

<b>Contraente:</b> 	<b>Progetto:</b> <b>RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE</b>	<b>Cliente:</b> 
	<b>N° Contratto :</b> <b>N° Commessa :</b>	

<b>N° documento:</b> P22IT04321-SAN-RE-000-001	<b>Foglio</b> 1 <b>di</b> 43	<b>Data</b> 28-04-2023	REL-SIS-09002
---	---------------------------------	---------------------------	---------------

**VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO**

00	28-04-2023	EMMISSIONE	BONETTA	BALDUCCI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 2 di 43	Rev.:			N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
1.1	Scopo del documento	4
1.2	Normativa di riferimento	4
1.3	Documenti di riferimento	5
1.4	Unità di Misura	5
1.5	Abbreviazioni	5
<b>2</b>	<b>DATI DI CALCOLO</b>	<b>6</b>
2.1	Dati sismici	6
2.2	Condizioni di progetto	6
2.3	Parametri meccanici	6
<b>3</b>	<b>VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b>	<b>7</b>
3.1	Premessa	7
3.2	Criterio di verifica	8
3.3	Metodologia di calcolo tratto rettilineo	8
3.3.1	Massima deformazione indotta dalle onde sismiche	8
3.3.2	Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione	9
3.3.3	Applicazione del criterio di verifica	11
3.4	Metodologia di calcolo tratto in curva	12
3.4.1	Applicazione del criterio di verifica	14
3.4.2	Parametri geotecnici	15
3.4.3	Parametri sismici	16
<b>4</b>	<b>SINTESI DI CALCOLO</b>	<b>17</b>
4.1	Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (1)	19
4.1.1	Dati di ingresso	19
4.1.2	Verifica tratto rettilineo	20
4.1.3	Verifica tratto in curva	21
4.2	Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (2)	22
4.2.1	Dati di ingresso	22
4.2.2	Verifica tratto rettilineo	23

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 3 di 43	Rev.:		N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

4.2.3	Verifica tratto in curva .....	24
<b>4.3</b>	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (3).....</b>	<b>25</b>
4.3.1	Dati di ingresso .....	25
4.3.2	Verifica tratto rettilineo .....	26
4.3.3	Verifica tratto in curva .....	27
<b>4.4</b>	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (4).....</b>	<b>28</b>
4.4.1	Dati di ingresso .....	28
4.4.2	Verifica tratto rettilineo .....	29
4.4.3	Verifica tratto in curva .....	30
<b>4.5</b>	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (5).....</b>	<b>31</b>
4.5.1	Dati di ingresso .....	31
4.5.2	Verifica tratto rettilineo .....	32
4.5.3	Verifica tratto in curva .....	33
<b>4.6</b>	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (6).....</b>	<b>34</b>
4.6.1	Dati di ingresso .....	34
4.6.2	Verifica tratto rettilineo .....	35
4.6.3	Verifica tratto in curva .....	36
<b>4.7</b>	<b>Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (7).....</b>	<b>37</b>
4.7.1	Dati di ingresso .....	37
4.7.2	Verifica tratto rettilineo .....	38
4.7.3	Verifica tratto in curva .....	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Sintesi dei risultati.....</b>	<b>40</b>
5.1.1	Macroarea (1) .....	40
5.1.2	Macroarea (2) .....	41
5.1.3	Macroarea (3) .....	41
5.1.4	Macroarea (4) .....	42
5.1.5	Macroarea (5) .....	42
5.1.6	Macroarea (6) .....	43
5.1.7	Macroarea (7) .....	43

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 4 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo del documento

La presente relazione di analisi sismica si riferisce al Rifacimento del Metanodotto Derivazione per Siena DN400 (16"), DP 75 bar e Piggabilità del Metanodotto Derivazione per Siena-Torrenieri DN 200 (8"), DP 75 bar e del Metanodotto Chiusi-Torrenieri DN 250 (10"), DP 75 bar ed opere connesse.

La verifica allo scuotimento sismico è stata effettuata per tratti di condotta sufficienti a sviluppare il fenomeno sismico nella sua massima sollecitazione (considerando una lunghezza d'onda di 1000 m, in accordo a ASCE 2001/05 Rif.[5] - para 11.1):

- Rifacimento Metanodotto Derivazione per Siena DN 400 (16"), DP 75 bar:
  - Intervento 6a: Var. Met. Der. per Siena DN400 (16"), DP 75 bar in Comune di Certaldo (L = 4,279 km);
  - Intervento 8a: Var. Met. Der. per Siena DN400 (16"), DP 75 bar tratto Certaldo- Siena (L = 43,974 km).

L'azione di scuotimento sismico su tubazioni interrato di lunghezza contenuta (inferiori a 1000 m) non è significativa, essendo lo scuotimento sismico un fenomeno di tipo macroscopico agente su aree estese. Per quanto riguarda gli interventi di estensione ridotta localizzati sul tracciato esistente, non modificando sostanzialmente quanto presente, non alterano lo stato in essere e la relativa conformità.

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.[9]), vengono confrontate con i valori ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1], [2]).

### 1.2 Normativa di riferimento

[1]	ASME B31.8 - 2016	Gas Transmission and Distribution Piping Systems
[2]	EN1594 - 2013	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]	ASCE1984	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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio di	5 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

- [7] UNI EN 1993-4-3:2007 Progettazione delle Strutture di Acciaio - Parte 4-3: Condotte
- [8] UNI EN 1998-4:2006 Progettazione delle Strutture per la Resistenza Sismica - Parte 4: Silos, Serbatoi e Condotte
- [9] GASD C.04.01.50 SIS-1 Manuale per la Progettazione di Gasdotti In Aree a Rischio Sismico

### 1.3 Documenti di riferimento

- [10] REL-CGD-09001 Relazione geologica
- [11] PG-CGD-09101 Carta geologica
- [12] PG-CGA-09101 Carta delle acclività
- [13] REL-SIS-09001 Studio sismico
- [14] REL-GEO-09002 Relazione sulle indagini geofisiche
- [15] REL-PAI-09001 Relazione di compatibilità geomorfologica

### 1.4 Unità di Misura

Le unità di misura utilizzate rispettano "Le Système International d'Unités" (SI). Le unità di misura derivate sono: grado centigrado (°C), bar (0,1 MPa).

### 1.5 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
- UNI Ente nazionale italiano di Unificazione

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 6 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

## 2 DATI DI CALCOLO

### 2.1 Dati sismici

Alla luce delle indagini geognostiche eseguite che hanno permesso di ricostruire le peculiarità del territorio, e delle indagini geofisiche eseguite (Rif.[14]) nell'ambito della realizzazione delle stesse opere, è stato possibile calcolare la VS<sub>30</sub> per i primi 30 metri di profondità. Le velocità equivalenti lungo il tracciato identificano le seguenti categorie di sottosuolo descritte nella tabella delle NTC 2018:

- **"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.

La caratterizzazione sismica è stata estrapolata suddividendo l'intera area del tracciato in aree omogenee dal punto di vista litologico, sulla base dei risultati delle M.A.S.W. e relative interpretazioni (Rif.[13]) ed in accordo ai riferimenti normativi nazionali (Rif.[3]).

Per la caratterizzazione sismica si rimanda allo Studio sismico (Rif.[13]). 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/>.

### 2.2 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:

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

### 2.3 Parametri meccanici

#### DN400 (16"):

- Diametro nominale 400 (16")
- Diametro esterno 406,4 mm
- Materiale EN L360 NB/MB
- Spessore in linea 11,1 mm
- Spessore in curva 11,1 mm
- Raggio curva (7DN) 2845 mm

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 7 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

### 3 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

#### 3.1 Premessa

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:

- Rifacimento Metanodotto Derivazione per Siena DN 400 (16"), DP 75 bar:
  - Intervento 6a: Var. Met. Der. per Siena DN400 (16"), DP 75 bar in Comune di Certaldo e opere connesse (L = 4,279 km);
  - Intervento 8a: Var. Met. Der. per Siena DN400 (16"), DP 75 bar tratto Certaldo- Siena e opere connesse (L = 43,974 km).

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.[9]) 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.).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 8 di 43	Rev.:			N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00			

### 3.2 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (par. 3.3) e tratto in curva (par. 3.4). 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.

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

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

dove:

$D_e$  diametro esterno della tubazione;

$t$  spessore della tubazione.

### 3.3 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.

#### 3.3.1 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):

$$\epsilon_g = \frac{V_{max}}{\alpha_\epsilon \cdot c}$$

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 9 di 43	Rev.:			N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

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:

$a_{max}$  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. 3.A - Massima deformazione sismica**

### 3.3.2 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:

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 10 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

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

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

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  $\vartheta = 0^\circ$ :

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

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

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

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

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

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  $\vartheta = 35^\circ 16'$ :

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

$$\sigma_k^P_{SISMA} = \pm 0,385 \cdot E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{\max}}{c^2}$$

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

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

$$\sigma_k^R_{SISMA} = \pm E \cdot \frac{D_e}{2} \cdot \frac{a_{\max}}{c^2}$$

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 11 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

### 3.3.3 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).

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

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

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

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

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:

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

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:

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 12 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

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

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:

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

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.

### 3.4 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:

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

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

dove:

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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 13 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

$$I = \pi \cdot \frac{D_e^4 - (D_e - 2 \cdot t_c)^4}{64}$$

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

con:

- $A_p$  area della sezione trasversale del tubo in curva;
- $t_c$  spessore della tubazione in curva;
- $E$  modulo di elasticità della tubazione;
- $k_o$  modulo di reazione del suolo;
- $\gamma_t$  peso specifico del suolo;
- $H_t$  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.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio di 14 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

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:

$$\sigma_{SISMA}^M = K_1 \cdot \frac{M \cdot D_e}{2 \cdot I}$$

### 3.4.1 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:

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 15 di 43	Rev.:			N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

$$\sigma_{H}^B = \frac{P \cdot D_e}{2 \cdot t_c}$$

### "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:

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

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{P \cdot D_e}{2 \cdot t_c}$$

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

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:

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

### 3.4.2 Parametri geotecnici

L'intero tracciato è stato suddiviso in n. 7 macroaree con caratteristiche geotecniche omogenee. A ciascun'area è stata assegnata la "Categoria Sottosuolo" più cautelativa ai fini del calcolo a scuotimento sismico, in base ai risultati delle prove M.A.S.W. riportate nel Rif.[14].

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva per il diametro in oggetto (DN 400 (16")) si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata:

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001		Foglio 16 di 43		Rev.:		N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

Macroarea	Intervento	Progressiva chilometrica	Categoria sottosuolo	Angolo di attrito [°]	Peso di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Categoria topografica
(1)	6a	da 0+000 a 4+279	B	26	21,0	T2
(2)	8a	da 0+000 a 10+500	C	19	19,4	T1
(3)	8a	da 10+500 a 15+000	B	38	16,9	T2
(4)	8a	da 15+000 a 23+500	B	37	16,5	T2
(5)	8a	da 23+500 a 32+000	C	40	17,0	T1
(6)	8a	da 32+000 41+000	C	45	19,5	T2
(7)	8a	da 41+000 a 43+993	B	35	16,2	T1

**Tab. 3.4.2 - Parametri geotecnici**

Per la stima del modulo di reazione del suolo  $k_0$  è stato fatto riferimento alla tabella elaborata per le "Iowa Formula".

### 3.4.3 Parametri sismici

Per la verifica a scuotimento sismico sono stati applicati i parametri sismici riportati qui di seguito in tabella per ciascuna delle n. 7 macroaree:

Macroarea	Intervento	Progressiva chilometrica	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	Categoria topografica
(1)	6a	da 0+000 a 4+279	0,171	2,516	0,283	T2
(2)	8a	da 0+000 a 10+500	0,173	2,512	0,283	T1
(3)	8a	da 10+500 a 15+000	0,174	2,512	0,282	T2
(4)	8a	da 15+000 a 23+500	0,174	2,512	0,282	T2
(5)	8a	da 23+500 a 32+000	0,172	2,513	0,283	T1
(6)	8a	da 32+000 41+000	0,174	2,514	0,282	T2
(7)	8a	da 41+000 a 43+993	0,174	2,515	0,283	T1

**Tab. 3.4.2 - Parametri sismici**

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 17 di 43	Rev.:			N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

#### 4 SINTESI DI CALCOLO

$a_g$	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
$t_c$	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
$\varepsilon_{SISMA}^S$	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di taglio
$\varepsilon_{SISMA}^P$	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di compressione
$\varepsilon_{SISMA}^R$	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
$\sigma_{\varepsilon_{SISMA}}^S$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di taglio
$\sigma_{\varepsilon_{SISMA}}^P$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di compressione
$\sigma_{\varepsilon_{SISMA}}^R$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh
$\sigma_{k_{SISMA}}^S$	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di taglio
$\sigma_{k_{SISMA}}^P$	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di compressione
$\sigma_{k_{SISMA}}^R$	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)

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 18 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002		

$\sigma_H$	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
$\sigma_{SISMA}^S$	tensione assiale sulla curva dovuta alla forza $s$
$\sigma_{SISMA}^M$	tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente $M$
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	tensione totale sismica (tratto in curva)
$\sigma_{\Delta T}^B$	tensione dovuta al salto termico (tratto in curva)
$\sigma_H^B$	tensione circonferenziale (tratto in curva)
$\sigma_{LO}^B$	combinazione tensioni longitudinali unrestrained (tratto in curva)
$\sigma_{LT}^B$	combinazione tensioni longitudinali restrained (tratto in curva)
$\sigma_{VM}^B$	combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto in curva)
$F_{LO}^B$	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile unrestrained (tratto in curva)
$F_{LT}^B$	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile restrained (tratto in curva)
$F_{VM}^B$	rapporto tra tensioni di progetto combinate e tensione massima ammissibile (tratto in curva)

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>			
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 19 di 43	Rev.: 00	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

## 4.1 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (1)

### 4.1.1 Dati di ingresso

MACROAREA (1)	
<b>DATI DI INPUT</b>	
$a_g$	= 1,677 m/s <sup>2</sup>
$T_C^*$	= 0,283 s
$F_O$	= 2,516 -
Suolo	= B -
Topografia	= T2 -
$D_e$	= 406,4 mm
$t$	= 11,1 mm
$E$	= 203705 N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	= 0,3 -
$\sigma_y$	= 360 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
$t_c$	= 11,1 mm
$k_0$	= 4,8 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	= 26 deg
Rivestimento	= polyethylene -
$H$	= 1,5 m
$r_o$	= 2845 mm
$\gamma_t$	= 21 kN/m <sup>3</sup>

VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 20 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

4.1.2 Verifica tratto rettilineo

		MACROAREA (1)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>		
$S_T$	=	1,200 -
$S_S$	=	1,200 -
$C_C$	=	1,416 -
$S$	=	1,440 -
$T_C$	=	0,401 s
$a_{max}$	=	2,415 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	=	0,155 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\epsilon^S_{SISMA}$	=	0,000085 -
$\epsilon^P_{SISMA}$	=	0,000169 -
$\epsilon^R_{SISMA}$	=	0,000169 -
$k^S_{SISMA}$	=	0,00000288 m <sup>-1</sup>
$k^P_{SISMA}$	=	0,00000111 m <sup>-1</sup>
$k^R_{SISMA}$	=	0,00000288 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\sigma^S_{\epsilon_{SISMA}}$	=	17,23 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{\epsilon_{SISMA}}$	=	34,47 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{\epsilon_{SISMA}}$	=	34,47 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^S_{k_{SISMA}}$	=	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{k_{SISMA}}$	=	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{k_{SISMA}}$	=	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	=	51,70 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}$	=	0,17 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	=	51,88 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>
$\sigma_H$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	=	120,52 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	=	117,94 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	=	128,71 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}$	=	0,33 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	=	0,33 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	=	0,36 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	=	0,08 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 21 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

#### 4.1.3 Verifica tratto in curva

MACROAREA (1)	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>	
$\delta$	= 15,6 deg
$\phi'$	= 0,454 rad
$\delta$	= 0,272 rad
$K_0$	= 0,562 -
$H_t$	= 1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	= 0,000169 -
$I$	= 269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	= 13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	= 0,000385 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	= 1,06 kN/m
$t_u$	= 10,25 kN/m
$K'$	= 0,47 -
$K_1$	= 0,97 -
$L'$	= 43217 mm
$\Delta$	= 3,47 mm
$s$	= 24,74 kN
$M$	= 7735,84 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>	
$\sigma_{SISMA}^S$	= 1,79 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	= 5,67 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	= 7,47 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>
$\sigma_H^B$	= 137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	= 76,12 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	= 73,53 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	= 119,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}^B$	= 0,21 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	= 0,20 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>	
$F_{VM}^B$	= 0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>			
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 22 di 43	Rev.: 00	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

## 4.2 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (2)

### 4.2.1 Dati di ingresso

MACROAREA (2)	
<b>DATI DI INPUT</b>	
$a_g$	= 1,697 m/s <sup>2</sup>
$T_C^*$	= 0,283 s
$F_O$	= 2,512 -
Suolo	= C -
Topografia	= T1 -
$D_e$	= 406,4 mm
$t$	= 11,1 mm
$E$	= 203705 N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	= 0,3 -
$\sigma_y$	= 360 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
$t_c$	= 11,1 mm
$k_0$	= 4,8 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	= 19 deg
Rivestimento	= polyethylene -
$H$	= 1,5 m
$r_o$	= 2845 mm
$\gamma_t$	= 19,4 kN/m <sup>3</sup>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 23 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

#### 4.2.2 Verifica tratto rettilineo

MACROAREA (2)	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>	
$S_T$	= 1,000 -
$S_S$	= 1,439 -
$C_C$	= 1,593 -
$S$	= 1,439 -
$T_C$	= 0,451 s
$a_{max}$	= 2,442 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	= 0,176 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\epsilon^S_{SISMA}$	= 0,000096 -
$\epsilon^P_{SISMA}$	= 0,000192 -
$\epsilon^R_{SISMA}$	= 0,000192 -
$k^S_{SISMA}$	= 0,00000292 m <sup>-1</sup>
$k^P_{SISMA}$	= 0,00000112 m <sup>-1</sup>
$k^R_{SISMA}$	= 0,00000292 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\sigma^S_{\epsilon_{SISMA}}$	= 19,60 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{\epsilon_{SISMA}}$	= 39,20 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{\epsilon_{SISMA}}$	= 39,20 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^S_k$	= 0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_k$	= 0,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_k$	= 0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	= 58,80 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k$	= 0,18 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	= 58,98 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>
$\sigma_H$	= 137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	= 127,63 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	= 125,04 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	= 131,60 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>
$F_{LT}$	= 0,35 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	= 0,37 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	= 0,08 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 24 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

#### 4.2.3 Verifica tratto in curva

MACROAREA (2)	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>	
$\delta$	= 11,4 deg
$\phi'$	= 0,332 rad
$\delta$	= 0,199 rad
$K_0$	= 0,674 -
$H_t$	= 1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	= 0,000192 -
$I$	= 269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	= 13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	= 0,000385 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	= 1,06 kN/m
$t_u$	= 7,34 kN/m
$K'$	= 0,47 -
$K_1$	= 0,97 -
$L'$	= 66305 mm
$\Delta$	= 5,89 mm
$s$	= 42,01 kN
$M$	= 13132,92 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>	
$\sigma_{SISMA}^S$	= 3,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	= 9,63 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	= 12,68 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>
$\sigma_H^B$	= 137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	= 81,33 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	= 78,74 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	= 119,33 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>	
$F_{LO}^B$	= 0,23 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	= 0,22 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>	
$F_{VM}^B$	= 0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 25 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

### 4.3 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (3)

#### 4.3.1 Dati di ingresso

DATI DI INPUT		MACROAREA (3)
$a_g$	=	1,706 m/s <sup>2</sup>
$T_c^*$	=	0,282 s
$F_o$	=	2,512 -
Suolo	=	B -
Topografia	=	T2 -
$D_e$	=	406,4 mm
t	=	11,1 mm
E	=	203705 N/mm <sup>2</sup>
v	=	0,3 -
$\sigma_y$	=	360 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
$t_c$	=	11,1 mm
$k_o$	=	6,9 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	=	38 deg
Rivestimento	=	polyethylene -
H	=	1,5 m
$r_o$	=	2845 mm
$\gamma_t$	=	16,9 kN/m <sup>3</sup>

VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 26 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

4.3.2 Verifica tratto rettilineo

		MACROAREA (3)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>		
$S_T$	=	1,200 -
$S_S$	=	1,200 -
$C_C$	=	1,417 -
$S$	=	1,440 -
$T_C$	=	0,400 s
$a_{max}$	=	2,457 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	=	0,157 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\epsilon^S_{SISMA}$	=	0,000086 -
$\epsilon^P_{SISMA}$	=	0,000172 -
$\epsilon^R_{SISMA}$	=	0,000172 -
$k^S_{SISMA}$	=	0,00000293 m <sup>-1</sup>
$k^P_{SISMA}$	=	0,00000113 m <sup>-1</sup>
$k^R_{SISMA}$	=	0,00000293 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\sigma^S_{\epsilon_{SISMA}}$	=	17,49 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{\epsilon_{SISMA}}$	=	34,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{\epsilon_{SISMA}}$	=	34,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^S_{k_{SISMA}}$	=	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{k_{SISMA}}$	=	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{k_{SISMA}}$	=	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	=	52,46 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}$	=	0,18 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	=	52,64 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>
$\sigma_H$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	=	121,29 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	=	118,70 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	=	129,01 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}$	=	0,34 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	=	0,33 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	=	0,36 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	=	0,08 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 27 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

#### 4.3.3 Verifica tratto in curva

		MACROAREA (3)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>		
$\delta$	=	22,8 deg
$\Phi'$	=	0,663 rad
$\delta$	=	0,398 rad
$K_o$	=	0,384 -
$H_t$	=	1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	=	0,000172 -
$I$	=	269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	=	13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	=	0,000421 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	=	1,06 kN/m
$t_u$	=	11,14 kN/m
$K^*$	=	0,47 -
$K_1$	=	0,97 -
$L'$	=	39814 mm
$\Delta$	=	3,22 mm
$s$	=	29,64 kN
$M$	=	7840,01 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>		
$\sigma_{SISMA}^S$	=	2,15 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	=	5,75 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	=	7,90 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>
$\sigma_H^B$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	=	76,55 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	=	73,96 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	=	119,02 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}^B$	=	0,21 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	=	0,21 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>		
$F_{VM}^B$	=	0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO			
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 28 di 43	Rev.: 00	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

#### 4.4 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (4)

##### 4.4.1 Dati di ingresso

DATI DI INPUT		MACROAREA (4)
$a_g$	=	1,706 m/s <sup>2</sup>
$T_c^*$	=	0,282 s
$F_o$	=	2,512 -
Suolo	=	B -
Topografia	=	T2 -
$D_e$	=	406,4 mm
$t$	=	11,1 mm
$E$	=	203705 N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	=	0,3 -
$\sigma_y$	=	360 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
$t_c$	=	11,1 mm
$k_0$	=	6,9 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	=	37 deg
Rivestimento	=	polyethylene -
$H$	=	1,5 m
$r_o$	=	2845 mm
$\gamma_t$	=	16,5 kN/m <sup>3</sup>

VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 29 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

4.4.2 Verifica tratto rettilineo

		MACROAREA (4)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>		
$S_T$	=	1,200 -
$S_S$	=	1,200 -
$C_C$	=	1,417 -
$S$	=	1,440 -
$T_C$	=	0,400 s
$a_{max}$	=	2,457 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	=	0,157 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\epsilon^S_{SISMA}$	=	0,000086 -
$\epsilon^P_{SISMA}$	=	0,000172 -
$\epsilon^R_{SISMA}$	=	0,000172 -
$k^S_{SISMA}$	=	0,00000293 m <sup>-1</sup>
$k^P_{SISMA}$	=	0,00000113 m <sup>-1</sup>
$k^R_{SISMA}$	=	0,00000293 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\sigma^S_{\epsilon_{SISMA}}$	=	17,49 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{\epsilon_{SISMA}}$	=	34,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{\epsilon_{SISMA}}$	=	34,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^S_{k_{SISMA}}$	=	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{k_{SISMA}}$	=	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{k_{SISMA}}$	=	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	=	52,46 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}$	=	0,18 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	=	52,64 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>
$\sigma_H$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	=	121,29 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	=	118,70 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	=	129,01 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}$	=	0,34 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	=	0,33 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	=	0,36 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	=	0,08 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 30 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

4.4.3 Verifica tratto in curva

		MACROAREA (4)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>		
$\delta$	=	22,2 deg
$\Phi'$	=	0,646 rad
$\delta$	=	0,387 rad
$K_0$	=	0,398 -
$H_t$	=	1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	=	0,000172 -
$I$	=	269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	=	13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	=	0,000421 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	=	1,06 kN/m
$t_u$	=	10,67 kN/m
$K^*$	=	0,47 -
$K_1$	=	0,97 -
$L'$	=	41427 mm
$\Delta$	=	3,34 mm
$s$	=	30,80 kN
$M$	=	8140,45 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>		
$\sigma_{SISMA}^S$	=	2,23 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	=	5,97 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	=	8,21 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>
$\sigma_H^B$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	=	76,85 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	=	74,27 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	=	119,04 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}^B$	=	0,21 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	=	0,21 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>		
$F_{VM}^B$	=	0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>			
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 31 di 43	Rev.: 00	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

## 4.5 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (5)

### 4.5.1 Dati di ingresso

		MACROAREA (5)
<b>DATI DI INPUT</b>		
$a_g$	=	1,687 m/s <sup>2</sup>
$T_C^*$	=	0,283 s
$F_o$	=	2,513 -
Suolo	=	C -
Topografia	=	T1 -
$D_e$	=	406,4 mm
$t$	=	11,1 mm
$E$	=	203705 N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	=	0,3 -
$\sigma_y$	=	360 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
$t_c$	=	11,1 mm
$k_o$	=	6,9 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	=	40 deg
Rivestimento	=	polyethylene -
$H$	=	1,5 m
$r_o$	=	2845 mm
$\gamma_t$	=	17 kN/m <sup>3</sup>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 32 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

#### 4.5.2 Verifica tratto rettilineo

MACROAREA (5)	
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>	
$S_T$	= 1,000 -
$S_S$	= 1,441 -
$C_C$	= 1,593 -
$S$	= 1,441 -
$T_C$	= 0,451 s
$a_{max}$	= 2,430 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	= 0,175 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\epsilon^S_{SISMA}$	= 0,000096 -
$\epsilon^P_{SISMA}$	= 0,000192 -
$\epsilon^R_{SISMA}$	= 0,000192 -
$k^S_{SISMA}$	= 0,00000290 m <sup>-1</sup>
$k^P_{SISMA}$	= 0,00000112 m <sup>-1</sup>
$k^R_{SISMA}$	= 0,00000290 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>	
$\sigma^S_{\epsilon_{SISMA}}$	= 19,51 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{\epsilon_{SISMA}}$	= 39,01 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{\epsilon_{SISMA}}$	= 39,01 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^S_{k_{SISMA}}$	= 0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{k_{SISMA}}$	= 0,05 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{k_{SISMA}}$	= 0,12 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	= 58,52 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}$	= 0,18 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	= 58,70 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>
$\sigma_H$	= 137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	= 127,35 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	= 124,76 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	= 131,48 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>
$F_{LT}$	= 0,35 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	= 0,37 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	= 0,08 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 33 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

4.5.3 Verifica tratto in curva

		MACROAREA (5)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>		
$\delta$	=	24 deg
$\phi'$	=	0,698 rad
$\delta$	=	0,419 rad
$K_o$	=	0,357 -
$H_t$	=	1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	=	0,000192 -
$I$	=	269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	=	13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	=	0,000421 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	=	1,06 kN/m
$t_u$	=	11,64 kN/m
$K^*$	=	0,47 -
$K_1$	=	0,97 -
$L'$	=	42283 mm
$\Delta$	=	3,80 mm
$s$	=	35,03 kN
$M$	=	9257,00 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>		
$\sigma_{SISMA}^S$	=	2,54 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	=	6,79 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	=	9,33 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>
$\sigma_H^B$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	=	77,98 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	=	75,39 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	=	119,09 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}^B$	=	0,22 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	=	0,21 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>		
$F_{VM}^B$	=	0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 34 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
		00		

## 4.6 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (6)

### 4.6.1 Dati di ingresso

DATI DI INPUT		MACROAREA (6)
$a_g$	=	1,706 m/s <sup>2</sup>
$T_C^*$	=	0,282 s
$F_o$	=	2,514 -
Suolo	=	C -
Topografia	=	T2 -
$D_e$	=	406,4 mm
t	=	11,1 mm
E	=	203705 N/mm <sup>2</sup>
v	=	0,3 -
$\sigma_y$	=	360 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
$t_c$	=	11,1 mm
$k_o$	=	6,9 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	=	45 deg
Rivestimento	=	polyethylene -
H	=	1,5 m
$r_o$	=	2845 mm
$\gamma_t$	=	19,5 kN/m <sup>3</sup>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 35 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

#### 4.6.2 Verifica tratto rettilineo

		MACROAREA (6)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>		
$S_T$	=	1,200 -
$S_S$	=	1,438 -
$C_C$	=	1,594 -
$S$	=	1,725 -
$T_C$	=	0,450 s
$a_{max}$	=	2,944 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	=	0,212 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\epsilon_{SISMA}^S$	=	0,000116 -
$\epsilon_{SISMA}^P$	=	0,000231 -
$\epsilon_{SISMA}^R$	=	0,000231 -
$k_{SISMA}^S$	=	0,00000352 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^P$	=	0,00000135 m <sup>-1</sup>
$k_{SISMA}^R$	=	0,00000352 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}^S$	=	23,57 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}^P$	=	47,15 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}^R$	=	47,15 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}^S$	=	0,15 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}^P$	=	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}^R$	=	0,15 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	=	70,72 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}$	=	0,21 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	=	70,93 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>
$\sigma_H$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	=	139,58 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	=	137,00 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	=	137,15 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}$	=	0,39 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	=	0,38 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	=	0,38 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	=	0,09 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>					
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 36	di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	
			00		

#### 4.6.3 Verifica tratto in curva

		MACROAREA (6)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>		
$\delta$	=	27 deg
$\phi'$	=	0,785 rad
$\delta$	=	0,471 rad
$K_o$	=	0,293 -
$H_t$	=	1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	=	0,000231 -
$I$	=	269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	=	13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	=	0,000421 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	=	1,06 kN/m
$t_u$	=	14,51 kN/m
$K^*$	=	0,47 -
$K_1$	=	0,97 -
$L'$	=	41100 mm
$\Delta$	=	4,47 mm
$s$	=	41,22 kN
$M$	=	10893,07 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>		
$\sigma_{SISMA}^S$	=	2,99 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	=	7,99 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	=	10,98 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>
$\sigma_H^B$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	=	79,63 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	=	77,04 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	=	119,20 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}^B$	=	0,22 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	=	0,21 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>		
$F_{VM}^B$	=	0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 37	di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
			00	

## 4.7 Verifica a Scuotimento Sismico DN 400 Macroarea (7)

### 4.7.1 Dati di ingresso

		MACROAREA (7)
<b>DATI DI INPUT</b>		
$a_g$	=	1,706 m/s <sup>2</sup>
$T_c^*$	=	0,283 s
$F_o$	=	2,515 -
Suolo	=	B -
Topografia	=	T1 -
$D_e$	=	406,4 mm
$t$	=	11,1 mm
$E$	=	203705 N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	=	0,3 -
$\sigma_y$	=	360 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
$t_c$	=	11,1 mm
$k_0$	=	6,9 N/mm <sup>2</sup>
$\Phi'$	=	35 deg
Rivestimento	=	polyethylene -
$H$	=	1,5 m
$r_o$	=	2845 mm
$\gamma_t$	=	16,2 kN/m <sup>3</sup>

VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 38 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002
		00				

4.7.2 Verifica tratto rettilineo

		MACROAREA (7)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018</b>		
$S_T$	=	1,000 -
$S_S$	=	1,200 -
$C_C$	=	1,416 -
$S$	=	1,200 -
$T_C$	=	0,401 s
$a_{max}$	=	2,048 m/s <sup>2</sup>
$v_{max}$	=	0,131 m/s
<b>CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\epsilon^S_{SISMA}$	=	0,000072 -
$\epsilon^P_{SISMA}$	=	0,000143 -
$\epsilon^R_{SISMA}$	=	0,000143 -
$k^S_{SISMA}$	=	0,00000245 m <sup>-1</sup>
$k^P_{SISMA}$	=	0,00000094 m <sup>-1</sup>
$k^R_{SISMA}$	=	0,00000245 m <sup>-1</sup>
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO</b>		
$\sigma^S_{\epsilon_{SISMA}}$	=	14,61 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{\epsilon_{SISMA}}$	=	29,23 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{\epsilon_{SISMA}}$	=	29,23 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^S_{k_{SISMA}}$	=	0,10 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^P_{k_{SISMA}}$	=	0,04 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma^R_{k_{SISMA}}$	=	0,10 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\epsilon_{SISMA}}$	=	43,84 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{k_{SISMA}}$	=	0,15 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}$	=	43,99 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>
$\sigma_H$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}$	=	112,64 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}$	=	110,05 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}$	=	125,90 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}$	=	0,31 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}$	=	0,31 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
$F_{VM}$	=	0,35 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>
$\epsilon$	=	0,08 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
<b>VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO</b>				
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 39 di 43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

#### 4.7.3 Verifica tratto in curva

		MACROAREA (7)
<b>CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984</b>		
$\delta$	=	21 deg
$\Phi'$	=	0,611 rad
$\delta$	=	0,367 rad
$K_o$	=	0,426 -
$H_t$	=	1,703 m
$\epsilon_{MAX}$	=	0,000143 -
$I$	=	269467012 mm <sup>4</sup>
$A_p$	=	13785 mm <sup>2</sup>
$\lambda$	=	0,000421 mm <sup>-1</sup>
$W_p$	=	1,06 kN/m
$t_u$	=	10,05 kN/m
$K^*$	=	0,47 -
$K_1$	=	0,97 -
$L'$	=	37072 mm
$\Delta$	=	2,51 mm
$s$	=	23,19 kN
$M$	=	6127,76 kN*mm
<b>CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO</b>		
$\sigma_{SISMA}^S$	=	1,68 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^M$	=	4,50 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{SISMA}^{TOT}$	=	6,18 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>
$\sigma_H^B$	=	137,30 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO}^B$	=	74,83 N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT}^B$	=	72,24 N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{VM}^B$	=	118,96 N/mm <sup>2</sup>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 - EN1594</b>		
$F_{LO}^B$	=	0,21 ≤ 0,75 <b>VERIFICATO</b>
$F_{LT}^B$	=	0,20 ≤ 0,90 <b>VERIFICATO</b>
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594</b>		
$F_{VM}^B$	=	0,33 ≤ 1,00 <b>VERIFICATO</b>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 40 di 43		Rev.:			N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

## 5 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 DN 400 (16") dell'intervento 6a e dell'intervento 8a del Rifacimento del Metanodotto Derivazione per Siena DN400 (16") 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.

### 5.1 Sintesi dei risultati

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

#### 5.1.1 Macroarea (1)

MACROAREA (1)						
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> [-]
11,1	120,52	0,33 ≤ 0,75	117,94	0,33 ≤ 0,90	128,71	0,36 ≤ 1,00

Tab. 5.A – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

MACROAREA (1)						
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> [-]
11,1	76,12	0,21 ≤ 0,75	73,53	0,2 ≤ 0,90	119,00	0,33 ≤ 1,00

Tab. 5.B – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 41	di	43	Rev.:	N° Documento Cliente: REL-SIS-09002	

### 5.1.2 Macroarea (2)

MACROAREA (2)						
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> [-]
11,1	127,63	0,35 ≤ 0,75	125,04	0,35 ≤ 0,90	131,60	0,37 ≤ 1,00

**Tab. 5.C – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (2)						
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> [-]
11,1	81,33	0,23 ≤ 0,75	78,74	0,22 ≤ 0,90	119,33	0,33 ≤ 1,00

**Tab. 5.D – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**

### 5.1.3 Macroarea (3)

MACROAREA (3)						
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> [-]
11,1	121,29	0,34 ≤ 0,75	118,70	0,33 ≤ 0,90	129,01	0,36 ≤ 1,00

**Tab. 5.E – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (3)						
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> [-]
11,1	76,55	0,21 ≤ 0,75	73,96	0,21 ≤ 0,90	119,02	0,33 ≤ 1,00

**Tab. 5.F – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 42	di	43	Rev.:		N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

#### 5.1.4 Macroarea (4)

MACROAREA (4)						
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> [-]
11,1	121,29	0,34 ≤ 0,75	118,70	0,33 ≤ 0,90	129,01	0,36 ≤ 1,00

Tab. 5.G – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

MACROAREA (4)						
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> [-]
11,1	76,85	0,21 ≤ 0,75	74,27	0,21 ≤ 0,90	119,04	0,33 ≤ 1,00

Tab. 5.H – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

#### 5.1.5 Macroarea (5)

MACROAREA (5)						
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> [-]
11,1	127,35	0,35 ≤ 0,75	124,76	0,35 ≤ 0,90	131,48	0,37 ≤ 1,00

Tab. 5.I – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

MACROAREA (5)						
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> [-]
11,1	77,98	0,22 ≤ 0,75	75,39	0,21 ≤ 0,90	119,09	0,33 ≤ 1,00

Tab. 5.J – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
VERIFICA DI SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: P22IT04321-SAN-RE-000-001	Foglio 43 di 43	Rev.:				N° Documento Cliente: REL-SIS-09002

### 5.1.6 Macroarea (6)

MACROAREA (6)						
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> [-]
11,1	139,58	0,39 ≤ 0,75	137,00	0,38 ≤ 0,90	137,15	0,38 ≤ 1,00

**Tab. 5.K – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (6)						
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> [-]
11,1	79,63	0,22 ≤ 0,75	77,04	0,21 ≤ 0,90	119,20	0,33 ≤ 1,00

**Tab. 5.L – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**

### 5.1.7 Macroarea (7)

MACROAREA (7)						
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> [-]
11,1	112,64	0,31 ≤ 0,75	110,05	0,31 ≤ 0,90	125,90	0,35 ≤ 1,00

**Tab. 5.M – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo**

MACROAREA (7)						
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> [-]
11,1	74,83	0,21 ≤ 0,75	72,24	0,2 ≤ 0,90	118,96	0,33 ≤ 1,00

**Tab. 5.N – Tabella riassuntiva per il tratto in curva**