



Metanodotto: **RAVENNA - MESTRE DN 550 (22")**  
Variante DN 550(22") per rifacimento attraversamento  
ferrovia Mestre - Adria in comune di Dolo (VE)

**Attraversamento ferrovia "Mestre-Adria" Km. 14+468**

**RELAZIONE TECNICA  
ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO**

*D.M. 4 Aprile 2014*

						Foglio
0	03/11/15	EMISSIONE	AGHIRARDI	AGHIRARDI	DE MARTIN	<b>1</b>
INDICE	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	di 11

**INDICE**

<b>1.</b>	<b>SCOPO</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CARATTERISTICHE DELL'ATTRAVERSAMENTO</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>TABELLE RIEPILOGATIVE</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>APPARECCHIATURE DI CONTROLLO</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>CONGEGNI DI INTERCETTAZIONE</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>PROTEZIONE CATODICA</b>	<b>11</b>
<b>7.</b>	<b>TUBAZIONI PORTACAVI</b>	<b>11</b>



## 1. SCOPO

La relazione tecnica ha lo scopo di descrivere il progetto e le modalità esecutive relative all'attraversamento della Ferrovia "Mestre-Adria" al km 14+468 con il metanodotto "Ravenna-Mestre DN 550(22")", in località Brentasecca nel comune di Dolo (VE).

Il calcolo di verifica del tubo di protezione viene eseguito 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 DM.

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 deve quindi essere 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 e tubazioni portacavi.

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.

Fluido trasportato

Gas naturale

Diametro esterno della condotta	$De_c$	=	559	mm
Diametro interno della condotta	$Di_c$	=	530,4	mm
Spessore della condotta	$S_c$	=	14,3	mm
Carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato per la condotta	$\sigma_c$	=	414	N/mm <sup>2</sup>
Pressione massima di esercizio	$P$	=	64	Bar
Pressione di collaudo	$P_c$	=	96	Bar
Diametro nominale tubo di protezione	$DN$	=	750(30")	mm(inch)
Diametro esterno tubo di protezione	$De$	=	762	mm
Diametro interno tubo di protezione	$Di$	=	733,4	mm
Spessore del tubo di protezione	$S$	=	17,5	mm
Carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato per il tubo di protezione	$\sigma_p$	=	413,684	N/mm <sup>2</sup>

Tipo di ferrovia

Binario semplice

Il tracciato dell'attraversamento è rettilineo e forma con l'asse del binario un angolo di circa 86 gradi.

L'attraversamento sarà eseguito con trivella o spingitubo e la profondità di interrimento è rispondente a quanto prescritto nell'art. 2.1.1.4 del DM



## 2.1. Caratteristiche tecniche e sistemi di prova della condotta in opera

La condotta sarà costituita da tubi in acciaio aventi caratteristiche meccaniche e chimiche rispondenti a quanto richiesto dal D.M. 17.04.2008 del Ministero dell'Interno. Lo spessore della condotta interessante l'attraversamento sarà di 14,3 mm, superiore pertanto a quello calcolato con la formula di cui all'art. 2.3.3. del DM che risulta 11,4 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 DM, la condotta, prima della messa in esercizio, sarà sottoposta ad una prova idraulica alla pressione di 96 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 727 mm e lo spessore di 17,5 mm; il calcolo dello spessore del tubo di protezione è stato eseguito determinando le sollecitazioni agenti sullo stesso mediante le formule contenute nel DM.

I carichi gravanti su un tratto del tubo di protezione di un metro sono stati assunti pari a:

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

$$p = \gamma_t * H + \alpha \quad (\text{N/m}^2)$$

dove:

$\gamma_t$  = peso specifico del terreno (N/m<sup>3</sup>);

H = profondità di interrimento tubo di protezione (m);

$\alpha$  = carico mobile transitante come indicato nel DM paragrafo 2.4.3 punto B (N/m<sup>2</sup>)

- *pressione uniforme dovuta alle spinte orizzontali*

$$q = \gamma_t * H * K + \alpha * K' \quad (\text{N/m}^2)$$

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*

$$z = \gamma_t * D * K \quad (\text{N/m}^2)$$

dove:

K = coefficiente di spinta passiva variabile da 1 a 4 (prudenzialmente si adotta 1);

D = Diametro esterno del tubo di protezione (m)



- *reazione totale*

$$Q = \gamma_t * H * D + \alpha * D + \text{peso tubo protezione} \quad (N)$$

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, tenuto conto che l'attraversamento viene eseguito mediante trivella o spingitubo e pertanto senza disturbare 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.

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.

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.

N.B.: Per la presenza di tubazioni portacavi saldate al tubo di protezione la sollecitazione massima viene maggiorata di 1,5 volte.

### 2.3. Valori utilizzati per il calcolo del tubo di protezione

diametro esterno	De =	762	mm
spessore	s =	17,5	mm
raggio medio	r =	372,3	mm
altezza rinterro	H =	13,8	m
peso specifico medio acciaio	$\gamma_a$ =	77080	N/m <sup>3</sup>
peso specifico medio terreno	$\gamma_t$ =	19200	N/m <sup>3</sup>
carico mobile transitante	$\alpha$ =	6313	N/m <sup>2</sup>
carico verticale uniforme	p =	271273	N/m <sup>2</sup>
carico laterale uniforme	q =	267064	N/m <sup>2</sup>
carico laterale variabile	z =	14630	N/m <sup>2</sup>
reazione radiale totale	Q =	209865	N
modulo resistente	W =	51042	mm <sup>3</sup>
area resistente	A =	17500	mm <sup>2</sup>

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

$$M = \frac{1}{2} * \gamma_a * s * r^2 = 93,46 \quad \text{Nm}$$

$$N = -\frac{1}{2} * \gamma_a * s * r = -251,06 \quad \text{N}$$

## Schema B

$$M = 0.29941 * p * r^2 = 11254,93 \quad \text{Nm}$$

$$N = -0.10610 * p * r = -10714,14 \quad \text{N}$$

## Schema C

$$M = -\frac{1}{4} * q * r^2 = -9251,78 \quad \text{Nm}$$

$$N = q * r = 99414,74 \quad \text{N}$$

## Schema D

$$M = -0.10417 * z * r^2 = -211,19 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0.31250 * z * r = 1701,93 \quad \text{N}$$

## Schema E

$$M = -0.0073038 * Q * r = -570,59 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0.014817 * Q = 3109,57 \quad \text{N}$$

$$Mt = 1314,83 \quad \text{Nm}$$

$$Nt = 93261,04 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{Mt} = \frac{Mt * 1000}{W} = 25,76 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{Nt} = \frac{Nt}{A} = 5,33 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = |\sigma_{Mt}| + |\sigma_{Nt}| = 31,09 \quad \text{N/mm}^2$$

**2.5. Sezione orizzontale mediana**

Schema A

$$M = -0.5708 * \gamma_a * s * r^2 = -106,69 \quad \text{Nm}$$

$$N = 1.5708 * \gamma_a * s * r = 788,74 \quad \text{N}$$

Schema B

$$M = -0.30669 * p * r^2 = -11528,59 \quad \text{Nm}$$

$$N = p * r = 100981,49 \quad \text{N}$$

Schema C

$$M = \frac{1}{4} * q * r^2 = 9251,78 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0$$

Schema D

$$M = \frac{1}{8} * z * r^2 = 253,42 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0$$

Schema E

$$M = 0.0075118 * Q * r = 586,84 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0$$

$$M_t = -1543,24 \quad \text{Nm}$$

$$N_t = 101770,23 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{M_t} = \frac{M_t * 1000}{W} = -30,23 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{N_t} = \frac{N_t}{A} = 5,82 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = |\sigma_{M_t}| + |\sigma_{N_t}| = 36,05 \quad \text{N/mm}^2$$





**2.6. Sezione verticale inferiore**

Schema A

$$M = \frac{3}{2} * \gamma_a * s * r^2 = 280,38 \quad \text{Nm}$$

$$N = \frac{1}{2} * \gamma_a * s * r = 251,06 \quad \text{N}$$

Schema B

$$M = 0.58721 * p * r^2 = 22073,43 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0.10610 * p * r = 10714,14 \quad \text{N}$$

Schema C

$$M = -\frac{1}{4} * q * r^2 = -9251,78 \quad \text{Nm}$$

$$N = q * r = 99414,74 \quad \text{N}$$

Schema D

$$M = -0.14583 * z * r^2 = -295,65 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0.68750 * z * r = 3744,24 \quad \text{N}$$

Schema E

$$M = -0.11165 * Q * r = -8722,36 \quad \text{Nm}$$

$$N = 0.11916 * Q = 25007,54 \quad \text{N}$$

$$Mt = 4084,02 \quad \text{Nm}$$

$$Nt = 139131,71 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{Mt} = \frac{Mt * 1000}{W} = 80,01 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{Nt} = \frac{Nt}{A} = 7,95 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = |\sigma_{Mt}| + |\sigma_{Nt}| = 87,96 \quad \text{N/mm}^2$$



**3. TABELLE RIEPILOGATIVE**

SEZIONI		<b>SCHEMI DI CARICO</b>					
		Valori di M (Nm) – Valori di N (N)					
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Totale</b>
<b>Verticale Superiore</b>	<b>M</b>	93,46	11254,93	-9251,78	-211,19	-570,59	1314,83
	<b>N</b>	-251,06	-10714,14	99414,74	1701,93	3109,57	93261,04
<b>Orizzontale Mediana</b>	<b>M</b>	-106,69	-11528,59	9251,78	253,42	586,84	-1543,24
	<b>N</b>	788,74	100981,49	0,00	0,00	0,00	101770,23
<b>Verticale Inferiore</b>	<b>M</b>	280,38	22073,43	-9251,78	-295,65	-8722,36	4084,02
	<b>N</b>	251,06	10714,14	99414,74	3744,24	25007,54	139131,71

SEZIONI		<b>SOLLECITAZIONI UNITARIE</b>				
		Valori di $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )				
		$\sigma_{Mt}$	$\sigma_{Nt}$	$\sigma_t$	Modulo Resistente	Area Resistente
<b>Verticale Superiore</b>		25,76	5,33	31,09	51041,67 mm <sup>3</sup>	17500,00 mm <sup>2</sup>
<b>Orizzontale Mediana</b>		-30,23	5,82	36,05		
<b>Verticale Inferiore</b>		80,01	7,95	87,96		

$\sigma$  massima (maggiorata per la presenza delle tubazioni portacavi) = 131,95 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma$  ammissibile =  $\frac{413,684}{2}$  = 207 N/mm<sup>2</sup>

coefficiente di sicurezza Ks =  $\frac{413,684}{131,95}$  = 3,14



#### **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 7774/1 VEN.

#### **5. CONGEGNI DI INTERCETTAZIONE**

Le camerette contenenti ciascuna una saracinesca di intercettazione saranno costruite rispettivamente a 200,5 m a monte ed a 550 m a valle dell'attraversamento ed avranno una distanza di 752 m tra loro misurata sull'asse della condotta.

#### **6. PROTEZIONE CATODICA**

La condotta sarà interamente protetta catodicamente ai sensi del D.M. 04 Aprile 2014, non è quindi necessaria l'installazione dei giunti isolanti.

#### **7. TUBAZIONI PORTACAVI**

Con la condotta sarà inoltre eseguita la messa in opera di una tubazione portacavi di diametro 114,3 mm e spessore minimo di 4 mm.

I lavori verranno eseguiti contemporaneamente a quelli del metanodotto e la tubazione portacavi sarà saldata al tubo di protezione nella posizione indicata nell'allegato disegno.

La saldatura longitudinale del tubo portacavi al tubo di protezione verrà eseguita a tratti alterni, con la lunghezza del tratto saldato pari almeno al 30% della lunghezza totale del tubo di protezione.

La lunghezza massima di ogni tratto non saldato sarà di tre metri.

La lunghezza del singolo cordone di saldatura sarà non minore di mm. 25.