Metanodotto DER. PER FIORANO MODENESE-MARANELLO DN 250 (10")

Attraversamento Ferrovia: MODENA - SASSUOLO alla prog. km 13+276

In Comune di Fiorano Modenese (MO)

RELAZIONE TECNICA

INDICE

1. SCOPO 3
2. CARATTERISTICHE DELL'ATTRAVERSAMENTO 4
   2.1 Caratteristiche tecniche e sistemi di prova della condotta 4
   2.2 Tubo di protezione e tubi di sfiato 5
   2.3 Valori utilizzati per il calcolo del tubo di protezione 6
   2.4 Sezione verticale superiore 7
   2.5 Sezione orizzontale mediana 8
   2.6 Sezione verticale inferiore 9
3. TABELLE RIEPILOGATIVE 10
4. APPARECCHIATURE DI CONTROLLO 11
5. CONGEGNI DI INTERCETTAZIONE 11
6. PROTEZIONE CATODICA 11

1. SCOPO

La relazione tecnica ha lo scopo di descrivere il progetto e le modalità esecutive relative all'attraversamento della Ferrovia "MODENA - SASSUOLO" al km 13+276 con il Metanodotto DER. PER FIORANO MODENESE-MARANELLO DN 250 (10"), nel Comune di Fiorano Modenese (MO).
Il calcolo di verifica del tubo di protezione è stato rieseguito in accordo al Decreto Ministeriale del 4 Aprile 2014 *"Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto"* di seguito citato brevemente come D.M. 04.04.2014.
La metodologia realizzativa dell'attraversamento prevede l'inserimento, mediante macchina spingitubo, di un tubo di protezione posto in opera per consentire l'attraversamento in sotterraneo della ferrovia da parte della condotta; il tubo di protezione è stato dimensionato per sostenere le sollecitazioni dovute ai carichi statici, peso del tubo di linea e peso del terreno, ed ai carichi mobili, treno.
La relazione è suddivisa nelle seguenti parti: Caratteristiche dell'attraversamento e delle tubazioni; sforzi e momenti come descritti nel Decreto Ministeriale; congegni di intercettazione.
Nella relazione sono descritti i modelli, le metodologie di calcolo adottate e i risultati ottenuti.

2. CARATTERISTICHE DELL'ATTRAVERSAMENTO

L'attraversamento è da classificarsi tra gli attraversamenti interrati di cui al punto 2.1.1 del DM. 04.04.2014.

Fluido trasportato:			Gas naturale	
Diametro esterno della condotta:	De_c	=	273,1	mm
Diametro interno della condotta:	Di_c	=	257,5	mm
Spessore della condotta:	S_c	=	7,8	mm
Carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato per la condotta:	σ_c	=	359	N/mm^2
Pressione massima di esercizio:	P	=	12	bar
Pressione di collaudo:	Pc	=	18	bar
Diametro nominale tubo di protezione:	DN	=	400	mm
Diametro esterno tubo di protezione:	De	=	406,4	mm
Diametro interno del tubo di protezione:	Di	=	384,2	mm
Spessore del tubo di protezione:	S	=	11,1	mm
Carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato per il tubo di protezione:	σ_p	=	359	N/mm^2
Tipo di ferrovia:			Binario singolo	

Il tracciato dell'attraversamento è rettilineo e forma con l'asse del binario un angolo di circa 81 gradi.
La profondità di interramento è rispondente a quanto prescritto nell'art. 2.1.1.4 del DM. 04.04.2014.

2.1 Caratteristiche tecniche e sistemi di prova della condotta

La condotta sarà costituita da tubi in acciaio aventi caratteristiche meccaniche e chimiche rispondenti a quanto richiesto dal DM. 17.04.2008 del Ministero dell'Interno.
Lo spessore della condotta interessante l'attraversamento sarà di 7,8 mm, superiore pertanto a quello calcolato con la formula di cui all'art. 2.3.3 del DM 04.04.2014, di seguito riportata:

$$S_{min} = (200 \cdot \sigma_c / K_S + P \cdot De) / (200 \cdot \sigma_c / K_S + 2 \cdot P)$$ dove:

S_{min} = Spessore minimo del tubo (mm);
σ_c = Carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato (daN/mm^2);
K_S = Coefficiente di sicurezza minimo pari a 2,5 rispetto al carico di snervamento;
P = Pressione massima che può aversi nel più sfavorevole caso (daN/cm^2)
De = Diametro esterno della condotta (mm)

$$S = (200 \cdot 35,9/2,5 + 12 \cdot 273,1) / (200 \cdot 35,9/2,5 + 2 \cdot 12) = 2,12 \text{ mm}$$

Il coefficiente di sicurezza rispetto al carico di snervamento risulta pertanto superiore a 2,5.
I tubi, che avranno le estremità calibrate e smussate per consentire l'unione mediante saldatura elettrica di testa, saranno rivestiti all'esterno con materiali aventi caratteristiche tali da garantire la buona conservazione.

In conformità alle prescrizioni di cui agli artt. 2.3.6 e 2.3.7 del D.M. 04.04.2014, la condotta, prima della messa in esercizio, sarà sottoposta ad una prova idraulica alla pressione di 18 bar pari a 1,5 volte la pressione massima di esercizio.
La pressione verrà controllata con manometro registratore e il collaudo sarà considerato positivo, e quindi verbalizzato, se la pressione si manterrà costante per due ore dopo raggiunta la stabilizzazione del sistema.

2.2 Tubo di protezione e tubi di sfiato

Il tubo di protezione sarà in acciaio di qualità, avrà il diametro interno di 384,2 mm e lo spessore di 11,1 mm; il calcolo dello spessore del tubo di protezione è stato eseguito determinando le sollecitazioni agenti sullo stesso mediante le formule contenute nel DM. 04.04.2014.
I carichi gravanti su un tratto del tubo di protezione di un metro di lunghezza sono stati assunti pari a:

- *carico uniformemente ripartito, dovuto ai carichi mobili e al peso della massicciata*:

  $p = \gamma_t \cdot H + \alpha$ (N/m^2) dove:

  γ_t = peso specifico del terreno (N/m^3);
  H = profondità di interramento del tubo di protezione (m);
  α = carico mobile transitante come indicato nel DM paragrafo 2.4.3 punto B (N/m^2)

- *pressione uniforme dovuta alle spinte orizzontali*:

  $q = \gamma_t \cdot H \cdot K + \alpha \cdot K'$ (N/m^2) dove:

  K = coefficiente di spinta passiva variabile da 1 a 4 (prudenzialmente si adotta 1);
  K' = coefficiente di spinta attiva = 0,333.

- *pressione variabile dovuta alle spinte orizzontali*:

  $z = \gamma_t \cdot D \cdot K$ (N/m^2) dove:

  D = diametro esterno del tubo di protezione (m)

- *reazione totale*:

  $Q = \gamma_t \cdot H \cdot D + \alpha \cdot D$ + peso tubo di protezione (N).

Con le espressioni di cui sopra si è tenuto conto del peso del terreno sovrastante la tubazione, del carico mobile transitante sul binario ed inoltre della collaborazione offerta dal terreno circostante al tubo, considerando che l'attraversamento viene eseguito mediante trivella o spingitubo, senza disturbare pertanto l'equilibrio del terreno immediatamente circostante il tubo di protezione.
Il diametro del tubo di protezione è tale da assicurare un'intercapedine non inferiore a 2 cm. e non maggiore di 14 cm. ai sensi dell'art. 2.4.4 del DM. 04.04.2014.

$I = Di - (De_C + 2 \cdot Sr + H_d)$ dove:

I = Intercapedine superiore (cm);
Di = Diametro interno del tubo di protezione (cm);
De_C = Diametro esterno della condotta (cm);
Sr = Spessore del rivestimento della condotta (cm)
H_d = Altezza del distanziatore isolante (cm)

$I = 38,42 - (27,31 + 2 \cdot 0,25 + 4,1) = 6,51$ cm

Il tubo si estenderà da una parte e dall'altra della ferrovia per una lunghezza non inferiore a quella prevista dall'art. 2.4.7 del DM. 04.04.2014.
Al fine di mantenere centrata la condotta nel tubo di protezione, saranno impiegati appositi distanziatori di materiale isolante non deteriorabile che non occuperanno più di un quarto dell'intercapedine in modo da garantire il libero deflusso del fluido in caso di perdite.
Il tubo di protezione sarà posato con una pendenza uniforme non inferiore allo 0.2%, le sue estremità saranno chiuse con adeguato sistema che assicuri la chiusura stagna dell'intercapedine, verrà munito ai due estremi di un tubo di sfiato e, nell'estremità più bassa, di un tubo di spurgo dell'intercapedine.

2.3 Valori utilizzati per il calcolo del tubo di protezione

Diametro esterno:	De	=	406,4	mm
Spessore:	s	=	11,1	mm
Raggio medio:	r	=	197,65	mm
Altezza rinterro:	H	=	3	m
Peso specifico medio acciaio:	γ_a	=	77080	N/m^3
Peso specifico medio terreno:	γ_t	=	18500	N/m^3
Carico mobile transitante:	α	=	21126,76	N/m^2
Carico verticale uniforme:	p	=	76626,76	N/m^2
Carico laterale uniforme:	q	=	62542,25	N/m^2
Carico laterale variabile:	z	=	7518,40	N/m^2
Reazione radiale totale:	Q	=	32704,74	N
Modulo resistente:	W	=	20535,00	mm^3
Area resistente:	A	=	11100,00	mm^2

Di seguito vengono riportati gli sforzi assiali ed i momenti flettenti calcolati su tre sezioni del tubo di protezione: verticale superiore, orizzontale mediana e verticale inferiore utilizzando i 5 schemi di carico previsti dal DM:

- Schema A: peso proprio della tubazione
- Schema B: carico orizzontale uniforme
- Schema C: carico laterale uniforme
- Schema D: carico laterale variabile
- Schema E: reazione radiale totale

2.4 Sezione verticale superiore

Schema A

M	$= 1/2 \cdot \gamma_a \cdot s \cdot r^2$	=	16,71	Nm
N	$= -1/2 \cdot \gamma_a \cdot s \cdot r$	=	-84,55	N

Schema B

M	$= 0.29941 \cdot p \cdot r^2$	=	896,27	Nm
N	$= -0.10610 \cdot p \cdot r$	=	-1606,91	N

Schema C

M	$= -0.25 \cdot q \cdot r^2$	=	-610,81	Nm
N	$= q \cdot r$	=	12361,48	N

Schema D

M	$= -0.10417 \cdot z \cdot r^2$	=	-30,60	Nm
N	$= 0.31250 \cdot z \cdot r$	=	464,38	N

Schema E

M	$= -0.0073038 \cdot Q \cdot r$	=	-47,21	Nm
N	$= 0.014817 \cdot Q$	=	484,59	N

Mt	=	224,37	Nm
Nt	=	11618,97	N

Calcolo delle tensioni:

σ_{Mt}	$= (Mt \cdot 1000) / W$	=	10,93	N/mm^2
σ_{Nt}	$= Nt / A$	=	1,05	N/mm^2
σ_t	$= \lvert \sigma_{Mt} \rvert + \lvert \sigma_{Nt} \rvert$	=	11,97	N/mm^2

2.5 Sezione orizzontale mediana

Schema A

M	$= -0.5708 \cdot \gamma_a \cdot s \cdot r^2$	=	-19,08	Nm
N	$= 1.5708 \cdot \gamma_a \cdot s \cdot r$	=	265,63	N

Schema B

M	$= -0.30669 \cdot p \cdot r^2$	=	-918,07	Nm
N	$= p \cdot r$	=	15145,28	N

Schema C

M	$= 0.25 \cdot q \cdot r^2$	=	610,81 Nm	
N	=		0	N

Schema D

M	$= 0.125 \cdot z \cdot r^2$	=	36,71	Nm
N	=		0	N

Schema E

M	$= 0.0075118 \cdot Q \cdot r$	=	48,56	Nm
N	=		0	N

Mt	=	-241,06	Nm
Nt	=	15410,91	N

Calcolo delle tensioni:

σ_{Mt}	$= (Mt \cdot 1000) / W$	=	-11,74	N/mm^2
σ_{Nt}	$= Nt / A$	=	1,39	N/mm^2
σ_t	$= \lvert \sigma_{Mt} \rvert + \lvert \sigma_{Nt} \rvert$	=	13,13	N/mm^2

2.6 Sezione verticale inferiore

Schema A

M	$= 1.5 \cdot \gamma_a \cdot s \cdot r^2$	=	50,14	Nm
N	$= 0.5 \cdot \gamma_a \cdot s \cdot r$	=	84,55	N

Schema B

M	$= 0.58721 \cdot p \cdot r^2$	=	1757,79	Nm
N	$= 0.10610 \cdot p \cdot r$	=	1606,91	N

Schema C

M	$= -0.25 \cdot q \cdot r^2$	=	-610,81	Nm
N	$= q \cdot r$	=	12361,48	N

Schema D

M	$= -0.14583 \cdot z \cdot r^2$	=	-42,83	Nm
N	$= 0.68750 \cdot z \cdot r$	=	1021,63	N

Schema E

M	$= -0.11165 \cdot Q \cdot r$	=	-721,72	Nm
N	$= 0.11916 \cdot Q$	=	3897,10	N

Mt	=	432,57	Nm
Nt	=	18971,67	N

Calcolo delle tensioni:

σ_{Mt}	$= (Mt \cdot 1000) / W$	=	21,06	N/mm^2
σ_{Nt}	$= Nt / A$	=	1,71	N/mm^2
σ_t	$= \lvert \sigma_{Mt} \rvert + \lvert \sigma_{Nt} \rvert$	=	22,77	N/mm^2

3. TABELLE RIEPILOGATIVE

SEZIONI		Schemi di carico Valori di M (Nm) – Valori di N (N)					
		A	**B**	**C**	**D**	**E**	**Totale**
Verticale superiore	**M**	16,71	896,27	-610,81	-30,60	-47,21	224,37
	N	-84,55	-1606,91	12361,48	464,38	484,59	11618,97
Orizzontale mediana	**M**	-19,08	-918,07	610,81	36,71	48,56	-241,06
	N	265,63	15145,28	0,00	0,00	0,00	15410,91
Verticale inferiore	**M**	50,14	1757,79	-610,81	-42,83	-721,72	432,57
	N	84,55	1606,91	12361,48	1021,63	3897,10	18971,67

SEZIONI	Sollecitazioni unitarie Valori di σ (N/mm^2)				
	σ_{Mt}	σ_{Nt}	σ_t	Modulo resistente (mm^3)	Area resistente (mm^2)
Verticale superiore	10,93	1,05	11,97	20535,00	11100,00
Orizzontale mediana	-11,74	1,39	13,13		
Verticale inferiore	21,06	1,71	22,77		

σ massima = 22,77 N/mm^2

σ ammissibile = 359 / 2 = 179,50 N/mm^2

Coefficiente di sicurezza Ks = 359 / 22,77 = 15,76

4. APPARECCHIATURE DI CONTROLLO

Le prese manometro, le prese per il controllo dello stato elettrico della condotta e del tubo di protezione, il terminale del tubo di spurgo dell'intercapedine fra il tubo di protezione e la condotta saranno ubicati come indicato nell'allegato disegno numero BO-6681/1fs.

5. CONGEGNI DI INTERCETTAZIONE

Le camerette contenenti ciascuna una saracinesca di intercettazione saranno costruite rispettivamente a 220,30 m. a monte ed a 244,08 m. a valle dell'attraversamento ed avranno una distanza di 465,88 m. tra loro misurata sull'asse della condotta.

6. PROTEZIONE CATODICA

La condotta sarà interamente protetta catodicamente ai sensi del DM. 04.04.2014; non è quindi necessaria l'installazione dei giunti isolanti.

Pavia, 07.06.2019

Geom. Gatti Alberto