $5 < MOP \leq 12$  bar;
- 4ª specie con  $1.5 < MOP \leq 5$  bar;
- 5ª specie con  $0.5 < MOP \leq 1.5$  bar;
- 6ª specie con  $0.04 < MOP \leq 0.5$  bar;
- 7ª specie con  $MOP \leq 0.04$  bar.

Il metanodotto in oggetto ha una pressione  $DP$  pari a 75 bar, pertanto si classifica di 1ª specie e si definisce il grado di utilizzazione  $f$  per le tubazioni di linea pari a **0.72** massimo utilizzabile (*punto 2.1 DM 17/04/08*).

Deve comunque essere garantito uno spessore minimo  $t_{min2}$ , come specificato nel punto 2.1 del *DM 17/04/08*, pari a:

- 1,8 mm per diametri esterni fino a 30 mm;
- 2,3 mm per diametri esterni oltre 30 mm e fino a 65 mm;
- 2,6 mm per diametri esterni oltre 65 mm e fino a 160 mm;
- 3,5 mm per diametri esterni oltre 160 mm e fino a 325 mm;
- 4,5 mm per diametri esterni oltre 325 mm e fino a 450 mm;
- 1% del diametro esterno per diametri esterni oltre i 450 mm.

Il metanodotto in progetto prevede l'utilizzo di una condotta DN 900, quindi si considera  $t_{min2} = 1\% \text{ DN } 9,16 \text{ mm}$ , come minimo di legge.

	PROGETTISTA <b>techfem</b>	COMMESSA <b>NQ/R22178</b>	UNITÀ <b>20</b>
	LOCALITÀ <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	PROGETTO <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 12 di 28	Rev. <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

Sempre per condotte di 1° specie, nel caso in cui non siano rispettate le condizioni elencate nel *punto 2.5 del DM 17/04/08*, lo spessore minimo deve essere calcolato aumentando del 25% la pressione di progetto, come indicato nella seguente formula:

$$t \geq t_{\min 1} [\text{mm}] = \frac{(1.25 \times DP \times D)}{(20 \times s_p)}$$

Il valore utilizzabile per lo spessore della condotta deve essere maggiore del massimo, tra lo spessore minimo di legge ( $t_{\min 2}$ ), e quello calcolato ( $t_{\min 1}$ ).

A seguire si riportano in *Tabella 1 e 2* i risultati dei calcoli sopra esposti per il caso in oggetto congiuntamente con la verifica dello spessore selezionato.

VERIFICA SPESSORE DI LINEA DELLA CONDOTTA SECONDO IL D.M. 17/04/2008								
DN [mm]	D [mm]	DP [bar]	R <sub>t0.5</sub> [Mpa]	f	sp [MPa]	t <sub>min1</sub> [mm]	t <sub>min2</sub> [mm]	t [mm]
900	916.4	75.0	450.0	0.72	324	10.61	9.16	14.2
<b>t &gt; t<sub>min</sub> VERIFICATO</b>								

**Tabella 1.** Verifica dello spessore normale di linea secondo il D.M. 17/04/2008 (fattore di utilizzazione f=0.72)

VERIFICA SPESSORE DI LINEA DELLA CONDOTTA SECONDO IL D.M. 17/04/2008								
DN [mm]	D [mm]	DP [bar]	R <sub>t0.5</sub> [Mpa]	f	sp [MPa]	t <sub>min1</sub> [mm]	t <sub>min2</sub> [mm]	t [mm]
900	916.4	75.0	450.0	0.57	256.5	13.40	9.16	14.2
<b>t &gt; t<sub>min</sub> VERIFICATO</b>								

**Tabella 2.** Verifica dello spessore di linea con un incremento del 25% della pressione di progetto secondo il D.M. 17/04/2008 attraverso l'uso del fattore di utilizzazione adottato fm=0.57 (GASD C.04.01.00)

Essendo che il valore utilizzato per la condotta in progetto (DN 900 (36") con s= 14.2 mm) è nettamente superiore a quello minimo di legge (s=13.40 mm), la verifica allo spessore, **risulta ampiamente soddisfatta.**

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ 20
	LOCALITÀ RAVENNA	SPC. REL-AT-E-35025	
	PROGETTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pagina 13 di 28	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 6 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE CONDOTTE IN OPERA

### 6.1 Tubo di Linea DN 900 (36")

La condotta è costituita da tubi DN 900 (36") in acciaio EN L450 NB/MB di spessore maggiorato pari a 14.2 mm. Le estremità sono calibrate e smussate tali da consentire l'unione mediante saldatura elettrica di testa ad arco sommerso.

I tubi sono rivestiti esternamente da una pellicola in polietilene dello spessore di 3.30 mm avente funzione di protezione passiva onde garantire il completo isolamento elettrico e l'integrità dell'acciaio nel tempo, insieme all'impianto di protezione catodica attiva.

### 6.2 Protezione Catodica

La condotta interrata è protetta dalla corrosione con:

- una protezione passiva esterna in polietilene, di adeguato spessore, ed un rivestimento interno in vernice epossidica; i giunti di saldatura sono rivestiti in cantiere con fasce termorestringenti di polietilene;
- una protezione attiva (catodica), attraverso un sistema di corrente impressa con apparecchiature poste lungo la linea che rende il metallo della condotta elettricamente più negativo rispetto all'elettrolita circostante (terreno, acqua, ecc.).

La protezione attiva viene effettuata mediante trasformatori dotati di circuiti automatici che mantengono il potenziale della tubazione più negativo o pari a -1V rispetto all'elettrodo di riferimento Cu - CuSO<sub>4</sub>.

### 6.3 Polifora Portacavi e telecontrollo

Negli attraversamenti in T.O.C., insieme alla condotta sarà posta in opera una polifora portacavi costituita da 3 tubi in PEAD DN 50-PN16 rigati internamente con diametro interno 36,2 mm e diametro esterno 50 mm.

All'interno di uno dei 3 tubi in PEAD verrà alloggiato il cavo per telemisura e telecontrollo a sussidio del gasdotto, mentre gli altri due tubi portacavo hanno funzione di scorta e manutenzione.

I tubi in PEAD DN 50 saranno alloggiati all'interno di un tubo in ferro DN 200 (8") di spessore 7.0 mm denominato tubo di protezione per polifora portacavi che verrà trivellato separatamente.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 14 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 7 GEOMETRIA E MODALITÀ ESECUTIVE

### 7.1 Geometria dell'attraversamento

La geometria dell'attraversamento indicata nell'allegato DIS-AT-6C-37253, tiene conto di quanto previsto nel *D.M.17/04/2008*.

Le coperture della T.O.C. rispetto al piano campagna sono da considerarsi valori minimi da rispettare durante l'esecuzione della trivellazione controllata, la geometria finale esecutiva sarà verificata e stabilita dalla ditta esecutrice sulla base di dettagliate indagini geognostiche e dallo stato dei luoghi al momento della realizzazione dell'opera (come ad esempio la presenza di aree allagate, altezza della falda, ecc..).

### 7.2 Modalità esecutive della posa del metanodotto in progetto

L'utilizzo della tecnica T.O.C. ha come vantaggio quello di non alterare in alcun modo la geometria dell'alveo e di lasciare libero il naturale deflusso delle acque del corso d'acqua interessato.

La profondità minima della tubazione del fondo alveo sarà di almeno 15 m e non saranno necessarie opere di ripristino.

Nell'elaborato grafico di dettaglio DIS-AT-6C-37253 oltre alla geometria dell'attraversamento sono riportate le seguenti informazioni di progetto:

- Diametro interno e/o esterno, spessore e tipo di acciaio della condotta di linea;
- Lunghezza complessiva della T.O.C. e lunghezze parziali dei tratti rettilinei e curvilinei
- Angoli di ingresso e uscita e raggio di curvatura;
- Copertura minima dal piano campagna;
- Dimensioni indicative dell'area per la catenaria di varo;

#### 7.2.1 Descrizione generale metodologia T.O.C.

Il procedimento della Trivellazione Orizzontale Controllata è un miglioramento della tecnologia e dei metodi sviluppati per la perforazione direzionale di pozzi petroliferi.

Il procedimento impiegato nella maggioranza degli attraversamenti mediante Trivellazione Orizzontale Controllata è a due fasi. La prima consiste nella trivellazione di un foro pilota di piccolo diametro lungo un profilo direzionale prestabilito.

La seconda implica l'allargamento di questo foro pilota fino ad un diametro tale da permettere l'alloggiamento, tramite il tiro-posa, del servizio da porre in opera.

##### 1. Esecuzione del foro pilota e controllo direzionale

Il foro pilota viene realizzato facendo avanzare la batteria di aste pilota con in testa una lancia a getti di fango bentonitico che consente il taglio del terreno (jetting).



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 15 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio in continuo della pressione del fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

Al fine di minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno e con le falde acquifere (a carattere esclusivamente fisico e comunque di entità molto limitata) si prevederà l'utilizzo di miscele bentonitiche (fango di perforazione) additivate con polimeri biodegradabili con alto potere coesivo ed alta fluidità con caratteristiche di riduttori di filtrato.

Questi accorgimenti consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni che dovessero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l'esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di filtrazione lungo l'asse di trivellazione.

La lancia a getti di fango bentonitico, consiste in una asta che presenta una deviazione di circa 1° e dispone di due ugelli, uno centrale rispetto alla testa e l'altro, eccentrico, in asse con la deviazione.

I cambi di direzione necessari sono ottenuti ruotando le aste di perforazione in modo tale che la direzione della deviazione coincida con quella desiderata (asse trivellazione).

Il tracciato del foro pilota sarà controllato durante la trivellazione da frequenti letture dell'inclinazione e dell'azimut all'estremità della testa di perforazione. Queste letture, unite ai dati relativi alla lunghezza delle aste di trivellazione già installate, saranno utilizzate per calcolare le coordinate orizzontali e verticali dell'estremità di testa rapportate al punto di inizio della trivellazione.

Di norma le misurazioni della posizione saranno eseguite ad ogni giunto del tubo pilota (circa 9-10 metri) e riportate sul disegno di progetto del profilo, in modo da avere un riscontro immediato delle eventuali deviazioni. Qualora si evidenziassero delle discordanze, l'asta pilota verrà ritirata per una lunghezza tale da permettere la correzione necessaria. Periodicamente durante la trivellazione del foro pilota, un tubo guida verrà fatto ruotare ed avanzare in modo concentrico sopra l'asta di perforazione pilota. Il tubo guida eviterà il bloccaggio dell'asta pilota, ridurrà gli attriti permettendo di orientare senza difficoltà l'asta di perforazione, e faciliterà il trasposto verso la superficie dei materiali di scavo. Esso, inoltre, manterrà aperto il foro, nel caso di necessità di ritiro dell'asta pilota.

Il foro pilota sarà completato quando sia l'asta pilota che il tubo guida fuoriusciranno alla superficie sul lato opposto al rig. L'asta pilota è quindi ritirata, lasciando il tubo guida lungo il profilo di progetto.

## 2. Alesaggio del foro e tiro-posa della condotta

In base ai riscontri ottenuti durante la perforazione del foro pilota ed in base alle caratteristiche dei terreni attraversati, verrà deciso se effettuare contemporaneamente l'alesaggio ed il tiro della condotta oppure eseguire ulteriore alesaggio.

Questa fase consisterà nell'allargamento del foro pilota per mezzo di un alesatore. Tale operazione potrà essere eseguita prima del tiro-posa della condotta o contemporaneamente ad esso. Nel caso di prealesatura, la fresa ed i relativi accessori verranno fissati al tubo guida nel punto di uscita. Quindi la fresa verrà fatta ruotare e contemporaneamente tirata dal rig di perforazione, allargando in questo modo il foro pilota.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 16 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

Contestualmente all'avanzamento della testa fresante, dietro di essa verranno assemblate nuove aste di tubo guida per garantire la continuità di collegamento all'interno del foro.

Durante le fasi di trivellazione, di prealesatura e di tiro-posa, verrà impiegato del fango bentonitico. Questo fango, opportunamente dosato in base al tipo di terreno, avrà molteplici funzioni quali ridurre gli attriti nelle fasi di scavo, trasportare alla superficie i materiali di scavo, mantenere aperto il foro, lubrificare la condotta nella fase di tiro-posa e garantirne il galleggiamento.

### 3. Attrezzatura di perforazione e di tiro-posa

L'insieme del cantiere di perforazione è costituito dal rig vero e proprio, dall'unità di produzione dell'energia, dalla cabina di comando, dall'unità fanghi, dall'unità approvvigionamento idrico, dall'unità officina e ricambi, dalla trivella, dalle aste pilota, dalle aste di tubo guida, dalle attrezzature di alesaggio e tiro-posa e da una gru di servizio

Tutte queste attrezzature saranno assemblate ed immagazzinate in container in modo da essere facilmente trasportabili su strada "in sagoma".

Nel seguito si riporta una descrizione sommaria delle attrezzature comunemente utilizzate:

- Rig: è costituito da una torre di perforazione posta su di un piano inclinato (slittone). Su di esso, trasla il carrello di perforazione completo con il motore idraulico che permette la rotazione del mandrino. Le aste di perforazione vengono installate sul mandrino e il loro montaggio e smontaggio viene eseguito con morse idrauliche.
- Cabina di comando: all'interno si trovano tutti i dispositivi per manovrare il rig e le altre attrezzature.
- Unità generatore di energia: è necessaria al funzionamento dell'impianto è generalmente costituita da una serie di motori elettrici o a scoppio che producono energia idraulica. Questa energia viene trasmessa al rig tramite la cabina di comando e serve per la traslazione del carrello e la perforazione del carrello.
- Unità fanghi: questa unità è costituita da una vasca, in cui vengono preparati i fanghi bentonitici per mezzo di una tramoggia venturi e di miscelatori; tramite pompe sommerse comandate dall'operatore i fanghi vengono immessi nel circuito. Gli stessi fanghi possono essere riciclati per una successiva utilizzazione grazie ad appositi filtri. La raccolta della bentonite sarà realizzata mediante scavo nel terreno di vasche opportunamente impermeabilizzate.
- Unità approvvigionamento idrico: È costituita generalmente da una pompa sommersa ubicata nel corso d'acqua da attraversare. Tramite dei tubi flessibili (manichette) invia l'acqua necessaria alla preparazione dei fanghi alla vasca di miscelazione.
- Trivella: Per la trivellazione del foro pilota vengono utilizzate due tipi di trivelle, una a getti ed una a motore a fanghi. La trivella a getti è sostanzialmente un'asta di trivellazione con due fori sulla testa, uno centrale e l'altro eccentrico. La bentonite in pressione, fuoriuscendo dai fori esercita un'azione di scavo nel terreno. La trivella con motore a fanghi è costituita da una turbina, azionata dai fanghi in pressione, che imprime una rotazione ad uno scalpello posto sulla testa; i fanghi fuoriescono poi da un foro posto sullo scalpello. Gli scalpelli possono essere di diversi tipi a seconda

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 17 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

delle condizioni di terreno incontrate. Questa trivella si completa con la scarpa direzionale, che è un ringrosso eccentrico dell'asta di perforazione posizionato a circa 1 metro dalla testa.

- Aste pilota: quelle comunemente usate sono normali aste di trivellazione da 2" 7/8. A seconda del sistema direzionale impiegato le aste possono essere dotate di giunti conici o cilindrici. Le aste di trivellazione ubicate proprio dietro la trivella sono in materiale amagnetico per non influenzare il sistema di controllo direzionale; queste aste sono fragili e si richiede molta cautela nel maneggiarle. In alcuni tipi di terreno è necessario l'utilizzo di un'asta pilota più resistente e sul mercato sono disponibili aste per tubo pilota da circa 5" 13/7 e oltre. Questi ultimi possono essere impiegati per la trivellazione di terreni molto compatti e di roccia tenera.
- Tubo guida: è costituito da aste di perforazione standard da 5" che soddisfano la maggioranza delle esigenze di tiro. In caso necessiti uno sforzo di tiro superiore alla norma, vengono utilizzate, nelle fasi più critiche aste rinforzate. Nel caso le aste sopra descritte non sopportino lo sforzo di tiro oppure servano grosse quantità di bentonite, si possono utilizzare aste da 7" o più.
- Attrezzature alesaggio e tiro-posa: queste attrezzature cambiano da ditta a ditta in base alle esperienze degli operatori, ai brevetti che le tutelano e ai terreni da attraversare.
- Alesatore: l'alesatore classico è formato da una corona dentata su cui sono posti da sei a nove ugelli per l'uscita dei fanghi e una quantità variabile di taglienti. Detti taglienti generalmente sono posizionati a gruppi di 3 o 5 e possono avere diverse caratteristiche meccaniche.
- Fresa a barilotto: La fresa a barilotto o barrel reamer è costituita da un cilindro bombato e dentato alle estremità completo con i soliti ugelli. Questo alesatore è molto utile se usato in coppia con il precedente, perché permette di mantenere sempre centrata la fresa rispetto al foro.
- Snodo: lo snodo/swivel è indispensabile per evitare che la condotta ruoti durante l'operazione di tiro-posa. Viene interposto tra la fresa e la condotta. Generalmente è costituito da un reggispinga autolubrificante con un cuscinetto in teflon o rulli. È indispensabile mantenere integro questo snodo per evitare il bloccaggio della condotta durante il tiro-posa.

#### 4. Montaggio Della Condotta

Sulla sponda opposta a quella dove sarà posizionato il Rig verrà eseguito la prefabbricazione della colonna di varo.

Ove le dimensioni del cantiere e le attrezzature a disposizione lo consentano, la colonna di varo verrà preferibilmente assemblata in un'unica soluzione per evitare tempi di arresto, per saldature ed operazioni di controllo e rivestimento dei giunti, durante la fase di tiro-posa.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 18 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

A saldatura completata verranno eseguiti i controlli non distruttivi delle saldature (radiografie) e successivamente si provvederà al rivestimento dei giunti di saldatura.

La colonna, prima del tiro-posa, verrà precollaudata idraulicamente.

Per l'esecuzione del tiro-posa verrà predisposta una linea di scorrimento della colonna (rulli, carrelli o sostentamento con mezzi d'opera).

Durante il varo, l'ingresso della condotta nel foro verrà facilitato, facendole assumere una catenaria predeterminata in base all'angolo d'ingresso nel terreno, al diametro ed al materiale della condotta; ciò permetterà di evitare sollecitazioni potenzialmente dannose sulla condotta da varare.

Al fine di ridurre al massimo le sollecitazioni indotte alla tubazione, durante la fase di tiro-posa, dovranno essere rigorosamente rispettati i valori di raggio minimo di curvatura elastica della tubazione.

Al termine dei lavori verrà redatto un elaborato riportante l'esatto posizionamento della condotta così come realmente posta in opera.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 19 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 8 PARAMETRI GEOTECNICI

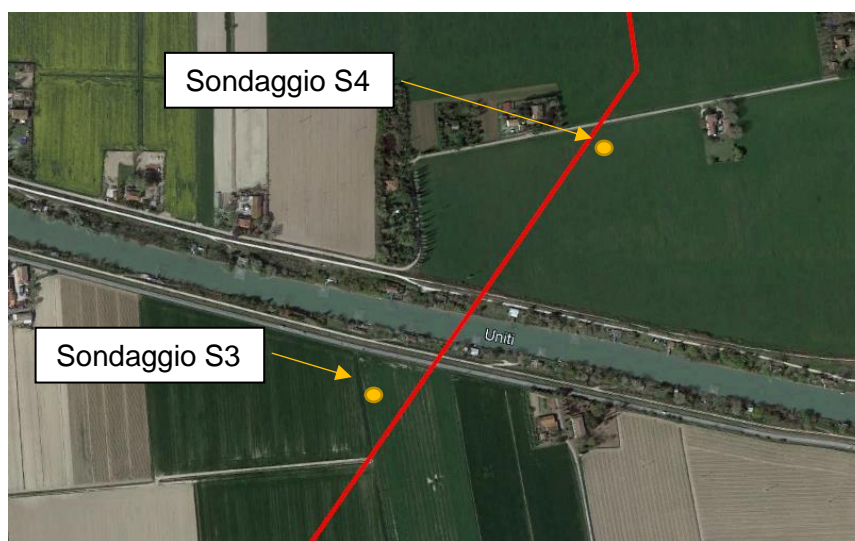
Per la definizione dei parametri geotecnici si fa riferimento alla campagna di sondaggi svolti a settembre 2022 per conto Snam Rete Gas.

L'analisi bibliografica, le indagini eseguite, unitamente alle osservazioni di superficie fatte con il rilevamento geologico hanno consentito la ricostruzione della stratigrafia del sito e sono state desunte le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

Nel dettaglio, il modello geotecnico desunto dai sondaggi prossimi all'attraversamento (sondaggi S3 ed S4) e dalle considerazioni di carattere prettamente geologico-stratigrafiche, mostra un sito costituito da un livello superficiale di terreno sabbioso più o meno limoso fino a 4m dal piano campagna. Al di sotto di tale livello è presente uno strato di sabbia debolmente limosa, interrotta, a circa 11 m di profondità, da uno strato di limo sabbioso di circa 90 cm.

Per un dettaglio dell'ubicazione e la stratigrafia dei sondaggi svolti vedi DIS-AT-6C-37253.

Gli elementi di conoscenza ricavati dall'esame comparato con l'indagine eseguita e con la bibliografia esistente, risultano più che sufficienti per giungere alla caratterizzazione geotecnica dei terreni.



Il parametro circa la massa volumica è desunto dalla campagna di sondaggi svolta nel 2017 per conto Snam Rete Gas (rif. relaz. Comis LSC-202-1). In particolare, per i successivi calcoli di verifica al sifonamento, è considerato un parametro di massa volumica pari a 1980 kg/mc.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 20 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 9 SIFONAMENTO

### 9.1 Aspetti generali del sifonamento

Il sifonamento consiste essenzialmente in un flusso concentrato di acqua in cui la velocità è sufficientemente elevata da innescare il trasporto delle particelle più fini, anche in direzione verticale. L'inizio del trasporto è condizionato al raggiungimento di un gradiente critico, il cui valore è pari al rapporto tra il peso di volume del terreno immerso e quello del fluido in movimento.

Il fenomeno, una volta innescato, è in grado di produrre un processo di erosione con la formazione di cavità nel terreno di fondazione dell'argine; ciò può condurre di conseguenza ad una continua amplificazione delle portate e dell'erosione.

I terreni maggiormente soggetti a rischio di sifonamento sono quelli non coesivi, sabbiosi ed uniformemente gradati.

Prevedere l'effettivo rischio di sifonamento presenta ampi margini di incertezza; le difficoltà di previsione scaturiscono dall'importanza che, nella dinamica del problema, assumono alcuni fattori locali quali l'effettiva distribuzione granulometrica del terreno, l'omogeneità delle caratteristiche di permeabilità e di granulometria, la disponibilità di eventuali componenti di resistenza al taglio di natura coesiva dovuta alla presenza di materiali fini.

Esperienze condotte negli Stati Uniti, in Germania ed in Olanda hanno mostrato ad esempio che, nel caso di flusso verticale proveniente da uno strato sabbioso ed attraversante uno strato di copertura di modesto spessore e natura sabbioso-limoso, il sifonamento può essere nei fatti innescato già per valori di gradienti medi prossimi a 0,5 quindi molto inferiori al valore del gradiente critico teorico, che è sempre dell'ordine di  $0,8 \div 1,0$  [CUR-TAW: Guide for the design of river dikes, Olanda 1991].

Le esperienze acquisite sino ad oggi nel campo del microtunneling, mostrano comunque che le tecniche realizzative del sistema di perforazione (iniezioni bentonitiche in corso d'opera e cementizie al termine dei lavori, minimo intercapedine tra tubo e terreno, contenimento dei fenomeni di plasticizzazione), sono ampiamente sufficienti a prevenire rischi di sifonamento.

Infatti, le caratteristiche tecniche ed esecutive del sistema "microtunnel", soprattutto quando venga adottato un sistema a tenuta idrica durante tutte le fasi costruttive (fresa a bilanciamento di pressione esterna, postazioni a tenuta, giunti di tenuta idraulica tra tubi di protezione, ecc.), consentono di non dover considerare l'asse di trivellazione come un percorso preferenziale di flusso.

Ciò in quanto la tecnologia permette di ottenere, nei terreni posti al contatto con la superficie esterna dei tubi di protezione, coefficienti di permeabilità molto bassi (ad esempio per mezzo di iniezioni a base di cemento e bentonite da effettuare dall'interno del tunnel tramite delle valvole appositamente predisposte nei manufatti in cemento).

Da tali considerazioni emerge la necessità di progettare il sistema in modo da garantire adeguati coefficienti di sicurezza al sifonamento; questo tipo di verifica deve essere condotto valutando di volta in volta se esistono condizioni geotecniche, idrauliche e geometriche tali da innescare il fenomeno ed adottando coefficienti di sicurezza commisurati al livello di conoscenza acquisito.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 21 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 9.2 Metodologie di calcolo

Al fine di provare quanto la geometria della trivellazione individuata in fase di progetto garantisca elevati margini di sicurezza nei confronti della verifica al sifonamento, nelle verifiche riportate nei paragrafi seguenti, si assumerà che l'asse di trivellazione costituisca un percorso preferenziale di filtrazione a permeabilità superiore rispetto al terreno in sito, pur essendo questa una supposizione estremamente cautelativa che non trova effettivamente riscontro nella realtà.

In quest'ottica si supporrà inoltre che la situazione più critica da verificare sia quella che si configurerà a breve termine, ossia al termine dell'avanzamento della trivellazione. A lungo termine è lecito infatti supporre che le presunte cavità presenti in prossimità del microtunnel verranno facilmente intasate a seguito delle iniezioni di bentonite effettuate durante le operazioni di avanzamento, delle iniezioni finali e del consolidamento del terreno.

Per valutare l'interferenza tra la trenchless ed il regime di filtrazione in sub-alveo, occorre innanzitutto fare una distinzione sulla base della tipologia di alveo. Per alvei molto incassati, in cui il moto di filtrazione avviene longitudinalmente all'asse del corso d'acqua stesso, non si prevedono problemi; per alvei pensili invece, il moto di filtrazione può avvenire con maggiore facilità trasversalmente al corso d'acqua, e soprattutto se in presenza di una "via preferenziale di filtrazione".

Ne consegue quindi che la verifica al sifonamento dell'intersezione microtunnel/TOC – corso d'acqua, assume una importanza rilevante per alvei aventi una conformazione più vicina alla tipologia di alveo pensile.

Le metodologie di calcolo disponibili variano da metodi semplificati di tipo empirico, a metodi analitico-numeriche che ricorrono a modellazioni agli elementi finiti.

Entrambe queste tipologie di calcolo devono però partire da dati di input spesso tutt'altro che affidabili, soprattutto in relazione alla modellazione della distribuzione spaziale della permeabilità del terreno in sito, ed alla determinazione del coefficiente di permeabilità dell'insieme "terreno – fango di perforazione", che, lungo il profilo della trivellazione, è funzione della composizione reologica del fango, delle modalità esecutive, della natura del terreno in sito, ed infine del procedere delle dinamiche di consolidazione.

In ragione delle suddette considerazioni, si ritiene più opportuno l'utilizzo delle metodologie di calcolo semplificate di tipo empirico, risultando invece praticamente inutile il ricorso a modelli di calcolo più complessi.

Le metodologie di calcolo di tipo semplificato che saranno nel seguito utilizzate sono:

- verifica di tipo speditivo

A seguito di approssimazioni semplificative, viene verificato al sifonamento il percorso della trivellazione, prescindendo dai percorsi di filtrazione naturalmente presenti.

- verifica con metodo di Bligh – Lane

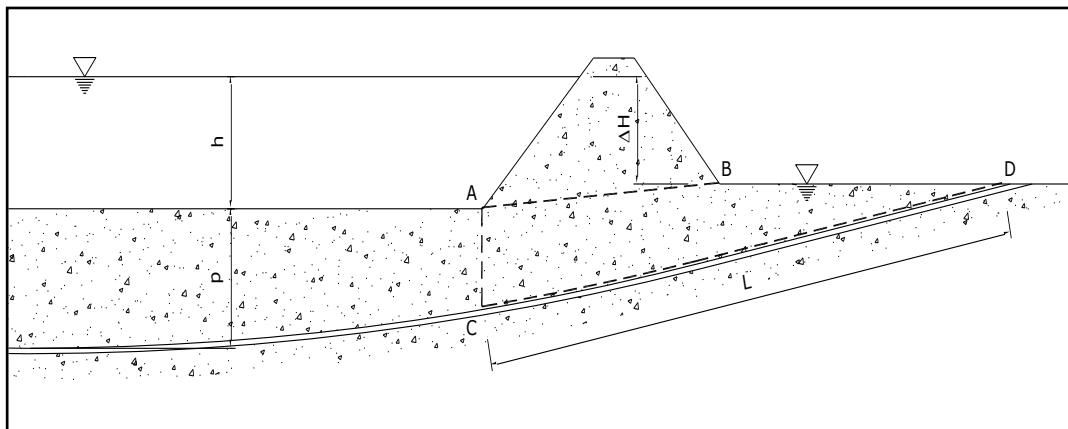
Il metodo si basa sulla comparazione tra il più breve tra i percorsi di filtrazione naturalmente presenti, e quelli che possono instaurarsi a seguito

	PROGETTISTA <b>techfem</b>	COMMESSA <b>NQ/R22178</b>	UNITÀ <b>20</b>
	LOCALITÀ <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	PROGETTO <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 22 di 28	Rev. <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

della trivellazione, verificando che questi ultimi abbiano sempre una lunghezza equivalente maggiore.

### 9.2.1 Verifica Speditiva



**Figura 8.1: Sezione tipo per la verifica speditiva al sifonamento**

Con riferimento alla fig. 8.1, di seguito vengono riassunte le ipotesi di calcolo:

1. si assume che il foro di trivellazione costituisca una via preferenziale di filtrazione, cioè che tra i possibili percorsi di filtrazione sia quello con le minori perdite di carico (percorso A-C-D); non vengono quindi presi in considerazione eventuali percorsi di filtrazione naturali più brevi, come ad esempio il percorso A-B;
2. nel tratto verticale A-C si considerano nulle le perdite di carico; è un'ipotesi molto cautelativa rispetto alla situazione reale;
3. il foro di trivellazione è assimilato ad un tubo di flusso continuo contenente una miscela di fango bentonitico e terreno con caratteristiche di permeabilità uniformi lungo il profilo di trivellazione; è un'ipotesi molto cautelativa rispetto alla realtà.

Il coefficiente di sicurezza al sifonamento è calcolato come di seguito riportato:

$$\eta = i_c / i = \gamma' L / \gamma_w \Delta h \geq 1,5$$

con

$i_c = \gamma' / \gamma_w$	gradiente idraulico critico;
$i = \Delta h / L$	gradiente idraulico effettivo;
$\gamma' = \gamma_t - \gamma_w$	peso efficace dell'insieme terreno – miscela di perforazione;
$\Delta h$	massimo dislivello piezometrico;
$L$	lunghezza del più breve percorso di filtrazione.

Essendo la condizione di calcolo transitoria, di durata limitata rispetto al periodo di consolidazione, si considera come coefficiente di sicurezza minimo accettato, il valore 1,5.

Con riferimento all'attraversamento in oggetto e relativamente alla sponda sinistra idrografica, valutata come avente geometria più critica rispetto all'altra, si assumono i seguenti dati di calcolo:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22178	UNITÀ 20
	LOCALITÀ RAVENNA	SPC. REL-AT-E-35025	
	PROGETTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pagina 23 di 28	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

- $\Delta h = 2.90$  m (ottenuto considerando un livello di piena di 9.58 m, pari a 35.82 m s.l.m. e livello di falda circostante pari a 38.70 m s.l.m., quota piano campagna);
- $L = 216$  m.
- $\gamma_{sat} = 1980$  kg/m<sup>3</sup>.
- $\gamma_{bentonite} = 2200$  kg/m<sup>3</sup>

Visti i due valori del  $\gamma_{sat}$  del terreno e del peso specifico della bentonite, si considera un valore del  $\gamma_t$  (sistema terreno-bentonite) pari a 2100 kg/m<sup>3</sup>.

Si ottiene quindi il coefficiente di sicurezza:

$$\eta = i_c / i = \gamma' L / \gamma_w \Delta h = 1200 \times 216 / 1000 \times 2.9 = 89 \geq 1,5 \quad (\text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

### 9.2.2 Metodo di Bligh-Lane

Il metodo consiste nel confrontare due lunghezze di filtrazione equivalenti  $L_0$  e  $L_1$ .

$L_0$  rappresenta il minimo percorso di filtrazione naturalmente preesistente, il cui valore dipende dalla configurazione geometrica della sezione d'attraversamento e dalle caratteristiche di permeabilità dei terreni.

$L_1$  rappresenta il minimo percorso di filtrazione innescato per effetto della realizzazione della trivellazione.

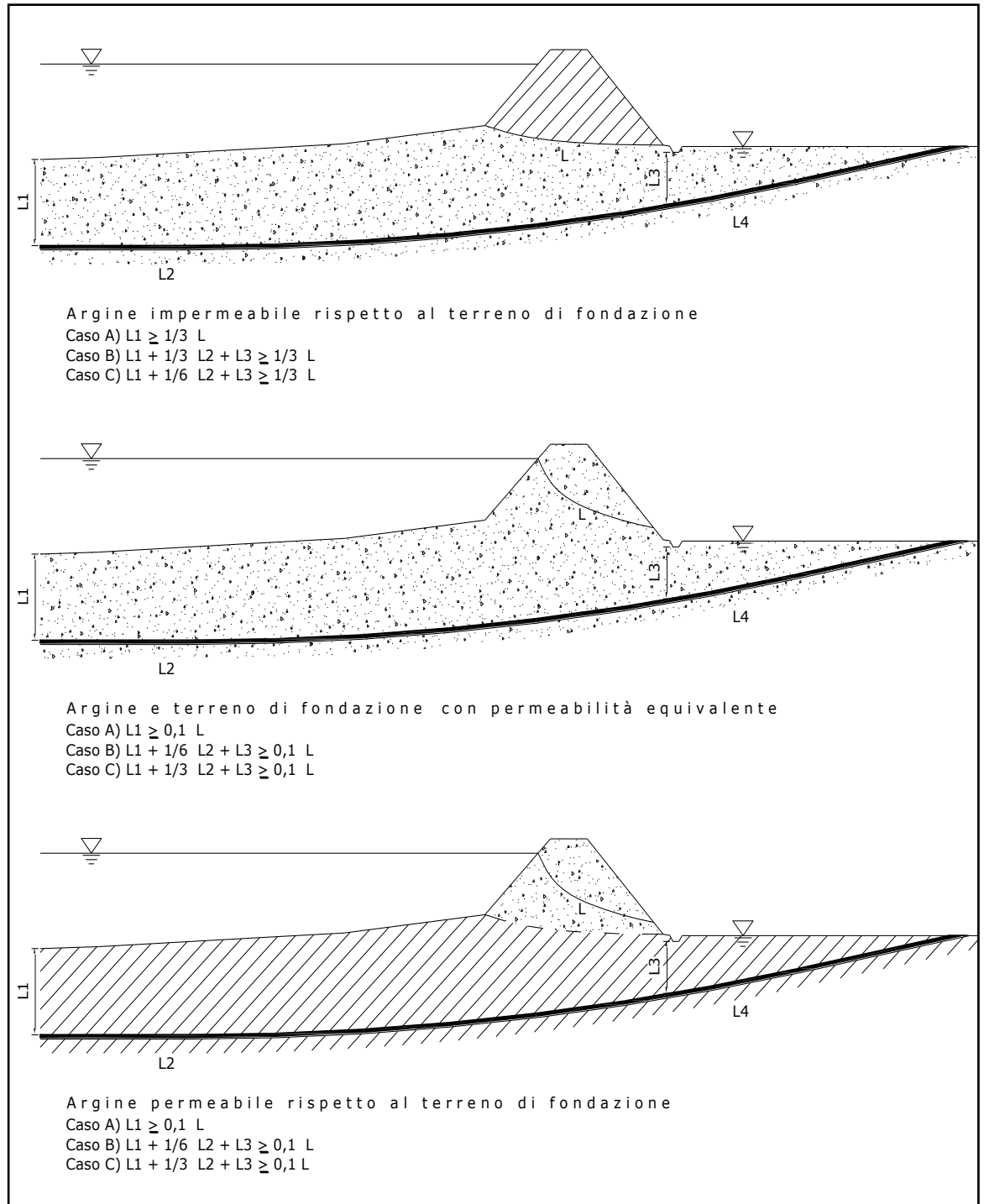
La verifica al sifonamento risulta soddisfatta quando si verifica che  $L_1 \geq L_0$ , ossia quando la profondità della trivellazione è tale da non consentire l'instaurarsi lungo il proprio asse di percorsi di filtrazione preferenziali con lunghezza equivalente più corta rispetto a quella minima preesistente.

Le due lunghezze vengono calcolate come sommatoria di lunghezze  $L_i$  (di tratti considerati al loro interno omogenei rispetto alle condizioni di filtrazione) moltiplicate ciascuna per un opportuno coefficiente riduttivo  $c_i$  che tiene conto delle condizioni di permeabilità nel tratto calcolato.

Tale coefficiente dipende dalle caratteristiche di permeabilità (litologia, coefficiente di permeabilità, presenza di bentonite) e dall'inclinazione sull'orizzontale di ogni strato (ai percorsi orizzontali si applica un coefficiente  $c = 1/3$  rispetto a quelli verticali).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 24 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025



**Fig. 8.2: lunghezze di filtrazione “equivalenti” per la verifica al sifonamento con il metodo di Bligh – Lane (adattato da “Horizonthal Boren”, Province di Zuïld, Holland 1985)**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 25 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

In fig. 8.2, relativamente al sottopassaggio tipico di un corpo arginale, sono riportate le espressioni che permettono di definire la profondità minima della trivellazione per ognuna delle seguenti tre condizioni:

1. argine impermeabile rispetto al terreno di fondazione;
2. argine e terreno di fondazione con permeabilità equivalente;
3. argine permeabile rispetto al terreno di fondazione.

Per ognuna di tali condizioni si riportano tre diverse espressioni che analizzano i seguenti percorsi di filtrazione:

- caso A): è la soluzione di maggior sicurezza in quanto si porta in conto solo il percorso verticale  $L_1$ , trascurando i percorsi  $L_2$  (tratto orizzontale attorno alla condotta) e  $L_3$  (tratto verticale al piede dell'argine) o  $L_4$  (tratto in risalita);
- caso B): si considera il percorso  $L_2$  con un peso  $c = 1/3$  ed  $L_3$  ( $c = 1$ ), più critico di  $L_4$ ;
- caso C): nella situazione precedente si introduce un coefficiente di sicurezza 2 sul percorso orizzontale  $L_2$ .

Con riferimento alla fig. 8.2, nella condizione di argine impermeabile rispetto al terreno di fondazione e considerando il caso A – più cautelativo – si ottiene:

SPONDA SINISTRA:

- $L_1 = 15$  m (percorso equivalente di filtrazione lungo la trivellazione)
- $L = 15$  m (percorso naturale di filtrazione nel corpo arginale).

$$15 > \frac{1}{3} \times 15 = 5 \quad L_1 > \frac{1}{3} L \quad (\text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

SPONDA DESTRA:

- $L_1 = 15$  m (percorso equivalente di filtrazione lungo la trivellazione)
- $L = 14$  m (percorso naturale di filtrazione nel corpo arginale).

$$15 > \frac{1}{3} \times 14 = 4.6 \quad L_1 > \frac{1}{3} L \quad (\text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

Sempre con riferimento alla fig. 8.2, nella condizione di argine e terreno di fondazione con permeabilità equivalente o argine permeabile rispetto al terreno di fondazione e considerando il caso A – più cautelativo – si ottiene:

SPONDA SINISTRA:

- $L_1 = 15$  m (percorso equivalente di filtrazione lungo la trivellazione)
- $L = 10.3$  m (percorso naturale di filtrazione nel corpo arginale).

$$15 > 0.1 \times 10.3 = 1.03 \quad L_1 > 0,1L \quad (\text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

SPONDA DESTRA:

- $L_1 = 15$  m (percorso equivalente di filtrazione lungo la trivellazione)
- $L = 9.8$  m (percorso naturale di filtrazione nel corpo arginale).

$$8 > 0.1 \times 9.8 = 0.98 \quad L_1 > 0,1L \quad (\text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 26 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

### 9.3 Risultati delle elaborazioni

I valori dei coefficienti di sicurezza risultano elevati, ed in considerazione sia dell'affidabilità della metodologia costruttiva prevista (comprovata da numerose esperienze già conseguite), sia dalle assunzioni largamente cautelative ipotizzate nella schematizzazione del modello di calcolo, si può affermare che la tecnica e la geometria d'attraversamento garantiscono ampi margini di sicurezza nei confronti del sifonamento.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 27 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 10 INTERVENTI DI RIPRISTINO POST-OPERAM

L'attraversamento in oggetto è progettato conformemente a quanto previsto nel *D.M. 17/04/2008*, in particolare, per quanto concerne la scelta progettuale dei materiali delle condotte e delle modalità di posa in opera della stessa, è tale da garantire la massima sicurezza del metanodotto nelle fasi di costruzione e di esercizio.

Nello specifico, la realizzazione dell'attraversamento dei Fiumi Uniti da parte del metanodotto non altera il libero deflusso delle acque in quanto realizzato con trivellazione orizzontale controllata. A lavori ultimati, l'opera risulterà completamente interrata e l'area dei lavori verrà completamente ripristinata come da condizioni originarie ante-operam.

Per quel che concerne la geometria si veda il DIS-AT-6C-37253.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35025</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 28 di 28	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5025

## 11 CONCLUSIONI

Il tracciato del metanodotto in progetto “FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti”, che consiste nella realizzazione di un’infrastruttura di pubblica utilità (trasporto gas naturale), non costituisce pericolo per le persone e i beni.

In particolare, per l’attraversamento dei Fiumi Uniti, oggetto di studio, non determina un aumento dei rischi e della pericolosità idraulica e non costituisce ostacolo al deflusso delle acque, in quanto:

- l’opera è completamente interrata ed i luoghi interessati da attività di scavo verranno ripristinati alla originaria morfologia, pertanto non si hanno restrizioni della fascia di laminazione esistente e non si ha una riduzione della capacità di invaso dell’alveo;
- non sono previste modifiche indotte sull’assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell’alveo essendo previsti dei ripristini post operam che restituiranno la condizione di naturalità al paesaggio, ristabilendo dunque la situazione ante-operam della regione fluviale.
- la verifica al sifonamento, grazie alla conformazione dell’alveo e alla profondità della T.O.C. è ampiamente soddisfatta.

La profondità di interramento minima della condotta è quindi adeguata a garantire la sicurezza della condotta in opera ed evitare cedimenti del terreno.