

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22178	UNITA' 20
	LOCALITA' RAVENNA	SPC. REL-AT-E-35057	
	PROGETTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 1 di 27	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

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 FERROVIA**  
**CASTELBOLOGNESE-RAVENNA**  
**PROG. KM 33+030**

**RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA**



0	Emissione per Permessi	E. CAMERINI	A.GIGLIOTTI	M.BEGINI	20/09/2022
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 2 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## INDICE

<b>1.</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>4</b>
1.1.	Scopo	4
1.2.	Elaborati grafici di riferimento	4
1.3.	Definizioni	4
1.4.	Normativa di riferimento	5
<b>2.</b>	<b>UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>8</b>
4.1.	Caratteristiche geometriche	8
4.2.	Caratteristiche meccaniche	8
<b>5.</b>	<b>CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA CONDOTTA IN OPERA</b>	<b>10</b>
5.1.	Tubo di linea DN 900 (36")	10
5.2.	Tubo di protezione DN 1050 (42")	10
5.3.	Telecomando	10
5.4.	Protezione catodica	10
<b>6.</b>	<b>GEOMETRIA E MODALITA' ESECUTIVE DELL'ATTRAVERSAMENTO</b>	<b>11</b>
6.1.	Geometria dell'attraversamento	11
6.2.	Modalità esecutive	11
6.3.	Prova idraulica	12
<b>7.</b>	<b>VERIFICA DELLO SPESSORE DEL TUBO DI LINEA DN 900 (36")</b>	<b>13</b>
<b>8.</b>	<b>VERIFICA DEL TUBO DI PROTEZIONE DN 1050 (42")</b>	<b>14</b>
8.1.	Parametri geotecnici	14
8.2.	Analisi dei carichi sul tubo di protezione	14
8.3.	Calcolo delle sollecitazioni	18

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 3 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

8.4.	Calcolo delle tensioni massime e verifica del tubo di protezione	20
8.5.	Verifica intercapedine tra tubo di linea e tubo di protezione	24
<b>9.</b>	<b>CONGEGNI DI INTERCETTAZIONE</b>	<b>25</b>
<b>10.</b>	<b>CRONOPROGRAMMA</b>	<b>26</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>27</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 4 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 1. GENERALITÀ

### 1.1. Scopo

Nella presente relazione sono illustrate le caratteristiche dei materiali e le modalità esecutive per l'attraversamento con tecnica "spingitubo" della "Ferrovia Castelvolognese - Ravenna (Progr. km 33+030)", da parte del metanodotto in progetto "FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti".

Il punto di intersezione con la linea ferroviaria è previsto alla progressiva chilometrica sopraindicata e l'intersezione è prevista con un angolo di 1.55 rad (89°).

L'attraversamento è situato nel territorio comunale del Comune di Ravenna (RA) ed è inquadrato nella Sezione A, foglio 97 mappali 164, 165, 101, 98, 160 dell'U.T.E. (Ufficio Tecnico Erariale-Catasto).

Per tutto l'attraversamento della "Ferrovia Castelvolognese - Ravenna (Progr. km 33+030)", la condotta di linea DN 900 (36") in progetto, sarà contenuta in un manufatto di protezione chiuso e drenante costituito da un tubo in acciaio DN 1050(42") avente funzione di protezione meccanica nei confronti dei carichi esterni e drenaggio (cfr 2.8 del D.M. 17/04/2008 e cfr 2.4.9 del D.M. 04/04/2014). Il calcolo di verifica del tubo di protezione è eseguito in accordo al Decreto Ministeriale del 04 aprile 2014 "Norme Tecniche per gli attraversamenti e i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto" e precedenti edizioni.

### 1.2. Elaborati grafici di riferimento

- DIS-AT-13E-37259 Attraversamento F.S. Castelvolognese-Ravenna KP 33+030

### 1.3. Definizioni

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

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

*Tubo di protezione:* manufatto chiuso avente funzione di protezione meccanica della tubazione, di ripartizione dei carichi e di drenaggio;

*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 "spingitubo" (o "no dig"):* trivellazione orizzontale controllata ad andamento rettilineo 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>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 5 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

#### 1.4. Normativa di riferimento

Per la realizzazione della relazione in oggetto è stata presa in considerazione la vigente normativa tecnica con le seguenti disposizioni:

- *Decreto Ministeriale 17/04/2008*: 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;
- *Decreto Ministeriale 04/04/2014*: Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto;
- *Decreto Ministeriale 17/01/2018*: Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- *Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7*: "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»;"
- *Decreto legislativo 30/04/1992 n.285*: Nuovo Codice della Strada;
- *Specifiche Snam Rete Gas*;
- *Norme CEI / UNI / EN*.

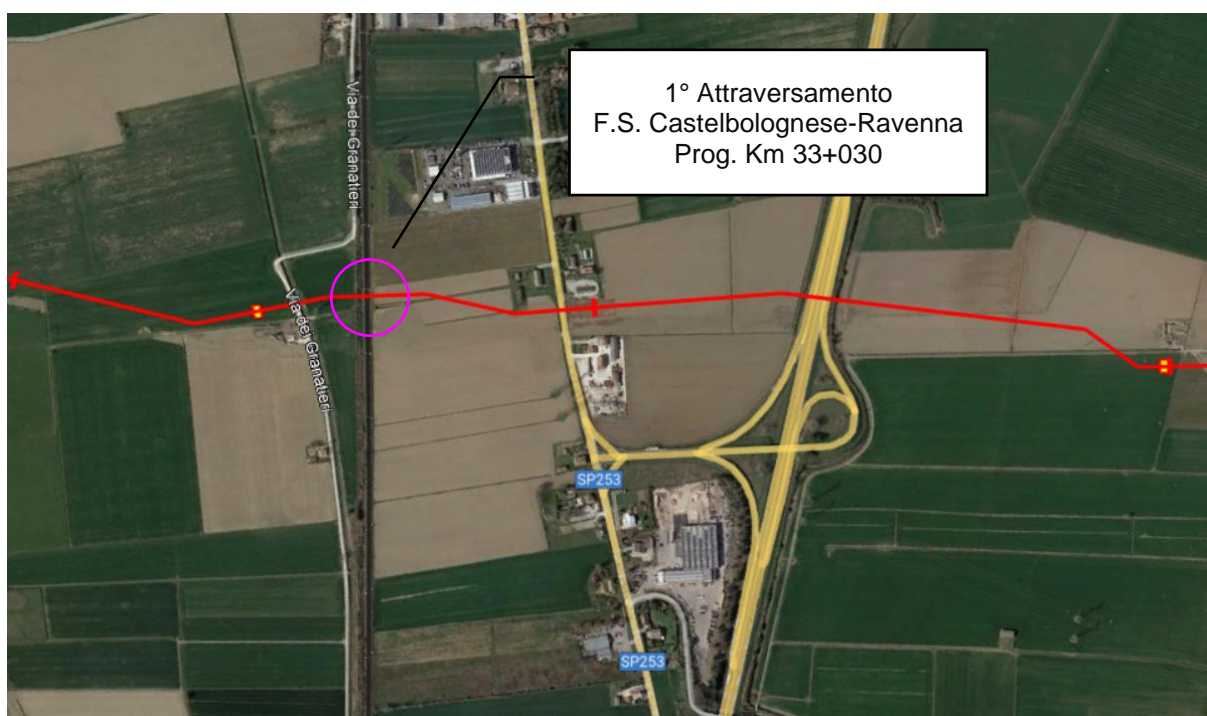
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 6 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 2. UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area interessata dai lavori, compresa all'interno del territorio comunale di Ravenna individuata sulla cartografia CTR in scala 1:10.000 della Tavola 243142.

Di seguito si riporta un inquadramento su base ortofoto dell'area interessata dai lavori per la posa della condotta in attraversamento alla linea ferroviaria Castelbolognese-Ravenna.



**Figura 1.** Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base ortofoto

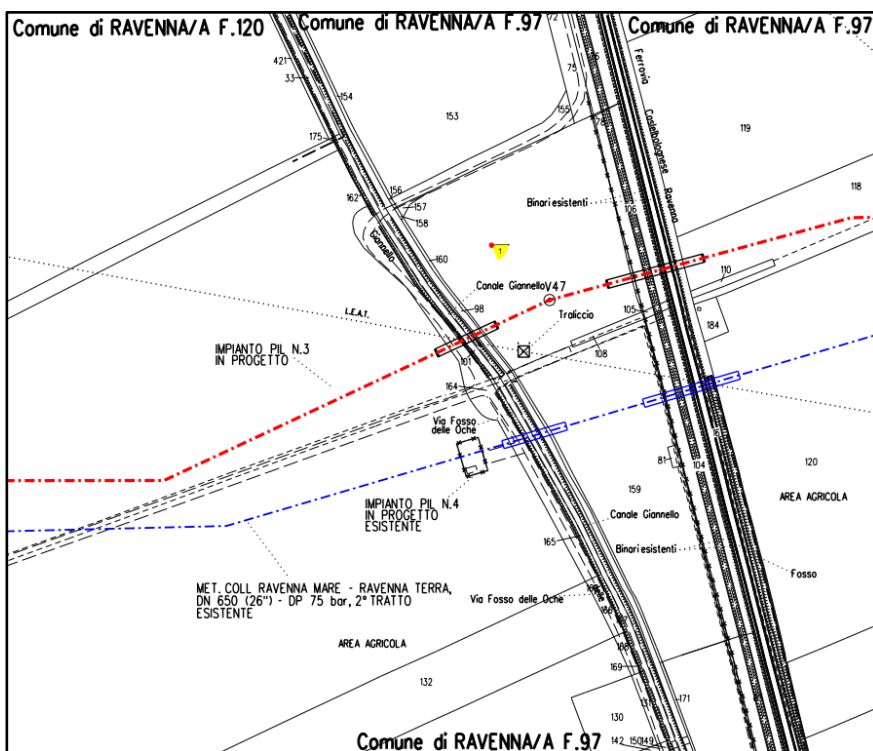


	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 7 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

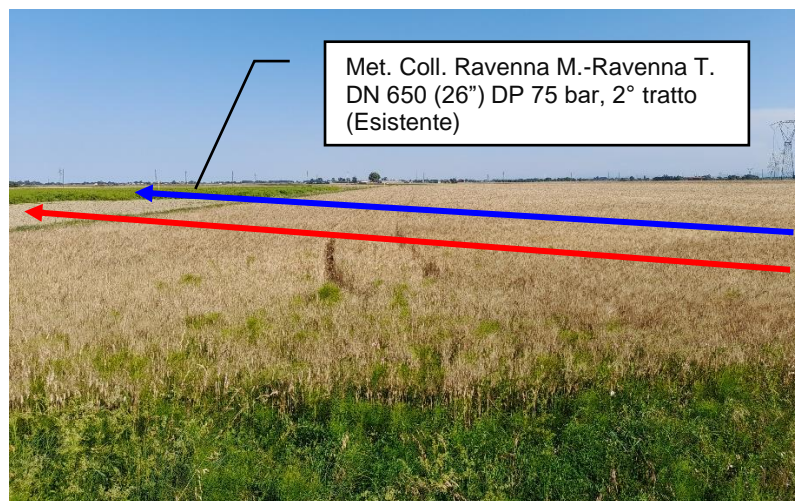
Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

### 3. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

In questo capitolo è riportata la documentazione fotografica dello stato di fatto con il metanodotto in progetto indicato in rosso. L'indicazione planimetrica dei punti di ripresa (con i relativi coni visivi), è riportata nella planimetria catastale di Figura 2.



**Figura 2.** Stralcio catastale zona interessata dall'attraversamento con coni di ripresa fotografica.



**Foto n.1** – Attraversamento Ferrovia Castelbolognese-Ravenna (Progr. km 33+030)

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 8 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

L'attraversamento verrà realizzato mediante trivellazione di un tubo di protezione DN 1050 (42") al cui interno verrà inserito il tubo di linea DN 900 (36").

Entrambe le tubazioni sono costituite 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 delle condotte oggetto dell'attraversamento.

##### 4.1. Caratteristiche geometriche

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

• diametro esterno	De	=	927.20 mm
• spessore	t	=	19.60 mm
• diametro interno	Di	=	888.0 mm
• peso per unità di lunghezza	p	=	438.68 kg/m

###### b. Tubo di protezione DN 1050 (42")

• diametro esterno	De	=	1084.20 mm
• spessore	t	=	22.80 mm
• diametro interno	Di	=	1036.60 mm
• peso per unità di lunghezza	p	=	596.77 kg/m

###### c. Tubo portacavi DN 100 (4")

• diametro esterno	De	=	114.30 mm
• spessore	t	=	4.00 mm
• diametro interno	Di	=	106.30 mm
• peso per unità di lunghezza	p	=	10.88 kg/m

##### 4.2. Caratteristiche meccaniche

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

tipo di acciaio	L450 MB
carico unitario di snervamento minimo garantito	R <sub>t0.5</sub> = 450 MPa

###### b. Tubo di protezione DN 1050 (42")

tipo di acciaio	L450 MB
carico unitario di snervamento minimo garantito	R <sub>t0.5</sub> = 450 MPa



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE</b> <b>NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 9 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

*c. Tubo portacavi DN 100 (4")*

tipo in ferro  
carico unitario di snervamento minimo garantito

L360 MB  
Rt0.5 =360 MPa

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 10 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 5. CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA CONDOTTA IN OPERA

### 5.1. Tubo di linea DN 900 (36")

La condotta è costituita da tubi DN 900 (36") in acciaio EN L450 NB/MB di spessore rinforzato pari a 19.6 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.

### 5.2. Tubo di protezione DN 1050 (42")

Il tubo di protezione è composto da tubazione DN 1050 (42") spessore 22.8 mm, contiene completamente la condotta e ha la duplice funzione di protezione meccanica e drenaggio, pertanto il suo diametro è tale da formare un'intercapedine libera con il tubo di linea.

All'interno del tubo di protezione, allo scopo di mantenere la condotta di linea centrata ed isolata, verranno utilizzati appositi collari distanziatori isolanti in PEAD con fissaggio ad incastro, posti ad un interasse non superiore a 1.00 m.

Il tubo di protezione sarà chiuso alle estremità con anello termorestringente in modo da assicurare la perfetta tenuta del sistema tubo di linea - tubo di protezione.

Il tubo dovrà avere una pendenza minima del 2‰ in direzione dello spurgo, che sarà realizzato con un tubo DN 80 (3") con spessore 3 mm, posizionato in una delle due estremità. Su ognuna delle due estremità del tubo di protezione verrà installato un tubo di sfiato di DN 80 (3") con uno spessore di 3 mm, posizionato in modo da evitare la formazione di sacche di gas.

### 5.3. Telecomando

Insieme alla condotta sarà posta in opera una polifora portacavi costituita da 3 tubi in PEAD DN 50 PN16. 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 2 tubi in ferro DN 100 (4") di spessore 4.0mm saldati al tubo di protezione con angolo di 60°.

Per il dettaglio della posa in opera della polifora portacavi si rimanda alla sez.Y-Y del disegno di progetto allegato. (vedi dis. DIS-AT-13E-37259).

### 5.4. Protezione catodica

La condotta, onde evitare la corrosione dell'acciaio, avrà una protezione attiva (catodica) costituita da un sistema a corrente elettrica impressa.

Sono inoltre previsti periodici controlli dello stato elettrico del sistema mediante prese di potenziale predisposte in prossimità dell'attraversamento.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 11 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 6. GEOMETRIA E MODALITA' ESECUTIVE DELL'ATTRAVERSAMENTO

### 6.1. Geometria dell'attraversamento

La geometria dell'attraversamento indicata nell'allegato DIS-AT-13E-37259, tiene conto di quanto previsto nel D.M.17/04/2008.

La profondità di interramento del tubo di protezione, riferita al piano ferroviario, è superiore alla minima profondità prescritta e sarà pari a 3.20 m con una lunghezza totale di 54 metri.

Le estensioni del manufatto di protezione, riferite ai binari, risultano rispettivamente 29.32 m e 19.15 m, mentre le distanze degli sfiati risultano rispettivamente 22.23 m e 21.10 m.

Gli interventi in oggetto prevedono il contestuale attraversamento di diversi sottoservizi (metanodotti, acquedotti, rete fognaria, cavi telecomunicazioni e cavi elettrici interrati). Verrà mantenuta in ogni caso un'adeguata distanza di sicurezza dai sottoservizi come prescritto dagli Enti gestori e in rispetto di quanto previsto nel D.M.17/04/2008.

### 6.2. Modalità esecutive

L'utilizzo della tecnica spingitubo ha come vantaggio quello di poter mantenere la viabilità dell'infrastruttura da attraversare e di evitare possibili cedimenti della sede ferroviaria.

Il criterio è quello di asportare il materiale di scavo all'interno solo dopo che il foro è già sostenuto dal tubo di protezione infisso nel terreno tramite martinetti idraulici. In fase esecutiva, infatti, particolare attenzione dovrà essere posta al mantenimento della coclea per lo scavo e lo smarino adeguatamente arretrata rispetto al tubo di protezione in avanzamento al fine di garantire condizioni di sicurezza nei confronti di potenziali scavarnamenti nell'intorno della trivellazione.

L'attraversamento sarà realizzato con un piccolo cantiere operante contemporaneamente a quello principale di linea.

A seguire si riportano le principali fasi operative per la posa in opera della condotta di linea mediante trivellazione spingitubo:

- apertura della pista di lavoro;
- trasporto a piè d'opera delle attrezzature, barre del tubo di linea, del tubo di protezione e del tubo di protezione necessarie;
- esecuzione degli scavi in corrispondenza della buca di spinta per l'alloggiamento della trivella e in corrispondenza della buca di arrivo;
- predisposizione delle eventuali opere di sostegno provvisorie, di presidio idraulico e/o drenaggio (in caso di presenza di falda superficiale);
- esecuzione degli eventuali contrafforti reggispingita per le macchine operatrici;
- messa in opera mediante trivella del tubo di protezione DN 1050 (42") con tubi portacavi DN 100 (4") saldati sul tubo di protezione stesso;
- preparazione, fuori opera, della colonna d'attraversamento (sigaro) costituita dalle barre di tubo di linea DN 900 (36") saldate di testa, controllo delle saldature con metodo non distruttivo e successivo precolloido idraulico;

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 12 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>


Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

- infilaggio del "sigaro" DN 900 (36") all'interno del tubo di protezione DN 1050 (42") previa predisposizione di collari distanziatori isolanti e successivo collegamento ai tratti di linea a monte e a valle dell'attraversamento;
- chiusura delle estremità del tubo di protezione DN 1050 (42") con fasce termorestringenti;
- demolizione o asportazione delle eventuali strutture di sostegno degli scavi e necessarie alla trivellazione, rinterro, compattazione per strati di terreno non superiori a 30 cm, livellamento, riporto dello strato di humus superficiale, ripristino e completo recupero ambientale dell'area interessata.

### 6.3. Prova idraulica

Il tratto di condotta DN 900 (36") interessato dall'attraversamento sarà sottoposto ad una prova idraulica in opera con una pressione pari a 1.5 volte la pressione massima di esercizio e mai essere inferiore di 0.5 MPa come da *D.M. 04/04/2014 al punto 2.3.6.*

La pressione di precollaudo sarà controllata con manometro registratore. L'esito della prova sarà considerato positivo se la pressione, durante il collaudo, si manterrà costante per 2 ore dopo che il sistema si sarà stabilizzato. Si procederà infine, in caso di esito positivo, alla verbalizzazione dei risultati della prova.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 13 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

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

In riferimento al *D.M. 04/04/2014*, gli spessori delle condotte in acciaio devono essere maggiori o uguali ad uno spessore minimo  $t_{min}$ , determinato con la seguente espressione:

$$t \geq t_{min} [mm] = \frac{\left( \frac{200 \cdot R_{t0.5}}{K_s} + DP \cdot D_e \right)}{\left( \frac{200 \cdot R_{t0.5}}{K_s} + 2 \cdot DP \right)}$$

con:

- $D_e$ : diametro esterno della condotta [mm];
- $DP$  pressione di massima che può aversi nel più sfavorevole caso [daN/cm<sup>2</sup>];
- $K_s$ : coefficiente di sicurezza minimo pari a 2.5;
- $R_{t0.5}$ : carico di snervamento minimo dell'acciaio [daN/mm<sup>2</sup>]

In ogni caso lo spessore minimo non può essere inferiore a 4 mm.

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei calcoli effettuati:

VERIFICA SPESSORE PER FERROVIE							
<b>DN</b> <b>[mm]</b>	<b>D<sub>e</sub></b> <b>[mm]</b>	<b>d</b> <b>[mm]</b>	<b>t</b> <b>[mm]</b>	<b>tipo di acciaio</b>	<b>R<sub>t0.5</sub></b> <b>[daN/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>G<sub>I</sub></b> <b>[daN/m]</b>	<b>t<sub>min</sub></b> <b>[mm]</b>
900	927.2	888	19.60	L450	450	438.68	19.50
<b>t &gt; t<sub>min</sub> VERIFICATO</b>							

**Tabella 1.** Verifica dello spessore del tubo per ferrovie

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 14 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 8. VERIFICA DEL TUBO DI PROTEZIONE DN 1050 (42")

In riferimento a quanto previsto al *D.M. 04/04/2014*, il tubo di protezione deve essere dimensionato (diametro, spessore, tipo di acciaio) in relazione ai carichi esterni agenti, in modo che risultino verificate le massime sollecitazioni cui è soggetto. Sono determinate le condizioni tenso-deformative del tubo di protezione in relazione alla profondità di posa e al massimo carico mobile transitante.

### 8.1. Parametri geotecnici

Per la definizione dei parametri geotecnici si fa riferimento alla campagna di sondaggi svolti nel 2017 per conto Snam Rete Gas (rif. relaz. Comis LSC-202-1).

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 dal sondaggio prossimo all'attraversamento (sondaggio SG5) e dalle considerazioni di carattere prettamente geologico-stratigrafiche, mostra un sito costituito da un livello superficiale di terreno limoso fino a 1.5m dal piano campagna. Al di sotto di tale livello è presente uno strato di argilla consistente fino a 2.0m, sabbia limosa-argillosa moderatamente consistente fino a 4.3m, limo sabbioso e argilloso fino a 8.0 m, argilla plastica con livelli torbosi fino a 8.8 m e limo debolmente sabbioso e argilloso fino a 25.00 m.

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.

I parametri geotecnici utilizzati sono:

PARAMETRI GEOTECNICI		
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$f$ [°]
15.4	19.8	31

**Tabella 2.** Riassunto dei parametri geotecnici.

Cautelativamente infine si assume la falda a livello campagna.

### 8.2. Analisi dei carichi sul tubo di protezione

Il tubo di protezione è dimensionato in base ai carichi a cui sarà sottoposto in opera:

- Peso proprio della tubazione;

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 15 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

- Carico ripartito superiore, corrispondente al peso del terrapieno sovrastante la tubazione ed al carico mobile transitante sul binario opportunamente combinati;
- Carico ripartito laterale, corrispondente alla parte rettangolare del diagramma di spinta (terra-sovraccarico);
- Carico triangolare laterale, corrispondente alla parte diagonale del diagramma di spinta;
- Reazione radiale costante in un settore corrispondente ad un angolo al centro di 60° in funzione del carico Q pari alla somma di tutti i carichi verticali opportunamente combinati, agente sulla tubazione.

#### 8.2.1. *Peso proprio della tubazione*

Si definiscono il peso per unità di lunghezza  $G_p$  del tubo di protezione di sezione  $A_t$  secondo la *Tabella 3a*:

CALCOLO PESO TUBO DI PROTEZIONE			
$A_t$ [mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ [mm]	$\gamma_{tubo}$ [N/m <sup>3</sup> ]	$G_p$ [N/m]
74794,28	522,10	78500	5871,35

**Tabella 3a.** Calcolo del peso proprio del tubo di protezione

il peso per unità di lunghezza  $G_{linea}$  del tubo di linea di sezione  $A_{tl}$  secondo la *Tabella 3b*:

CALCOLO PESO TUBO DI LINEA		
$A_t$ [mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{tubo}$ [N/m <sup>3</sup> ]	$G_p$ [N/m]
55885,67	78500	4387,02

**Tabella 3b.** Calcolo del peso proprio del tubo di linea

il peso per unità di lunghezza  $G_{portacavi}$  dei 2 tubi portacavo ognuno di sezione  $A_{portacavo}$  (*Tabella 3c*):

CALCOLO PESO TUBO PORTACAVI			
Quantità $n$	$A_t$ [mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{tubo}$ [N/m <sup>3</sup> ]	$G_p$ [N/m]
2	1386,07	78500	217,61

**Tabella 3c.** Calcolo del peso proprio dei 2 tubi portacavo



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 16 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

### 8.2.2. Carico ripartito superiore

Corrisponde alla somma del carico del terrapieno sovrastante il tubo e il carico mobile transitante sui binari come indicato nel *punto 2.4.3 del D.M. 04/04/2014*:

$$p = \gamma_t \cdot H + G_m$$

con:

- $\gamma_t [N/m^3]$ : peso specifico totale del terreno;
- $H^{(*)} [m]$ : profondità di interramento della condotta misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo.
- $G_m [N/m^2]$ : carico mobile transitante sui binari pari a:
  - (1)  $G_m = [15000/(2.6+1.5H)]$  per binario singolo
  - (2)  $G_m = [15000/(3.08+0.8H)]$  per binario doppio

Nella *Tabella 4* viene riassunto il calcolo del carico uniformemente ripartito considerando la formula (2) per binario doppio.

CARICO UNIFORMEMENTE RIPARTITO				
$\gamma$ [N/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$ [N/m <sup>3</sup> ]	$H$ [m]	$G_m$ [N/m <sup>2</sup> ]	$p$ [N/m <sup>2</sup> ]
15400	19800	3,2	26595,74	89955,74

**Tabella 4.** Calcolo del carico uniformemente ripartito dovuto ai carichi mobili e al peso della massicciata

### 8.2.3. Carico ripartito laterale

La pressione uniforme dovuta alle spinte orizzontali  $q$  in presenza di falda si calcola con la seguente formula:

$$q = \gamma_t \cdot H \cdot K_p + G_m \cdot K_a$$

dove:

- $K_a$ : coefficiente di spinta attiva calcolato con la seguente espressione:

$$K_a = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

- $K_p$ : coefficiente di spinta passiva calcolato con la seguente espressione:

(\*) Per il calcolo del carico geostatico finalizzato al controllo della deformazione, alla verifica delle tensioni massime nel tubo e al buckling,  $H$  è assunta, a favore di sicurezza, pari all'altezza massima di interrimento del tubo di protezione ( $H_{max}$ ) per l'attraversamento in esame.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 17 di 27</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

$$K_p = \frac{1}{K_a}; \text{ (cautelativamente assunto pari a } K_p=1 \text{)}$$

- $\gamma_t$  [N/m<sup>3</sup>]: peso specifico totale del terreno;
- $H$  [m]: profondità di interrimento della condotta misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo;
- $G_m$  [N/m<sup>2</sup>]: carico mobile transitante sui binari come da paragrafo precedente.

PRESSIONE UNIFORME DOVUTA ALLE SPINTE ORIZZONTALI						
f [°]	$K_a$	$K_p$	$\gamma_t$ [N/m <sup>3</sup> ]	$H$ [m]	$G_m$ [N/m <sup>2</sup> ]	$q$ [N/m <sup>2</sup> ]
31,0	0,320	1,000	19800	3,2	26595,74	71878,72

**Tabella 5.** Calcolo della pressione uniforme dovuta alle spinte orizzontali.

#### 8.2.4. Carico triangolare laterale

La pressione variabile  $z$  dovuta alle spinte orizzontali in presenza di falda si calcola con la seguente formula:

$$z = \gamma_t \cdot D_e \cdot K_p$$

con:

- $\gamma_t$  [N/m<sup>3</sup>]: peso specifico totale del terreno;
- $D_e$  [mm]: diametro esterno della condotta;
- $K_p$ : coefficiente di spinta passiva (cautelativamente assunto pari a  $K_p=1$ ).

PRESSIONE VARIABILE			
$\gamma$ [N/m <sup>3</sup> ]	$D_e$ [m]	$K_p$	$z$ [N/m <sup>2</sup> ]
9800	1,067	1,000	21126,60

**Tabella 6.** Calcolo della pressione variabile dovuta alle spinte orizzontali

#### 8.2.5. Reazione radiale totale

La reazione radiale totale  $Q$  è pari alla somma di tutti i carichi verticali (terreno, carico mobile e tubazione) opportunamente combinati, agente sulla tubazione, ed è una sollecitazione costante considerata in un settore corrispondente ad un angolo al centro di 60°. Si calcola con la seguente formula:

$$Q = \gamma_t \cdot H \cdot D_e + G_m \cdot D_e + G_p + G_{linea} + G_{portacavi}$$

con

- $\gamma_t$  [N/m<sup>3</sup>]: peso specifico totale del terreno;

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 18 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

- $D_e [m]$ : diametro esterno della condotta;
- $H [m]$ : profondità di interramento della condotta misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo;
- $G_p [N/m]$ : peso proprio del tubo di protezione;
- $G_{linea} [N/m]$ : peso proprio del tubo di linea;
- $G_m [N/m^2]$ : carico ripartito superiore dovuto al carico mobile;
- $G_{portacavi} [N/m]$ : peso proprio dei tubi portacavi.

Con le espressioni di cui sopra, si è tenuto conto del peso del terreno sovrastante la tubazione, del carico mobile transitante sui binari ed inoltre della collaborazione offerta dal terreno circostante al tubo.

A seguire si è riportato il riassunto dei calcoli effettuati agenti sul tubo di protezione per l'attraversamento in esame.

REAZIONE TOTALE								
$\gamma$ [N/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$ [N/m <sup>3</sup> ]	$H$ [m]	$D_e$ [m]	$G_m$ [N/m <sup>2</sup> ]	$G_p$ [N/m]	$G_{linea}$ [N/m]	$G_{portacavi}$ [N/m]	$Q$ [N/m]
15400	19800	3,2	1,067	26595,74	5871,35	4387,02	217,61	106458,77

**Tabella 7.** Calcolo della reazione totale  $Q$

### 8.3. Calcolo delle sollecitazioni

Le sollecitazioni massime di calcolo sono valutate in base allo schema riportato nella seguente Figura 3, dove:

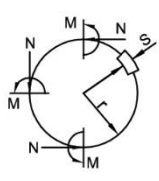
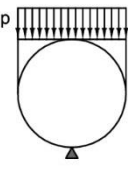
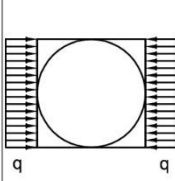
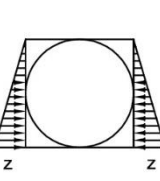
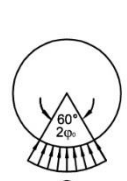
- $\gamma_a [N/m^3]$ : peso specifico medio dell'acciaio della tubazione;
- $s [m]$ : spessore della tubazione;
- $r [m]$ : raggio medio del tubo di protezione;
- $p [N/m^2]$ : carico ripartito superiore dovuto al terreno e al carico mobile;
- $q [N/m^2]$ : carico ripartito laterale dovuto al terreno e al carico mobile;
- $z [N/m^2]$ : carico variabile laterale;
- $Q [N/m]$ : carico totale verticale;

Sono state individuate tre (3) sezioni per il calcolo delle sollecitazioni massime in conformità al D.M. 04/04/2014 che sono:

- Sezione verticale superiore;
- Sezione orizzontale mediana;
- Sezione verticale inferiore.

	PROGETTISTA	COMMESSA	UNITA'
		NQ/R22178	20
	LOCALITA'	SPC. REL-AT-E-35057	
	RAVENNA		
	PROGETTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 19 di 27	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

	A	B	C	D	E
	PESO PROPRIO	CARICO RIPARTITO SUPERIORE	CARICO RIPARTITO LATERALE	CARICO TRIANGOLARE LATERALE	REAZIONE RADIALE COSTANTE SETTORE $2\varphi_0 = 60^\circ$
SCHEMA					
SEZIONE VERTICALE SUPERIORE	$M = \frac{1}{2} \gamma_t s r^2$ $N = -\frac{1}{2} \gamma_t s r$	$M = (\frac{4}{3\pi} - \frac{1}{8}) p r^2 = 0,29941 p r^2$ $N = -\frac{1}{3\pi} p r = -0,10610 p r$	$M = -\frac{1}{4} q r^2$ $N = q r$	$M = -\frac{5}{48} z r^2 = -0,10417 z r^2$ $N = \frac{5}{16} z r = 0,31250 z r$	$Q =$ (reazione totale) $M =$ $-0,0073038 Q r$ $N = 0,014817 Q$
SEZIONE ORIZZONTALE MEDIANA	$M = -\frac{\pi-2}{2} \gamma_t s r^2 = -0,57080 \gamma_t s r^2$ $N = \frac{\pi}{2} \gamma_t s r = 1,57080 \gamma_t s r$	$M = (\frac{1}{3\pi} - \frac{5}{8}) p r^2 = -0,30669 p r^2$ $N = p r$	$M = \frac{1}{4} q r^2$ $N = 0$	$M = \frac{1}{8} z r^2 = 0,125 z r^2$ $N = 0$	$M = 0,0075118 Q r$ $N = 0$
SEZIONE VERTICALE INFERIORE	$M = \frac{3}{2} \gamma_t s r^2$ $N = \frac{1}{2} \gamma_t s r$	$M = (\frac{2}{3\pi} + \frac{3}{8}) p r^2 = 0,58721 p r^2$ $N = \frac{1}{3\pi} p r = 0,10610 p r$	$M = -\frac{1}{4} q r^2$ $N = q r$	$M = -\frac{7}{48} z r^2 = -0,14583 z r^2$ $N = \frac{11}{16} z r = 0,68750 z r$	$M = -0,11165 Q r$ $N = 0,11916 Q$
<div> <div> M = momento flettente  N = sforzo assiale  p = carico uniformemente ripartito, dovuto ai carichi mobili ed al peso della massicciata  q = pressione uniforme dovuta alle spinte orizzontali  z = pressione variabile dovuta alle spinte orizzontali  r = raggio medio della tubazione </div> <div> s = spessore della tubazione  <math>\gamma_t</math> = peso specifico del materiale costituente la tubazione  Q = reazione radiale totale </div> </div>					

**Figura 3.** Tabella contenuta nel D.M. 04/04/2014.

Nelle seguenti tabelle sono stati riportati i calcoli per tutte le sezioni sopra descritte:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22178	UNITA' 20
	LOCALITA' RAVENNA	SPC. REL-AT-E-35057	
	PROGETTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 20 di 27	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SUL TUBO DI PROTEZIONE (Sezione verticale superiore)									
Peso proprio A		Carico ripartito superiore B		Carico ripartito laterale C		Carico triangolare laterale D		Reazione radiale (settore a 60°) E	
M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]
402,84	-824,99	7419,49	-5035,81	-4898,33	37527,88	-599,90	3446,94	-403,03	1577,40
<b>M<sub>tot</sub> [Nm/m] = 1921,08</b>					<b>N<sub>tot</sub> [N/m] = 36691,41</b>				

**Tabella 8A.** Calcolo delle sollecitazioni agenti sul tubo di protezione (sezione verticale superiore)

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SUL TUBO DI PROTEZIONE (Sezione orizzontale mediana)									
Peso proprio A		Carico ripartito superiore B		Carico ripartito laterale C		Carico triangolare laterale D		Reazione radiale (settore a 60°) E	
M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]
-459,88	2591,80	-7599,89	47462,90	4898,33	0,00	719,86	0,00	414,51	0,00
<b>M<sub>tot</sub> [Nm/m] = -2027,09</b>					<b>N<sub>tot</sub> [N/m] = 50054,70</b>				

**Tabella 8B.** Calcolo delle sollecitazioni agenti sul tubo di protezione (sezione orizzontale mediana)

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SUL TUBO DI PROTEZIONE (Sezione verticale inferiore)									
Peso proprio A		Carico ripartito superiore B		Carico ripartito laterale C		Carico triangolare laterale D		Reazione radiale (settore a 60°) E	
M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]	M [Nm/m]	N [N/m]
1208,53	816,34	14551,29	5035,81	-4898,33	37527,88	-839,82	7583,26	-6160,94	12685,63
<b>M<sub>tot</sub> [Nm/m] = 3860,73</b>					<b>N<sub>tot</sub> [N/m] = 63648,92</b>				

**Tabella 8C.** Calcolo delle sollecitazioni agenti sul tubo di protezione (sezione verticale inferiore)

#### 8.4. Calcolo delle tensioni massime e verifica del tubo di protezione

Determinate le sollecitazioni agenti nelle sezioni in esame del tubo di protezione, in accordo con il D.M. del 17/01/2018, si procede all'esecuzione delle verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 21 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

Per la verifica agli stati limite ultimi, secondo il *D.M. 04/04/2014 (art. 2.4.3)*, la sollecitazione massima a cui è sottoposto il materiale non deve essere superiore alla metà della resistenza di calcolo del materiale stesso.

La sollecitazione massima di esercizio a cui è sottoposto il tubo di protezione in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario equivale alla somma delle singole sollecitazioni ottenute per ciascuna condizione di carico (dalla A alla E, vedi paragrafo precedente, in accordo al D.M. 04/04/2014) ovvero applicando la combinazione a valori caratteristici al caso in esame, si combinano opportunamente le condizioni di carico, vale a dire del tipo:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1}$$

essendo:

$G_1$ : peso proprio della tubazione (=  $G_p$  +  $G_{linea}$ );

$G_2$ : peso proprio e carichi di tutti gli elementi non strutturali (terreno, falda);

$Q_{k1}$ : carichi variabili (carico mobile per ferrovie);

La seguente tabella riporta i momenti flettenti e gli sforzi assiali totali per le tre sezioni sollecitate:

Sezione	Totale		
Verticale superiore	M	1921,08	Nm/m
	N	36691,41	N/m
Orizzontale mediana	M	-2027,09	Nm/m
	N	50054,70	N/m
Verticale inferiore	M	3860,73	Nm/m
	N	63648,92	N/m

**Tabella 9.** Momenti flettenti e sforzi assiali totali

I valori delle sollecitazioni unitarie dovute al momento flettente totale e allo sforzo assiale totale sono:

$$\sigma_{(M_{tot})} = \frac{M_{tot}}{W}$$

Dove:

$\sigma_{(M_{tot})}$ : sollecitazione unitaria dovuta al momento flettente [N/m<sup>2</sup>];

$M_{tot}$ : momento flettente totale [Nm/m];

$W$ : modulo di rigidezza flessionale della parete del tubo di protezione [m<sup>3</sup>/m]

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 22 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

$$W = \frac{t^2}{6}$$

t: spessore del tubo di protezione.

$$\sigma_{(N_{tot})} = \frac{N_{tot}}{A}$$

Dove:

$\sigma_{(N_{tot})}$ : sollecitazione unitaria dovuta allo sforzo assiale [N/m<sup>2</sup>];

$N_{tot}$ : sforzo assiale totale [N/m];

A: area resistente dello spessore di parete di un metro di tubo [m<sup>2</sup>/m].

$$A = t$$

La sollecitazione unitaria totale agente nelle sezioni in esame è pertanto pari a:

$$\sigma_{tot} = \sigma_{(M_{tot})} + \sigma_{(N_{tot})}$$

Sezione	$\sigma_{(M_{tot})}$	$\sigma_{(N_{tot})}$	$\sigma_{tot}$	
Verticale superiore	22.17	1.61	23.78	N/mm <sup>2</sup>
Orizzontale mediana	-23.40	2.20	25.59	N/mm <sup>2</sup>
Verticale inferiore	44.56	2.79	<b>47.35</b>	N/mm <sup>2</sup>

**Tabella 10.** Sollecitazioni unitarie totali

Il valore massimo della sollecitazione sul tubo di protezione è pari a 47.35 N/mm<sup>2</sup>.

La resistenza di calcolo dell'acciaio (in accordo con il *D.M. 04/04/2014*) è pari a:

$$\frac{f_d}{2} = \frac{f_k}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{450}{2 \cdot 1.05} = 214.3 \text{ N/mm}^2$$

Dove:

$f_d$ : resistenza di calcolo dell'acciaio [N/mm<sup>2</sup>];

$f_k$ : tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio [N/mm<sup>2</sup>];



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE</b> <b>NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 23 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

$\gamma_{M0}$ : coefficiente parziale di sicurezza relativo alla resistenza dell'acciaio, pari a 1.05 (in accordo con il *D.M. del 17/01/2018*).

La sollecitazione massima a cui è sottoposto il materiale, nella verifica delle tensioni di esercizio, non deve essere superiore alla metà della resistenza di calcolo del materiale stesso, in accordo all'art. 2.4.3 del *D.M. 04/04/2014*.

$$47.35 \text{ N/mm}^2 < 214.3 \text{ N/mm}^2$$

L'analisi di resistenza risulta verificata.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 24 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 8.5. Verifica intercapedine tra tubo di linea e tubo di protezione

Per i gasdotti, in accordo con il *punto 2.4.4 del D.M. 04/04/2014*, la dimensione dell'intercapedine  $I'$  tra la parte superiore del tubo di linea e la parte interna del tubo di protezione deve essere compresa tra 20mm e 140mm. Deve risultare cioè che:

$$20mm < I' < 140mm$$

Nel caso specifico, il valore dell'intercapedine tra tubo di linea DN 900 (36") e tubo di protezione DN 1050 (42") risulta pari a:

$$I = D_{iTP} - (D_e + 2 \cdot POL)$$

con:

- $I$ : valore dell'intercapedine tra tubo di linea e tubo di protezione [mm];
- $D_{iTP}$ : diametro interno del tubo di protezione [mm];
- $D_e$ : diametro esterno del tubo di linea [mm];
- $POL$ : spessore del rivestimento in polietilene del tubo di linea [mm]

$$I = 1036.6 - (927.2 + 2 \cdot 3.3) = 102.8 \text{ mm}$$

L'intercapedine libera nella parte superiore tra tubo di linea e tubo di protezione  $I'$  viene calcolata considerando dei collari distanziatori di altezza pari a 41mm vale:

$$I' = 102.8 \text{ mm} - 41 \text{ mm} = 61.8 \text{ mm}$$

L'intercapedine risulta essere compresa tra i valori limiti massimo e minimo:

$$20mm < \underline{61.8mm} < 140mm \quad \underline{\text{Verificato!}}$$

Pertanto, in accordo con il *punto 2.4.4*, l'intercapedine, trattandosi di un gasdotto, soddisfa le prescrizioni del *D.M. 04/04/2014*.

I collari distanziatori previsti infine non occuperanno più di un quarto della sezione dell'intercapedine e saranno posti in modo da garantire il libero deflusso dei liquidi e dei gas, in accordo al *punto 2.4.6 del D.M. 04/04/2014*.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 25 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 9. CONGEGNI DI INTERCETTAZIONE

La condotta in attraversamento è sezionabile mediante due impianti in progetto (PIL N.3 e PIL N.4).

La recinzione delle camerette contenenti ciascuna una valvola di intercettazione saranno costruite rispettivamente a 184 m > 20 m a monte ed a 1372 m > 20 m a valle dell'attraversamento (le predette distanze sono misurate sull'ortogonale all'asse del binario).

Le camerette avranno inoltre una distanza di 1561 m < 2000 m tra loro misurata sull'asse della condotta, rimanendo nel rispetto dell'art. 2.5.2 del D.M. 04 aprile 2014 (vedi DIS-AT-13E-37259).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22178	UNITA' 20
	LOCALITA' RAVENNA	SPC. REL-AT-E-35057	
	PROGETTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 26 di 27	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

10. CRONOPROGRAMMA

La durata del cantiere per la realizzazione dell'attraversamento della linea ferroviaria con metodologia “spingitubo”, è stimata in circa 4 settimane. Di seguito si riporta un crono programma dei lavori, costruito in relazione alle fasi lavorative di cantiere indicate nel paragrafo 4.2 e considerando anche la bonifica da ordigni bellici.

Pos	Tempo disponibile	SETTIMANA 1	SETTIMANA 2	SETTIMANA 3	SETTIMANA 4	SETTIMANA 5	SETTIMANA 6	SETTIMANA 7	SETTIMANA 8
1	Bonifica da ordigni bellici	<div></div>							
2	Impianto Cantiere								
3	Apertura pista e sistemazione aree cantiere								
4	Realizzazione attraversamento: tubo di protezione e inserimento tubo di linea								
5	Collaudi e collegamenti alla linea								
6	Rinterro								
7	Ripristini morfologici								
8	Espianto Cantiere								

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITA'</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA</b>	<b>SPC. REL-AT-E-35057</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE</b> <b>NAZIONALE GASDOTTI</b>	Fg. 27 di 27	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-5057

## 11. CONCLUSIONI

L'attraversamento in oggetto, progettato conformemente a quanto previsto nel *D.M. 04/04/2014*, in particolare per quanto concerne la scelta progettuale dei materiali delle condotte e delle modalità di posa in opera della condotta, è tale da garantire la massima sicurezza sia dell'infrastruttura che del metanodotto nelle fasi di costruzione e di esercizio di entrambe.