

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	<b>Fg. 1 di 30</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

**METANODOTTO:**

**MATAGIOLA – MASSERIA MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar**

**VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO**

00	Emissione	M. Bonetta	F. Balducci	G. Capriotti	31/08/2023
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 2 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1	<b>Scopo del documento .....</b>	<b>4</b>
1.2	<b>Abbreviazioni.....</b>	<b>4</b>
1.3	<b>Unità di misura.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI.....</b>	<b>5</b>
2.1	<b>Norme e standard .....</b>	<b>5</b>
2.2	<b>Documenti di progetto .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>DATI DI CALCOLO .....</b>	<b>6</b>
3.1	<b>Dati sismici .....</b>	<b>6</b>
3.2	<b>Dati geotecnici e condizioni topografiche .....</b>	<b>6</b>
3.3	<b>Condizioni di progetto.....</b>	<b>6</b>
3.4	<b>Parametri meccanici.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO .....</b>	<b>8</b>
4.1	<b>Premessa .....</b>	<b>8</b>
4.2	<b>Criterio di verifica .....</b>	<b>8</b>
4.3	<b>Metodologia di calcolo tratto rettilineo .....</b>	<b>9</b>
4.3.1	Massima deformazione indotta dalle onde sismiche .....	9
4.3.2	Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione.....	10
4.3.3	Applicazione del criterio di verifica .....	11
4.4	<b>Metodologia di calcolo tratto in curva .....</b>	<b>13</b>
4.4.1	Applicazione del criterio di verifica .....	15
4.5	<b>Parametri geotecnici e topografici .....</b>	<b>16</b>
4.6	<b>Parametri sismici.....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>SINTESI DI CALCOLO.....</b>	<b>18</b>
5.1	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN1400 (56”) - Macroarea (1) .....</b>	<b>20</b>
5.1.1	Dati di ingresso.....	20
5.1.2	Verifica tratto rettilineo .....	21
5.1.3	Verifica tratto in curva .....	22
5.2	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN1400 (56”) - Macroarea (2) .....</b>	<b>23</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 3 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

5.2.1	Dati di ingresso.....	23
5.2.2	Verifica tratto rettilineo .....	24
5.2.3	Verifica tratto in curva .....	25
<b>5.3</b>	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN1400 (56”) - Macroarea (3) .....</b>	<b>26</b>
5.3.1	Dati di ingresso.....	26
5.3.2	Verifica tratto rettilineo .....	27
5.3.3	Verifica tratto in curva .....	28
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>29</b>
<b>6.1</b>	<b>Sintesi dei risultati.....</b>	<b>29</b>
6.1.1	Macroarea (1) .....	29
6.1.2	Macroarea (2) .....	30
6.1.3	Macroarea (3) .....	30

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 4 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo del documento

La presente relazione di verifica allo scuotimento sismico si riferisce al Metanodotto Matagiola – Masseria Manampola DN1400 (56”), DP 75 bar.

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo il tracciato, calcolato in accordo a quanto previsto dalle norme tecniche NTC-2018 (Rif.[3]). Le sollecitazioni calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle “Guidelines For The Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline Systems” (Rif.[4]) e nel Manuale per la Progettazione di Gasdotti In Aree a Rischio Sismico (Rif.[10]), vengono confrontate con i valori ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1], [2]).

### 1.2 Abbreviazioni

ALA	American Lifelines Alliance
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASME	American Society of Mechanical Engineers
D.M.	Decreto Ministeriale
DN	Diametro Nominale
EN	European Norm
FEMA	Federal Emergency Management Agency
I.N.G.V.	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
M.A.S.W.	Multichannel Analysis of Surface Waves
NTC	Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
OPCM	Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri
PRCI	Pipeline Research Council
SLV	Stato Limite di Salvaguardia della Vita
SI	Sistema Internazionale delle Unità di misura
UNI	Ente nazionale italiano di Unificazione

### 1.3 Unità di misura

Le unità di misura utilizzate rispettano il Sistema Internazionale delle Unità di misura (SI). Le unità di misura derivate sono: grado centigrado (°C), bar (0,1 MPa).

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 5 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 2 RIFERIMENTI

### 2.1 Norme e standard

- |      |                    |   |
|------|--------------------|---|
| [1]  | ASME B31.8         | Gas Transmission and Distribution Piping Systems  |
| [2]  | EN 1594            | Gas Infrastructure – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements                           |
| [3]  | D.M. 17/01/2018    | Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni   |
| [4]  | ASCE 1984          | Guidelines for The Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems   |
| [5]  | ALA ASCE FEMA 2005 | Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe  |
| [6]  | PRCI 2004          | Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines                              |
| [7]  | UNI EN 1993-4-3    | Progettazione delle Strutture di Acciaio - Parte 4-3: Condotte  |
| [8]  | UNI EN 1998-4      | Progettazione delle Strutture per la Resistenza Sismica - Parte 4: Silos, Serbatoi e Condotte                                 |
| [9]  | GASD A.01.20.01.03 | Curve di Acciaio per Gasdotti - Raggio di Curvatura R=7D - con Tronchetti Diritti ottenute mediante Piegatura di Tubi Diritti |
| [10] | GASD C.04.01.50    | Manuale per la Progettazione di Gasdotti In Aree a Rischio Sismico – SIS 1  |

### 2.2 Documenti di progetto

- |      |                         |   |
|------|-------------------------|---|
| [11] | NR15437-REL-FTE-E-09001 | Relazione generale progetto Fattibilità tecnico economica |
| [12] | NR15437-REL-SIS-E-09001 | Studio sismico  |
| [13] | NR15437-REL-GEO-E-09001 | Relazione sulle indagini geognostiche                     |
| [14] | NR15437-REL-GEO-E-09002 | Relazione sulle indagini geofisiche                       |

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 6 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 3 DATI DI CALCOLO

#### 3.1 Dati sismici

Per la caratterizzazione sismica si rimanda allo Studio sismico (Rif.[12]). Tutti i parametri delle azioni sismiche in fase di progettazione sono riferiti allo SLV (tempo di ritorno  $T_r = 949$  anni) dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali riferite all'area di maggior pericolosità sismica secondo le mappe disponibili anche in formato KML nel sito INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.

#### 3.2 Dati geotecnici e condizioni topografiche

Le indagini geognostiche eseguite hanno permesso di ricostruire le peculiarità del terreno; i dati geotecnici sono in accordo alla Relazione sulle indagini geognostiche (Rif.[13]).

Per la definizione delle categorie di sottosuolo si rimanda alla Relazione sulle indagini geofisiche (Rif.[14]). Le categorie di sottosuolo identificate lungo il tracciato, in accordo alle NTC-2008 (Rif.[3]), sono le seguenti:

- “**A**”: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- “**B**”: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- “**C**”: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Le categorie topografiche considerate sono in accordo a quanto riportato nello Studio Sismico (Rif.[12]). La categoria topografica, in accordo alle NTC-2008 (Rif.[3]), identificata lungo il tracciato è la seguente:

- “**T1**”: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

#### 3.3 Condizioni di progetto

Di seguito si riportano la Pressione e la Temperatura di esercizio utilizzate per la verifica in concomitanza allo scuotimento sismico della condotta in oggetto:

- $\Delta T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta P = 75 \text{ barg}$

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 7 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 3.4 Parametri meccanici

I parametri meccanici sono in accordo alla Relazione generale progetto Fattibilità tecnico economica (Rif.[11]).

#### DN1400 (56”):

- Diametro nominale 1400 (56")
- Diametro interno 1378,4 mm
- Materiale L450 NE/ME
- Spessore in linea 18,7 mm
- Spessore in curva 21,8 mm
- Raggio curva (7DN) 9954 mm

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 8 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 4 VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

### 4.1 Premessa

Lo shaking è provocato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che impartisce movimenti alle particelle di suolo. La tubazione interrata pertanto tende a deformarsi, così come il terreno circostante. Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo, che nello spazio, in funzione della direzione di propagazione del movimento sismico rispetto all'asse della condotta.

Secondo le indicazioni degli studi riportati dalla letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento esercitata sulla tubazione dal terreno circostante, consente di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione (Hindy, Novak 1979). Pertanto la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali (Rif.[4]), distinte come segue:

- onde di compressione (onde P o primarie);
- onde di taglio (onde S o secondarie);
- onde superficiali (onde R o di Rayleigh).

Nei tratti di tubazione rettilinea le onde P determinano le massime sollecitazioni assiali durante la prima parte del moto; le onde S sono responsabili delle massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto. I fenomeni descritti non avvengono contemporaneamente. Le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda, mentre la loro energia decade esponenzialmente con la profondità.

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrate, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le indicazioni del Manuale per la Progettazione di Gasdotti In Aree a Rischio Sismico (Rif.[10]) e della Normativa sismica Americana (Rif.[4]).

Quest'ultima è ritenuta sufficientemente conservativa, poiché considera la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S ed R, anche se trascura (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno. L'interazione tubo-terreno viene invece considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

Il metodo di verifica esclude fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc.).

### 4.2 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (par. 4.3) e tratto in curva (par. 4.4). Le tensioni indotte dal sisma sulla tubazione, in ciascuno dei suddetti scenari, sono calcolate secondo l'approccio proposto dalle ASCE 1984 (Rif.[4]).

Le "tensioni sismiche" così determinate sono quindi combinate con i carichi operativi (tipicamente dovuti a salto termico e pressione) secondo le modalità previste dalla normativa ASME B31.8 (Rif.[1]) e confrontate con i valori ammissibili definiti nella medesima normativa.

In accordo alla "good engineering practice", un'ulteriore analisi è condotta al fine di verificare l'insorgere di fenomeni di instabilità di parete, nel caso in cui risulti presente una deformazione negativa ( $\epsilon$ ) dovuta ad una tensione di compressione.

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 9 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni di instabilità possono verificarsi per un accorciamento percentuale superiore a  $\varepsilon_{cr}$ , dato dalla seguente espressione (Rif.[4]):

$$\varepsilon_{cr} = 0,35 \cdot \frac{t}{D_e - t}$$

dove:

$D_e$  diametro esterno della tubazione;

$t$  spessore della tubazione.

### 4.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif.[4]) prevedono di trascurare l'interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei. Tale assunzione fornisce valori conservativi per quanto concerne lo stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi così come il suolo circostante si deforma a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende le tensioni indotte pressoché indipendenti dallo spessore della tubazione.

A causa dell'effetto del terreno intorno al tubo, che attutisce sensibilmente le vibrazioni del tubo, e della rigidità torsionale elevata della sezione circolare, viene effettuata un'analisi statica degli effetti del sisma, trascurando l'amplificazione elastica.

#### 4.3.1 Massima deformazione indotta dalle onde sismiche

La formula generale per la massima deformazione assiale prodotta dalle differenti onde sismiche, nell'ipotesi di assenza di scorrimenti fra tubazione e terreno, è di seguito riportata (Rif.[4] – par. 6.1):

$$\varepsilon_g = \frac{v_{max}}{\alpha_\varepsilon \cdot c}$$

dove:

$v_{max}$  massima velocità del terreno;

$c$  velocità di propagazione dell'onda sismica;

$\alpha_\varepsilon$  coefficiente di deformazione, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

La massima curvatura della condotta è espressa dalla formula seguente (Rif.[4] – par. 6.1):

$$k_g = \frac{a_{max}}{(\alpha_k \cdot c)^2}$$

dove:

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 10 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

- $a_{max}$  massima accelerazione del terreno;  
 $c$  velocità di propagazione dell'onda;  
 $\alpha_k$  coefficiente di curvatura, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

Per il calcolo delle deformazioni prodotte da ciascun tipo di onda si riporta di seguito la tabella tratta dall'Appendice B del Rif.[4], con i relativi coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione ( $\alpha_\varepsilon$ ,  $\alpha_k$ ), derivati massimizzando l'effetto dell'angolo di incidenza  $\vartheta$ .

Tipo Onda	Massima Deformazione	Fattori
S	$\varepsilon_{SISMA}^S = \frac{v_{max}}{2 \cdot c}$	$\alpha_\varepsilon = 2,0$
	$k_{SISMA}^S = \frac{a_{max}}{c^2}$	$\alpha_k = 1,0$
P	$\varepsilon_{SISMA}^P = \frac{v_{max}}{c}$	$\alpha_\varepsilon = 1,0$
	$k_{SISMA}^P = \frac{a_{max}}{2,6 \cdot c^2}$	$\alpha_k = 1,6$
R	$\varepsilon_{SISMA}^R = \frac{v_{max}}{c}$	$\alpha_\varepsilon = 1,0$
	$k_{SISMA}^R = \frac{a_{max}}{c^2}$	$\alpha_k = 1,0$

**Tab. 4.A - Massima deformazione sismica**

#### 4.3.2 Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione

Detto  $\vartheta$  l'angolo di incidenza tra l'asse della tubazione e la direzione di propagazione del movimento sismico, le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l'asse della condotta, sono rispettivamente:

$$\sigma_\varepsilon^S_{SISMA} = \pm E \cdot \frac{v_{max}}{c} \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\vartheta$$

$$\sigma_k^S_{SISMA} = \pm E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{max}}{c^2} \cdot \cos^3\vartheta$$

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza  $\vartheta$ , i valori massimi delle tensioni  $\sigma_\varepsilon$  e  $\sigma_k$  si ottengono, rispettivamente, per  $\vartheta = 45^\circ$  e  $\vartheta = 0^\circ$ :

$$\sigma_\varepsilon^S_{SISMA} = \pm E \cdot \frac{v_{max}}{2 \cdot c}$$

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 11 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^S = \pm E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{\max}}{c^2}$$

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di compressione P, sono rispettivamente:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P = \pm E \cdot \frac{V_{\max}}{c} \cdot \cos^2 \vartheta$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^P = \pm E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{\max}}{c^2} \cdot \sin \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta$$

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza  $\vartheta$ , i valori massimi delle tensioni  $\sigma_{\varepsilon}$  e  $\sigma_k$  si ottengono, rispettivamente, per  $\vartheta = 0^\circ$  e  $\vartheta = 35^\circ 16'$ :

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P = \pm E \cdot \frac{V_{\max}}{c}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^P = \pm 0,385 \cdot E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{\max}}{c^2}$$

Le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R, sono rispettivamente:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^R = \pm E \cdot \frac{V_{\max}}{c}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^R = \pm E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{\max}}{c^2}$$

#### 4.3.3 Applicazione del criterio di verifica

Una stima conservativa delle tensioni massime assiali e di flessione si ottiene col metodo della radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS method: Square Route Square Sum).

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}} = \sqrt{\left( \sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S{}^2 + \sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P{}^2 + \sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^R{}^2 \right)}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}} = \sqrt{\left( \sigma_{k \text{ SISMA}}^S{}^2 + \sigma_{k \text{ SISMA}}^P{}^2 + \sigma_{k \text{ SISMA}}^R{}^2 \right)}$$

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

$$\sigma_{\text{SISMA}} = \sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}} + \sigma_{k \text{ SISMA}}$$

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 12 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

Ai sensi delle ASME B31.8 (para 833) vengono condotte le verifiche di controllo delle tensioni secondo due distinte ipotesi:

- “unrestrained pipeline”;
- “restrained pipeline”.

### “Unrestrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (par. 833.6) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LO} \leq 0,75 \cdot \sigma_y$$

con:

$$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{SISMA}$$

dove:

$$\sigma_H = \frac{P \cdot D_e}{2 \cdot t}$$

### “Restrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.3) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 90% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LT} \leq 0,90 \cdot \sigma_y$$

con:

$$\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{SISMA}$$

dove:

$$\sigma_H = \frac{P \cdot D_e}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

La normativa ASME B31.8 (para 833.4) prescrive di verificare che la tensione equivalente calcolata secondo “Von Mises” sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% (carichi occasionali – di breve durata) della tensione di snervamento:

$$\sigma_{VM} \leq \sigma_y$$

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 13 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

con:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H}$$

La normativa EN1594 (Rif.[2]) al paragrafo 7.4.1.2 richiede analogamente che la tensione equivalente calcolata secondo “Von Mises” sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% della tensione di snervamento.

#### 4.4 Metodologia di calcolo tratto in curva

Nell’analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l’interazione tra tubo e terreno va tenuta in debita considerazione.

Assumendo il movimento dell’onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si calcola la lunghezza di scorrimento ( $L'$ ) della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito  $t_u$  (Rif.[4]) secondo la formula seguente:

$$L' = \frac{4 \cdot A_p \cdot E \cdot \lambda}{3 \cdot k_o} \left[ \sqrt{1 + \frac{3 \cdot \varepsilon_{MAX} \cdot k_o}{2 \cdot t_u \cdot \lambda}} - 1 \right]$$

$$t_u = \frac{\pi \cdot D_{e,c}}{2} \cdot \gamma_t \cdot H_t \cdot (1 + K_o) \cdot \tan(\delta) + W_p \cdot \tan(\delta)$$

dove:

$$\lambda = \left( \frac{k_o}{4 \cdot E \cdot I} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$I = \pi \cdot \frac{D_{e,c}^4 - (D_{e,c} - 2 \cdot t_c)^4}{64}$$

$$\varepsilon_{MAX} = \frac{V_{max}}{c}$$

con:

- $A_p$  area della sezione trasversale del tubo in curva;
- $t_c$  spessore della tubazione in curva;
- $D_{e,c}$  diametro esterno della tubazione in curva;
- $E$  modulo di elasticità della tubazione;
- $k_o$  modulo di reazione del suolo;
- $\gamma_t$  peso specifico del suolo;

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 14 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

- $H_t$  profondità dell'asse tubazione;  
 $K_o$  coefficiente di spinta a riposo.  
 $\delta$  angolo di attrito tubo-terreno;  
 $W_p$  peso lineare della tubazione in curva.

Per la tubazione in acciaio (flessibile) lo spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento della stessa nel terreno è:

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{MAX} \cdot L' - \frac{t_u \cdot L'^2}{2 \cdot A_p \cdot E}}{1 + \frac{k_o L'}{2 \cdot \lambda \cdot A_p \cdot E} + 2 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot L' \cdot I}{\pi \cdot A_p \cdot r_o}}$$

La forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale (parallelo alla direzione del movimento sismico) è:

$$s = \Delta \left( \frac{k_o}{2 \cdot \lambda} + \frac{2 \cdot \lambda^2 \cdot K^* \cdot E \cdot I}{r_o \cdot \pi} \right)$$

dove:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12 \cdot (t_c \cdot r_o / R^2)^2}$$

con:

- $r_o$  raggio di curvatura dell'elemento curvo;  
 $R$  raggio esterno della tubazione.

Il momento flettente sulla curva è:

$$M = \Delta \cdot \frac{2 \cdot \lambda \cdot K^* \cdot E \cdot I}{r_o \cdot \pi}$$

$K_1$  è il fattore di intensificazione dello stress:

$$K_1 = \frac{2}{3 \cdot K^*} \cdot \left\{ 3 \cdot \left[ \frac{6}{5 + 6 \cdot (t_c \cdot r_o / R^2)^2} \right] \right\}^{-1/2}$$

La tensione assiale sulla curva dovuta alla forza  $s$ , si calcola con la seguente formula:

$$\sigma_{SISMA}^S = \frac{s}{A_p}$$

La tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente  $M$ , vale:

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 15 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

$$\sigma_{SISMA}^M = K_1 \cdot \frac{M \cdot D_{e,c}}{2 \cdot I}$$

#### 4.4.1 Applicazione del criterio di verifica

La tensione totale sulla curva per effetto del sisma si ottiene per semplice somma:

$$\sigma_{SISMA}^{TOT} = \sigma_{SISMA}^S + \sigma_{SISMA}^M$$

Ai sensi delle ASME B31.8 (para 833) vengono condotte le verifiche di controllo delle tensioni secondo due distinte ipotesi:

- “unrestrained pipeline”;
- “restrained pipeline”.

##### “Unrestrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.6) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LO}^B \leq 0,75 \cdot \sigma_y$$

con:

$$\sigma_{LO}^B = 0,5 \cdot \sigma_H^B + \sigma_{SISMA}^{TOT}$$

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{P \cdot D_{e,c}}{2 \cdot t_c}$$

##### “Restrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.3) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 90% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LT}^B \leq 0,90 \cdot \sigma_y$$

con:

$$\sigma_{LT}^B = -\nu \cdot \sigma_H^B + \sigma_{\Delta T}^B + \sigma_{SISMA}^{TOT}$$

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{P \cdot D_{e,c}}{2 \cdot t_c}$$

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 16 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

$$\sigma_{\Delta T}^B = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

Si sottolinea che per la verifica del tratto in curva non si esegue il controllo delle tensioni combinate, in quanto la normativa ASME B31.8, al paragrafo 833.4 - capoverso (f), prescrive tale verifica esclusivamente per porzioni di tubazione rettilinee.

La normativa EN1594 (Rif.[2]) al paragrafo 7.4.1.2 richiede che la tensione equivalente calcolata secondo “Von Mises” sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% della tensione di snervamento.

$$\sigma_{VM}^B \leq \sigma_y$$

con:

$$\sigma_{VM}^B = \sqrt{\sigma_{LT}^B{}^2 + \sigma_H^B{}^2 - \sigma_{LT}^B \cdot \sigma_H^B}$$

#### 4.5 Parametri geotecnici e topografici

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno, l'intero tracciato è stato suddiviso in n. 3 macroaree in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno e della “Categoria sottosuolo”, indicate al paragrafo 3.2. A ciascun'area è stata associata la rispettiva “Categoria topografica”.

Macroarea	Progressiva chilometrica	Angolo di attrito [°]	Peso di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Categoria sottosuolo	Categoria topografica
(1)	da 0+000 a 2+000	23	19,4	C	T1
(2)	da 2+000 a 12+000	23	19,4	B	T1
(3)	da 12+000 a 40+179	61	25,3	A	T1

**Tab. 4.B - Parametri geotecnici**

Per la stima del modulo di reazione del suolo  $k_0$  è stato fatto riferimento alla tabella di seguito riportata, elaborata per le “Iowa Formula”, considerando un grado di compattazione pari al 90% Proctor.

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fig. 17 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

E', Modulus of Soil Reaction psi					
Type of Soil	Depth of Cover (ft)	Standard AASHTO Relative Compaction			
		85%	90%	95%	100%
Fine-grain soils with less than 25% sand content (CL, ML, CL-ML)	0-5	500	700	1,000	1,500
	5-10	600	1,000	1,400	2,000
	10-15	700	1,200	1,600	2,300
	15-20	800	1,300	1,800	2,600
Coarse-grained soil with fines (SM, SC)	0-5	600	1,000	1,200	1,900
	5-10	900	1,400	1,800	2,700
	10-15	1,100	1,700	2,300	3,300
Coarse-grained soil with little or no fines (SP, SW, GP, GW)	0-5	700	1,000	1,600	2,500
	5-10	1,000	1,500	2,200	3,300
	10-15	1,050	1,600	2,400	3,600
	15-20	1,100	1,700	2,500	3,800
Crushed stone*	na	3,000	3,000	3,000	3,000

\*Crushed stone not included in Hartley-Duncan, E' of 3,000 psi minimum as determined by U.S. Bureau of Reclamation. This value is extremely conservative as values from 7,000 to 16,000 psi have been witnessed in practice.

NOTA: Valori numerici del modulo di reazione del terreno espressi in psi.

**Fig. 4.A. – Modulo di reazione del suolo,  $k_0$**

Macroarea	Progressiva chilometrica	Modulo di reazione del terreno $k_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
(1)	da 0+000 a 2+000	4,8
(2)	da 2+000 a 12+000	4,8
(3)	da 12+000 a 40+179	20,7

**Tab. 4.C - Modulo di reazione del suolo,  $k_0$**

#### 4.6 Parametri sismici

Per ciascuna delle n. 3 macroaree identificate, sono stati applicati i parametri sismici più cautelativi, in accordo al paragrafo 3.1.

Macroarea	Progressiva chilometrica	$a_g$ [g]	$T_c^*$ [s]	$F_0$ [-]
(1)	da 0+000 a 2+000	0,056	0,510	2,634
(2)	da 2+000 a 12+000	0,056	0,464	2,758
(3)	da 12+000 a 40+179	0,066	0,429	2,915

**Tab. 4.D - Parametri sismici**

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 18 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 5 SINTESI DI CALCOLO

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi della tubazione in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati condotti per il Metanodotto Matagiola – Masseria Manampola DN1400 (54”), DP 75 bar.

$a_g$	accelerazione massima su suolo di riferimento rigido
$T_C^*$	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
$F_o$	valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
$D_e$	diametro esterno
$t$	spessore tratto rettilineo
$E$	modulo di elasticità
$\nu$	coefficiente di Poisson
$\sigma_y$	tensione di snervamento
$\alpha$	coefficiente di dilatazione termica
$\gamma_p$	densità acciaio
$c$	velocità apparente di propagazione dell'onda sismica
$\Delta T$	salto termico
$P$	pressione interna
$D_{e,c}$	diametro esterno in curva
$t_c$	spessore curva
$k_0$	modulo di reazione del suolo
$\Phi'$	angolo di attrito
$H$	interramento minimo
$r_o$	raggio di curvatura dell'elemento curvo
$\gamma_t$	peso di volume del suolo
$S_T$	coefficiente di amplificazione topografica
$S_s$	coefficiente di amplificazione stratigrafica
$C_C$	coefficiente funzione della categoria di sottosuolo
$S$	coefficiente relativo alla categoria topografica e del sottosuolo
$T_C$	periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro
$a_{max}$	accelerazione massima attesa al sito
$v_{max}$	velocità orizzontale massima del terreno
$\epsilon_{SISMA}^S$	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di taglio
$\epsilon_{SISMA}^P$	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di compressione
$\epsilon_{SISMA}^R$	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di Rayleigh
$k_{SISMA}^S$	curvatura del suolo dovuta al passaggio delle onde di taglio
$k_{SISMA}^P$	curvatura del suolo dovuta al passaggio delle onde di compressione
$k_{SISMA}^R$	curvatura del suolo dovuta al passaggio delle onde di Rayleigh
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}^S}$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di taglio
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}^P}$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di compressione
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}^R}$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 19 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

$\sigma_k^S$ SISMA	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di taglio
$\sigma_k^P$ SISMA	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di compressione
$\sigma_k^R$ SISMA	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh
$\sigma_\varepsilon$ SISMA	tensione totale dovuta alla deformazione assiale (tratto rettilineo)
$\sigma_k$ SISMA	tensione totale per sisma, dovuta alla curvatura (tratto rettilineo)
$\sigma$ SISMA	tensione totale sismica (tratto rettilineo)
$\sigma_{\Delta T}$	tensione dovuta al salto termico (tratto rettilineo)
$\sigma_H$	tensione circonferenziale (tratto rettilineo)
$\sigma_{LO}$	combinazione tensioni longitudinali unrestrained (tratto rettilineo)
$\sigma_{LT}$	combinazione tensioni longitudinali restrained (tratto rettilineo)
$\sigma_{VM}$	combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto rettilineo)
$F_{LO}$	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile unrestrained (tratto rettilineo)
$F_{LT}$	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile restrained (tratto rettilineo)
$F_{VM}$	rapporto tra tensioni di progetto combinate e tensione massima ammissibile restrained (tratto rettilineo)
$\varepsilon$	rapporto fra deformazione di progetto e massima deformazione ammissibile
$\delta$	angolo di attrito tubo-terreno
$K_0$	coefficiente di spinta del suolo a riposo
$H_t$	quota asse tubo
$\varepsilon_{MAX}$	deformazione assiale massima del suolo dovuta al sisma
$I$	momento d'inerzia della sezione trasversale del tubo
$A_p$	area della sezione trasversale del tubo
$\lambda$	parametro per le travi su fondazione elastica
$W_p$	peso lineare del tubo
$t_u$	forza di attrito lineare sul tubo
$K^*$	coefficiente adimensionale utilizzato nel calcolo delle curve flessibili
$K_1$	fattore di intensificazione dello stress
$L'$	lunghezza di scorrimento del tubo nel terreno su cui agisce la forza di attrito $t_u$
$\Delta$	spostamento dovuto allo scorrimento del tubo nel terreno
$s$	forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale parallelo all'onda sismica
$M$	momento flettente sulla curva
$\sigma^S$ SISMA	tensione assiale sulla curva dovuta alla forza $s$
$\sigma^M$ SISMA	tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente $M$
$\sigma^{TOT}$ SISMA	tensione totale sismica (tratto in curva)
$\sigma^B_{\Delta T}$	tensione dovuta al salto termico (tratto in curva)
$\sigma^B_H$	tensione circonferenziale (tratto in curva)
$\sigma^B_{LO}$	combinazione tensioni longitudinali unrestrained (tratto in curva)
$\sigma^B_{LT}$	combinazione tensioni longitudinali restrained (tratto in curva)
$\sigma^B_{VM}$	combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto in curva)
$F^B_{LO}$	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile unrestrained (tratto in curva)
$F^B_{LT}$	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile restrained (tratto in curva)
$F^B_{VM}$	rapporto tra tensioni di progetto combinate e tensione massima ammissibile (tratto in curva)

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 20 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 5.1 Verifica a Scuotimento Sismico DN1400 (56”) - Macroarea (1)

### 5.1.1 Dati di ingresso

MACROAREA (1): da Prog. km 0+000 a Prog. km 2+000	
<b>DATI DI INPUT</b>	
$a_g$	= 0,549 m/s <sup>2</sup>
$T_c^*$	= 0,510 s
$F_o$	= 2,634 -
Suolo	= C -
Topografia	= T1 -
$D_e$	= 1415,8 mm
$t$	= 18,7 mm
$E$	= 203705 N/mm <sup>2</sup>
$v$	= 0,3 -
$\sigma_y$	= 450 N/mm <sup>2</sup>
$\alpha$	= 0,0000117 1/°C
$\gamma_p$	= 77 kN/m <sup>3</sup>
$c$	= 915 m/s
$\Delta T$	= 45 °C
$P$	= 75 bar
$D_{e,c}$	= 1422,0 mm
$t_c$	= 21,8 mm
$k_0$	= 4,8 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	= 23 deg
Rivestimento	= polietilene (PE) -
$H$	= 1,5 m
$r_o$	= 9954 mm
$\gamma_t$	= 19,4 kN/m <sup>3</sup>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fig. 21 di 30	<b>Rev.</b> 00

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.1.2 Verifica tratto rettilineo

MACROAREA (1): da Prog. km 0+000 a Prog. km 2+000	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>	
$S_T$	= 1,000 -
$S_S$	= 1,500 -
$C_C$	= 1,311 -
$S$	= 1,500 -
$T_C$	= 0,669 s
$a_{max}$	= 0,824 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	= 0,088 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\epsilon_{SISMA}^S$	= 0,000048 -
$\epsilon_{SISMA}^P$	= 0,000096 -
$\epsilon_{SISMA}^R$	= 0,000096 -
$k_{SISMA}^S$	= 0,00000098 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^P$	= 0,00000038 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^R$	= 0,00000098 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\sigma_{\epsilon}^S$ SISMA	= 9,81 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}^P$ SISMA	= 19,62 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}^R$ SISMA	= 19,62 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^S$ SISMA	= 0,14 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^P$ SISMA	= 0,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^R$ SISMA	= 0,14 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}$ SISMA	= 29,43 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k$ SISMA	= 0,21 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	= 29,64 N/mm <sup>2</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$\sigma_{\Delta T}$	= 107,25 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H$	= 283,92 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	= 171,60 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	= 51,72 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	= 261,92 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}$	= 0,38 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	= 0,11 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	= 0,58 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	= 0,14 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 22 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.1.3 Verifica tratto in curva

MACROAREA (1): da Prog. km 0+000 a Prog. km 2+000	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>	
$\delta$	= 13,8 deg
$\phi'$	= 0,401 rad
$\delta$	= 0,241 rad
$K_o$	= 0,609 -
$H_t$	= 2,211 m
$\epsilon_{MAX}$	= 0,000096 -
$I$	= 23506710543 mm <sup>4</sup>
$A_p$	= 95895 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	= 0,000126 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	= 7,38 kN/m
$t_u$	= 39,76 kN/m
$K'$	= 0,26 -
$K_1$	= 1,48 -
$L'$	= 45782 mm
$\Delta$	= 2,16 mm
$s$	= 44,07 kN
$M$	= 21875,42 kN·mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>	
$\sigma_{SISMA}^S$	= 0,46 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	= 0,98 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	= 1,44 N/mm <sup>2</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$\sigma_{\Delta T}^B$	= 107,25 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H^B$	= 244,61 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	= 123,74 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	= 35,30 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	= 229,01 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}^B$	= 0,27 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	= 0,08 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>	
$F_{VM}^B$	= 0,51 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 23 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 5.2 Verifica a Scuotimento Sismico DN1400 (56”) - Macroarea (2)

### 5.2.1 Dati di ingresso

MACROAREA (2): da Prog. km 2+000 a Prog. km 12+000	
<b>DATI DI INPUT</b>	
$a_g$	= 0,549 m/s <sup>2</sup>
$T_c^*$	= 0,464 s
$F_o$	= 2,758 -
Suolo	= B -
Topografia	= T1 -
$D_e$	= 1415,8 mm
$t$	= 18,7 mm
$E$	= 203705 N/mm <sup>2</sup>
$v$	= 0,3 -
$\sigma_y$	= 450 N/mm <sup>2</sup>
$\alpha$	= 0,0000117 1/°C
$\gamma_p$	= 77 kN/m <sup>3</sup>
$c$	= 915 m/s
$\Delta T$	= 45 °C
$P$	= 75 bar
$D_{e,c}$	= 1422,0 mm
$t_c$	= 21,8 mm
$k_0$	= 4,8 N/mm <sup>2</sup>
$\phi'$	= 23 deg
Rivestimento	= polietilene (PE) -
$H$	= 1,5 m
$r_o$	= 9954 mm
$\gamma_t$	= 19,4 kN/m <sup>3</sup>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 24 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.2.2 Verifica tratto rettilineo

MACROAREA (2): da Prog. km 2+000 a Prog. km 12+000	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>	
$S_T$	= 1,000 -
$S_S$	= 1,200 -
$C_C$	= 1,283 -
$S$	= 1,200 -
$T_C$	= 0,595 s
$a_{max}$	= 0,659 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	= 0,063 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\epsilon_{SISMA}^S$	= 0,000034 -
$\epsilon_{SISMA}^P$	= 0,000069 -
$\epsilon_{SISMA}^R$	= 0,000069 -
$k_{SISMA}^S$	= 0,00000079 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^P$	= 0,00000030 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^R$	= 0,00000079 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\sigma_{\epsilon}^S$ SISMA	= 6,99 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}^P$ SISMA	= 13,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}^R$ SISMA	= 13,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^S$ SISMA	= 0,11 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^P$ SISMA	= 0,04 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^R$ SISMA	= 0,11 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}$ SISMA	= 20,96 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k$ SISMA	= 0,17 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	= 21,12 N/mm <sup>2</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$\sigma_{\Delta T}$	= 107,25 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H$	= 283,92 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	= 163,08 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	= 43,20 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	= 264,97 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}$	= 0,36 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	= 0,10 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	= 0,59 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	= 0,13 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 25 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.2.3 Verifica tratto in curva

MACROAREA (2): da Prog. km 2+000 a Prog. km 12+000	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>	
$\delta$	= 13,8 deg
$\phi'$	= 0,401 rad
$\delta$	= 0,241 rad
$K_o$	= 0,609 -
$H_t$	= 2,211 m
$\epsilon_{MAX}$	= 0,000069 -
$I$	= 23506710543 mm <sup>4</sup>
$A_p$	= 95895 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	= 0,000126 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	= 7,38 kN/m
$t_u$	= 39,76 kN/m
$K'$	= 0,26 -
$K_1$	= 1,48 -
$L'$	= 32895 mm
$\Delta$	= 1,11 mm
$s$	= 22,69 kN
$M$	= 11261,94 kN·mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>	
$\sigma_{SISMA}^S$	= 0,24 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	= 0,50 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	= 0,74 N/mm <sup>2</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$\sigma_{\Delta T}^B$	= 107,25 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H^B$	= 244,61 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	= 123,04 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	= 34,61 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	= 229,27 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}^B$	= 0,27 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	= 0,08 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>	
$F_{VM}^B$	= 0,51 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 26 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.3 Verifica a Scuotimento Sismico DN1400 (56”) - Macroarea (3)

#### 5.3.1 Dati di ingresso

MACROAREA (3): da Prog. km 12+000 a Prog. km 40+179	
<b>DATI DI INPUT</b>	
$a_g$	= 0,647 m/s <sup>2</sup>
$T_c^*$	= 0,429 s
$F_o$	= 2,915 -
Suolo	= A -
Topografia	= T1 -
$D_e$	= 1415,8 mm
$t$	= 18,7 mm
$E$	= 203705 N/mm <sup>2</sup>
$v$	= 0,3 -
$\sigma_y$	= 450 N/mm <sup>2</sup>
$\alpha$	= 0,0000117 1/°C
$\gamma_p$	= 77 kN/m <sup>3</sup>
$c$	= 915 m/s
$\Delta T$	= 45 °C
$P$	= 75 bar
$D_{e,c}$	= 1422,0 mm
$t_c$	= 21,8 mm
$k_0$	= 20,7 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	= 61 deg
Rivestimento	= polietilene (PE) -
$H$	= 1,5 m
$r_o$	= 9954 mm
$\gamma_t$	= 25,3 kN/m <sup>3</sup>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 27 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.3.2 Verifica tratto rettilineo

MACROAREA (3): da Prog. km 12+000 a Prog. km 40+179	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>	
$S_T$	= 1,000 -
$S_S$	= 1,000 -
$C_C$	= 1,000 -
$S$	= 1,000 -
$T_C$	= 0,429 s
$a_{max}$	= 0,647 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	= 0,044 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\epsilon_{SISMA}^S$	= 0,000024 -
$\epsilon_{SISMA}^P$	= 0,000049 -
$\epsilon_{SISMA}^R$	= 0,000049 -
$k_{SISMA}^S$	= 0,00000077 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^P$	= 0,00000030 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^R$	= 0,00000077 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\sigma_{\epsilon}^S$ SISMA	= 4,95 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}^P$ SISMA	= 9,89 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}^R$ SISMA	= 9,89 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^S$ SISMA	= 0,11 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^P$ SISMA	= 0,04 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k^R$ SISMA	= 0,11 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon}$ SISMA	= 14,84 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k$ SISMA	= 0,16 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	= 15,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$\sigma_{\Delta T}$	= 107,25 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H$	= 283,92 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	= 156,96 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	= 37,07 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	= 267,31 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}$	= 0,35 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	= 0,08 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	= 0,59 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	= 0,13 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 28 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 5.3.3 Verifica tratto in curva

MACROAREA (3): da Prog. km 12+000 a Prog. km 40+179	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>	
$\delta$	= 36,6 deg
$\phi'$	= 1,065 rad
$\delta$	= 0,639 rad
$K_0$	= 0,125 -
$H_t$	= 2,211 m
$\epsilon_{MAX}$	= 0,000049 -
$I$	= 23506710543 mm <sup>4</sup>
$A_p$	= 95895 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	= 0,000181 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	= 7,38 kN/m
$t_u$	= 110,04 kN/m
$K'$	= 0,26 -
$K_1$	= 1,48 -
$L'$	= 8463 mm
$\Delta$	= 0,20 mm
$s$	= 12,14 kN
$M$	= 2967,78 kN·mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>	
$\sigma_{SISMA}^S$	= 0,13 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	= 0,13 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	= 0,26 N/mm <sup>2</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$\sigma_{\Delta T}^B$	= 107,25 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H^B$	= 244,61 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	= 122,56 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	= 34,13 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	= 229,46 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}^B$	= 0,27 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	= 0,08 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>	
$F_{VM}^B$	= 0,51 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 29 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

## 6 CONCLUSIONI

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità delle condotte di gas in progetto ai requisiti della norma EN1594 (Rif.[2]), e quindi ai criteri delle linee guida sismiche nelle “Guidelines For The Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline Systems” (Rif.[4]), nei confronti dello scuotimento al suolo (shaking).

Le tubazioni DN1400 (56”) del Metanodotto Matagiola – Masseria Manampola DN1400 (56”), DP 75 bar, risultano positivamente verificate a scuotimento sismico, provocato da un evento sismico caratterizzato da picchi di accelerazione e velocità massima del terreno per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

I risultati delle analisi hanno infatti evidenziato l’idoneità dello spessore del tubo, sia nei tratti rettilinei sia in curva, a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l’evento sismico.

### 6.1 Sintesi dei risultati

Di seguito si riporta tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalla verifica a scuotimento sismico:

#### 6.1.1 Macroarea (1)

MACROAREA (1): da Prog. km 0+000 a Prog. km 2+000						
Tratto rettilineo						
t [mm]	$\sigma_{LO}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>LO</sub> [-]	$\sigma_{LT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>LT</sub> [-]	$\sigma_{VM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>VM</sub> [-]
18,7	171,60	0,38 ≤ 0,75	51,72	0,11 ≤ 0,90	261,92	0,58 ≤ 1,00

**Tab. 6.A – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (1): da Prog. km 0+000 a Prog. km 2+000						
Tratto in curva						
t <sub>c</sub> [mm]	$\sigma^B_{LO}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>LO</sub> [-]	$\sigma^B_{LT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>LT</sub> [-]	$\sigma^B_{VM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>VM</sub> [-]
21,8	123,74	0,27 ≤ 0,75	35,30	0,08 ≤ 0,90	229,01	0,51 ≤ 1,00

**Tab. 6.B – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**

	<b>PROGETTISTA</b> <b>ENERECO S.p.A.</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/15437</b>	<b>UNITÀ</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>REL-SIS-E-09002</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO MATAGIOLA – MASSERIA</b> <b>MANAMPOLA DN1400 (56”), DP 75 bar</b>	Fg. 30 di 30	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Rif. ENERECO: P22IT04397-SAN-RE-000-001

### 6.1.2 Macroarea (2)

MACROAREA (2): da Prog. km 2+000 a Prog. km 12+000						
Tratto rettilineo						
t [mm]	$\sigma_{LO}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>LO</sub> [-]	$\sigma_{LT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>LT</sub> [-]	$\sigma_{VM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>VM</sub> [-]
18,7	163,08	0,36 ≤ 0,75	43,20	0,1 ≤ 0,90	264,97	0,59 ≤ 1,00

**Tab. 6.C – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (2): da Prog. km 2+000 a Prog. km 12+000						
Tratto in curva						
t <sub>c</sub> [mm]	$\sigma^B_{LO}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>LO</sub> [-]	$\sigma^B_{LT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>LT</sub> [-]	$\sigma^B_{VM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>VM</sub> [-]
21,8	123,04	0,27 ≤ 0,75	34,61	0,08 ≤ 0,90	229,27	0,51 ≤ 1,00

**Tab. 6.D – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**

### 6.1.3 Macroarea (3)

MACROAREA (3): da Prog. km 12+000 a Prog. km 40+179						
Tratto rettilineo						
t [mm]	$\sigma_{LO}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>LO</sub> [-]	$\sigma_{LT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>LT</sub> [-]	$\sigma_{VM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>VM</sub> [-]
18,7	156,96	0,35 ≤ 0,75	37,07	0,08 ≤ 0,90	267,31	0,59 ≤ 1,00

**Tab. 6.E – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (3): da Prog. km 12+000 a Prog. km 40+179						
Tratto in curva						
t <sub>c</sub> [mm]	$\sigma^B_{LO}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>LO</sub> [-]	$\sigma^B_{LT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>LT</sub> [-]	$\sigma^B_{VM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sup>B</sup> <sub>VM</sub> [-]
21,8	122,56	0,27 ≤ 0,75	34,13	0,08 ≤ 0,90	229,46	0,51 ≤ 1,00

**Tab. 6.F – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**