



|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 1 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |



Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## METANODOTTO:

### ALLACCIAMENTO BIO ECOAGRIM S.r.l. DI LUCERA DN 100 (4'') – DP 75 bar

## STUDIO SCUOTIMENTO SISMICO


|             |  |                  |                   |                  |             |
|-------------|--|------------------|-------------------|------------------|-------------|
| 2           | Aggiornamento - Emissione per Permessi | M.PIGLIAPOCO     | G.VECCHIO         | M.BEGINI         | 30/04/2019  |
| 1           | Aggiornamento - Emissione per Permessi | M.PIGLIAPOCO     | G.VECCHIO         | M.BEGINI         | 29/03/2019  |
| 0           | Emissione per Permessi                 | M.PIGLIAPOCO     | G.VECCHIO         | M.BEGINI         | 01/03/2019  |
| <b>Rev.</b> | <b>Descrizione</b>                     | <b>Elaborato</b> | <b>Verificato</b> | <b>Approvato</b> | <b>Data</b> |

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 2 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## INDICE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE</b>   | <b>3</b>  |
|          | 1.1 Scopo del documento                                       | 3         |
|          | 1.2 Normativa di riferimento                                  | 3         |
|          | 1.3 Abbreviazioni   | 3         |
| <b>2</b> | <b>DATI DI CALCOLO</b>  | <b>4</b>  |
|          | 2.1 Dati sismici  | 4         |
|          | 2.2 Condizioni di progetto                                    | 4         |
|          | 2.3 Parametri meccanici                                       | 4         |
| <b>3</b> | <b>VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b>                      | <b>6</b>  |
|          | 3.1 Premessa  | 6         |
|          | 3.2 Criterio di verifica                                      | 8         |
|          | 3.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo                  | 9         |
|          | 3.3.1 <i>Massima deformazione indotta dalle onde sismiche</i> | 9         |
|          | 3.4 Metodologia di calcolo tratto in curva                    | 12        |
|          | 3.4.1 <i>Applicazione del criterio di verifica</i>            | 14        |
|          | 3.4.2 <i>Parametri geotecnici</i>                             | 15        |
| <b>4</b> | <b>RISULTATI DEL CALCOLO</b>                                  | <b>16</b> |
|          | 4.1 Dati in ingresso  | 16        |
|          | 4.2 Verifica Tratto rettilineo                                | 17        |
|          | 4.3 Verifica Tratto in curva                                  | 18        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSIONI</b>  | <b>19</b> |

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4”), DP 75 bar</b> | Pag. 3 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo del documento

La presente relazione di analisi sismica si riferisce al:

**- METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l. DI LUCERA DN 100 (4”), 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 nuove norme tecniche NTC (Rif.[2]). Le sollecitazioni calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle “Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe” (Rif.[4]), e alle “Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines” (Rif.[5]), vengono confrontate con gli ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1]).

### 1.2 Normativa di riferimento

[1] ASME B31.8 - 2010 Gas Transmission and Distribution Piping Systems

(solo per applicazioni specifiche es. trappole bidirezionali);

[2] NTC 2018 Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni

[3] ASCE 1984 – Guidelines for the Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline System

[4] ALA ASCE FEMA 2005 - Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe

[5] PRCI (Pipeline Research Council International) 2004 - Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines

[6] UNI EN 1993-4-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 4-3: Condotte"

[7] UNI EN 1998-4:2006 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte”

[8] ASCE (4-98) Seismic Analysis of Safety-related Nuclear Structures and Commentary

### 1.3 Abbreviazioni

- DN Diametro Nominale
- I.N.G.V. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- I.S.P.R.A. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
- NTC Norme Tecniche per le Costruzioni

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 4 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## 2 DATI DI CALCOLO

### 2.1 Dati sismici

Per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo interessato dalle opere in progetto, le indagini geofisiche eseguite (doc. RCG-E-120516\_00), hanno consentito di ottenere per la  $V_{s,30}$  (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo) valori  $<360$  m/s. La descrizione stratigrafica è congruente con quella prevista dalla tab. 3.2.II delle NTC 2018, pertanto il sito in esame ricade nella categoria di sottosuolo "C".

Tutti i parametri delle azioni sismiche in fase di progettazione sono riferiti allo SLV 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/> (software di calcolo dei parametri sismici fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, "Spettri di risposta" ver. 1.03).

Coerentemente con quanto richiesto dalla normativa vigente e in particolar modo dalle NTC Rif. [2] è necessario, successivamente alla raccolta di tutti i dati bibliografici e alla consultazione dei database nazionali che ci permettano di effettuare un primo inquadramento sismico, definire il grado di approfondimento e le indagini da eseguire nelle successive fasi di progettazione in funzione della zona sismica di appartenenza.

Si può affermare che in tutte le zone, ad eccezione della zona Z4 (OPCM 3274/2003) in cui le possibilità di danni sismici sono basse, è necessario effettuare una microzonazione sismica di primo livello, che in molti casi è possibile reperire presso i comuni, mentre per le aree che presentano una elevata criticità sarà necessario una microzonazione di dettaglio (II livello e/o III livello). Gli studi di microzonazione sismica dovranno essere coerenti con gli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Il metodo di verifica di questo documento esclude fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc) rilevabili solamente nelle fasi di progettazione successive.

### 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:

- $\Delta T = 45$  °C
- $P = 75$  bar

### 2.3 Parametri meccanici

METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l. DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar:

- Diametro nominale: DN100 (4")
- Materiale: EN L360 MB

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 5 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

- Spessore di linea minimo: 5.2 mm
- Spessore della curva: 5.2 mm
- Raggio curva prefabbricata (3DN): 305 mm

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 6 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

### 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 il:

#### **- METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l. DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar**

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 dalle onde sinusoidali (Rif. [3], [4] e [5]), distinte come segue:

- onde di volume (di compressione, onde P o primae);
- onde di volume (di taglio, onde S o secundae);
- onde superficiali (onde R o di Rayleigh).
- onde superficiali (onde L o di Love).

Vista la limitata profondità delle condotte sotto la superficie del suolo, sono da ritenersi interessanti entrambe le tipologie di onde: di volume e di superficie.

Nei tratti di tubazione rettilinea tra le onde di volume si ritiene opportuno considerare solo le onde di tipo S (si veda paragrafo 3.3.1), in quanto in grado di portare più energia e generare maggiori spostamenti di terreno rispetto alle onde P (Rif. [4] e [5]).

Nei tratti di tubazione rettilinea per le onde di superficie invece si ritiene opportuno considerare solo le onde R (si veda paragrafo 3.3.1) in quanto inducono tensioni longitudinali significativamente maggiori rispetto alle tensioni flessionali indotte dalle onde L (Rif. [4] e [5]).

Per valutare le deformazioni indotte dal sisma, secondo l'EN 1998-4 cap. 6.3.3 (2) Rif. [7] regola generale è quella di riferirsi alla velocità delle onde di volume per distanze del gasdotto prossime all'epicentro, mentre per distanze maggiori sono più significative le velocità delle onde di superficie. In accordo con ciò, secondo ASCE (1984) - cap. 6.1 Rif. [3], ci si può riferire alla velocità delle onde di volume per distanze dall'epicentro fino a 5 volte la profondità dell'ipocentro, mentre per distanze maggiori si considera appunto la velocità delle onde di superficie (figura 3.4.1).

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 7 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

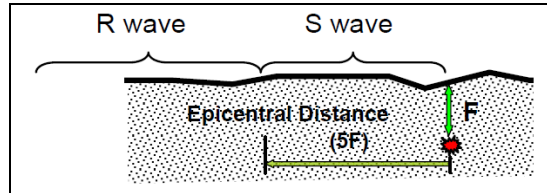


Figura 3.4.1 - Indicazione per la valutazione delle onde sismiche secondo ASCE (1984)

Vista la convergenza a livello europeo e internazionale sulle metodologie finalizzate all'analisi sismica delle tubazioni interrate, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le indicazioni delle Linee Guida Americane Rif. [3], [4] e [5] e degli Eurocodici Rif. [6] e [7].

I riferimenti normativi si ritengono sufficientemente conservativi, considerando la continua ricerca riguardo la velocità apparente dell'onda sismica in funzione del suo angolo di incidenza delle onde P, S, R e L, trascurando (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno. L'interazione tubo-terreno viene invece considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

Infine con riferimento alla Relazione Geologica (RCG-E-120516\_00), visto che il sito non ricade in aree PAI censite dall'AdB Puglia (Fig. 3.1.1), vista la distribuzione granulometrica (RCG-E-120516\_00 - Allegato 03, Sondaggio S1) che esclude la possibilità di liquefazione del terreno (Fig. 3.1.2) e visti i Database esistenti sulle faglie (Fig. 3.1.3 - database esistenti del progetto dell'ISPRA - ITHACA "ITaly HAZard from CApable faults" e della INGV - DISS "Database of Individual Seismogenic Source" che contengono la raccolta di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia), è possibile escludere dal metodo di verifica fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc).

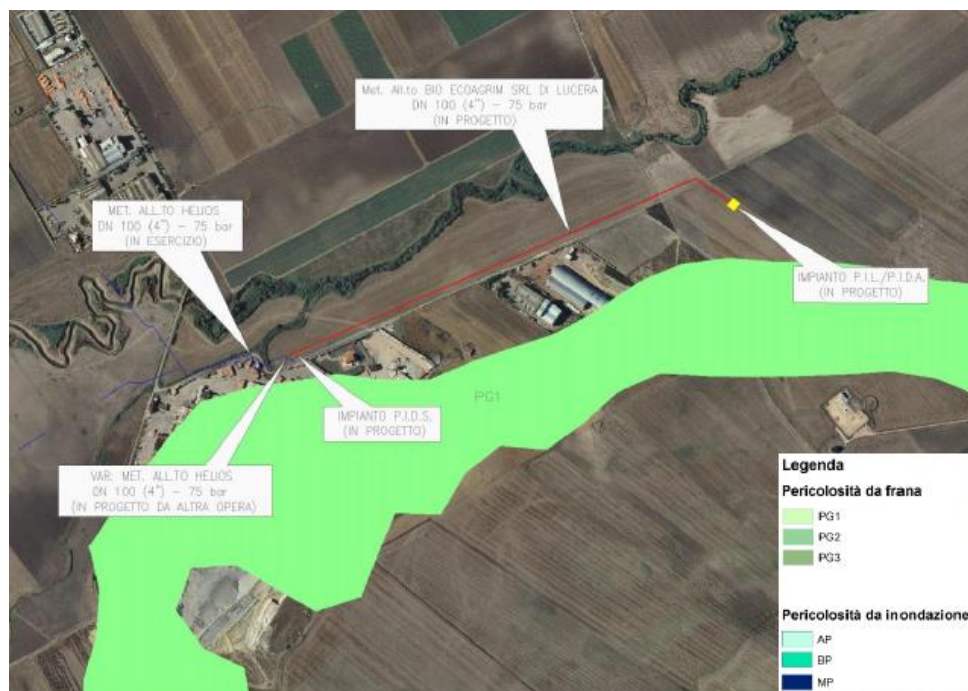
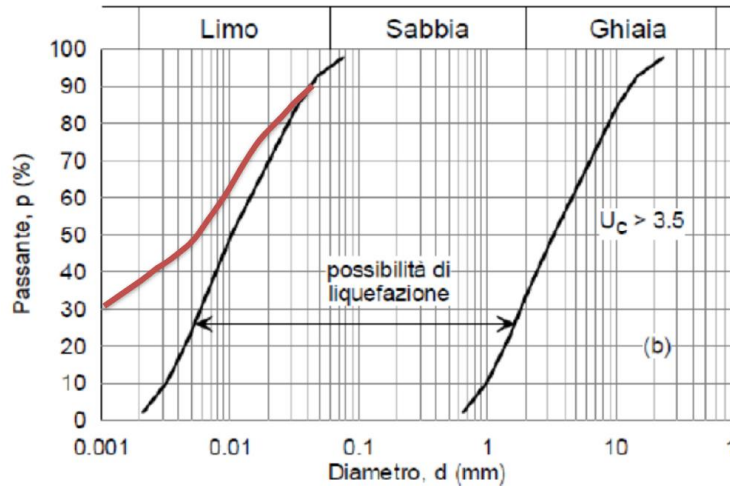


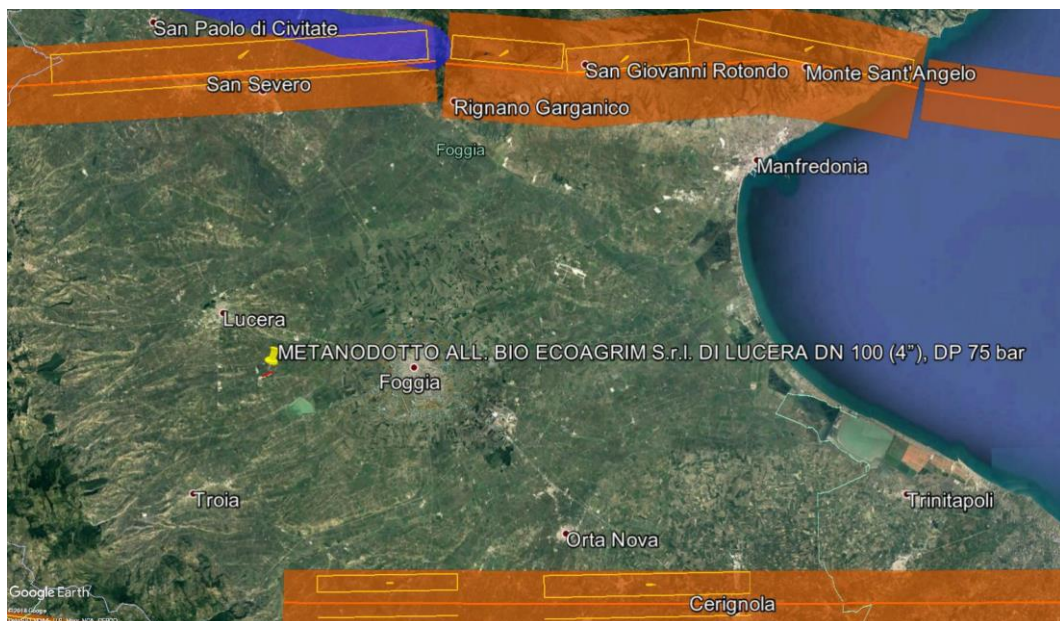
Figura 3.1.1 Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana, da inondazione e del Rischio da Frana" (AdB Puglia) con ubicazione del sito

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br> | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l. DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b>        | Pag. 8 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018



**Figura 3.1.2** Andamento analisi granulometrica (in rosso) del terreno sondato (doc. RCG-E-120516\_00 - Allegato 03, Sondaggio S1) ed Esclusione della verifica alla liquefazione secondo le NTC (Rif. [2] § 7.11.3.4.2, punto 4, figura 7.11.1(b))



**Figura 3.1.3** Stralcio faglie database (la più vicina è la faglia a sud passante per Cerignola, a circa 20km dal metanodotto in progetto)

### 3.2 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap.3.3) e tratto in curva (cap.3.4). Le tensioni indotte dal sisma sulla tubazione, in ciascuno dei suddetti scenari, sono calcolate secondo l'approccio proposto dalle ASCE 1984 (Rif.[3], [4] e [5]).

Le "tensioni sismiche" così determinate sono quindi combinate con i carichi operativi (tipicamente dovuti a salto termico e pressione) secondo le modalità



|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 9 di 19                       | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

previste dalla normativa ASME B31.8 (Rif. [1]) e confrontate con i valori ammissibili definiti nella medesima normativa.

In accordo alla "good engineering practice", una 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 ( $\varepsilon$ ) dovuta ad una tensione di compressione. Per una tubazione a parete sottile, fenomeni di instabilità possono verificarsi per un accorciamento percentuale superiore a  $\varepsilon_{cr}$ , dato dalla seguente espressione (Rif.[3]):

$$\varepsilon_{cr} = 0.35 t / (D - t)$$

### 3.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif.[3]) 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, secondo il modello rigido di Newmark (1967) (Rif.[3]) è di seguito riportata:

$$\varepsilon_g = v / \alpha_\varepsilon c$$

dove:

- $v$  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.[3]):

$$k_g = a / (\alpha_k c)^2$$

dove:

- $a$  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.

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 10 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

Un gasdotto interrato soggetto al passaggio delle onde sismiche subisce sollecitazioni sia longitudinali che flessionali, tuttavia secondo Rif. [4] e [5] le sollecitazioni di tipo flessionale rappresentano tipicamente un effetto del secondo ordine, come evidenziato tra l'altro proprio dalle formule sopra descritte di massima deformazione assiale e massima curvatura, quindi il calcolo del tratto rettilineo verrà focalizzato sulle deformazioni assiali.

Nel caso delle onde S, la direzione di propagazione è ortogonale al moto delle particelle solide come mostrato in figura 3.4.2.

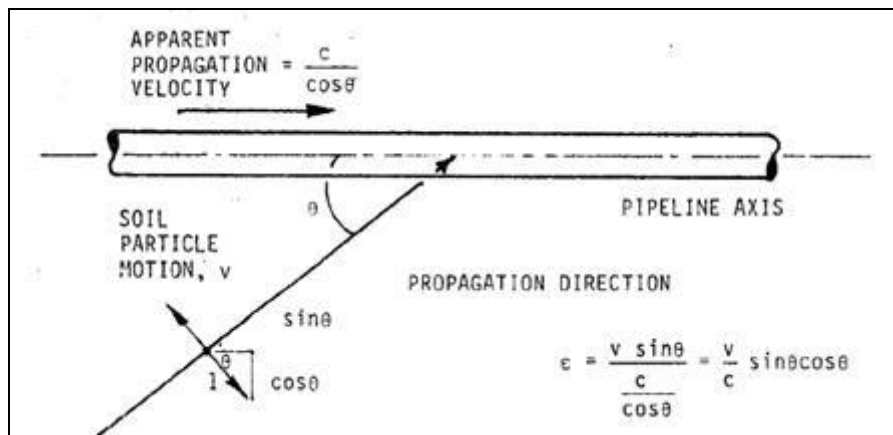


Figura 3.4.2 Effetto longitudinale delle onde di taglio sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

Essendo l'angolo di incidenza generalmente sconosciuto, si assume il valore per il quale si hanno le deformazioni  $\epsilon$  massime del terreno, ovvero per valori di  $\theta$  pari a  $45^\circ$ :

$$\epsilon = \frac{v}{c} \sin 45^\circ \cos 45^\circ = \frac{v}{c} \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{v}{2 \cdot c}$$

Le onde P invece inducono nel suolo movimenti nella medesima direzione di quella di propagazione come mostrato in figura 3.4.3

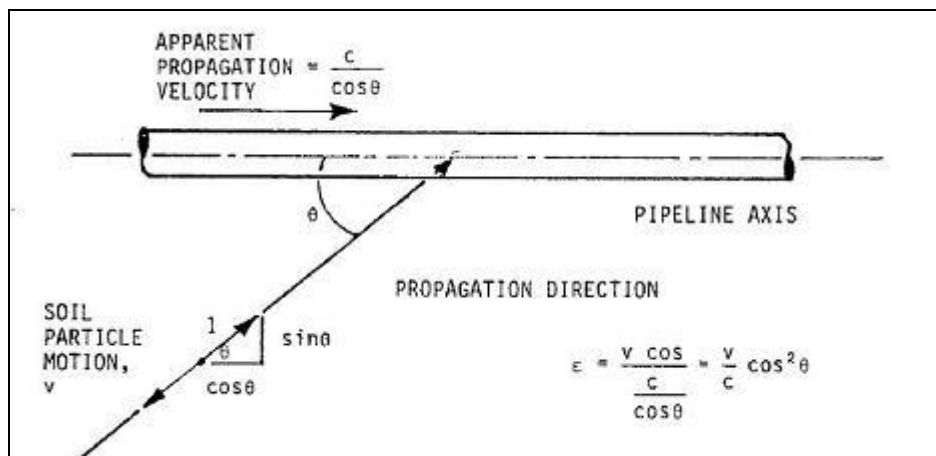


Figura 3.4.3 Effetto longitudinale delle onde di compressione sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 11 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

Il valore dell'angolo di incidenza per il quale si hanno le deformazioni  $\varepsilon$  maggiori del terreno risulta essere per valori di  $\theta$  pari a  $0^\circ$ , ovvero:

$$\varepsilon = \frac{v}{c} \cos 0^\circ = \frac{v}{c}$$

Per le onde di superficie infine le componenti del moto sono per entrambe parallele e ortogonali alla direzione di propagazione dell'onda, quindi si considera il caso conservativo della deformazione massima delle onde P. Ovvero, nel caso specifico, per le onde Rayleigh la Velocità Apparente è la velocità di fase dell'onda stessa.

L'accelerazione massima orizzontale del terreno e la sua velocità massima dovute al sisma sono in realtà la conseguenza dell'insieme composto da tutti i tipi di onde; le corrispondenti velocità apparenti di propagazione d'onda sono una funzione del loro percorso attraverso i materiali più profondi e caratterizzati dalle più alte velocità. Secondo ASCE (4-98) (para C3.5.2.1) (Rif [8]) infatti la velocità apparente da considerare è eccessivamente conservativa se corrisponde a quella associata al terreno più superficiale. In particolare secondo l'ASCE (1984) (Rif [3]) le deformazioni indotte dal sisma in superficie sembrano essere maggiormente legate alle velocità dei materiali vicini alla profondità in cui l'energia sismica viene rilasciata (Hadjian e Hadley, 1981; Goodling, 1980).

M. O'Rourke et. al, (1982) hanno dimostrato che le onde di corpo possono portare in superficie la velocità apparente di propagazione per le onde S in un range da 2.1 km/s fino a 5.3 km/s, senza considerare l'effetto dell'angolo di incidenza.

Manolis et al. (1995) suggeriscono che C possa assumere valori compresi tra  $1.2 \div 3 V_s$  che risultano piuttosto bassi anche in considerazione che sia secondo Rif. [4] e [5] valori di 2000 m/s per onde P e Rayleigh e 4000 m/s per onde S (vale a dire, considerando l'effetto dell'angolo di incidenza,  $2 \times 2000$  m/s) vengono ritenuti ancora conservativi.

Inoltre secondo Rif [3] (elaborato dal Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines) e ASCE (4-98) (Rif [8]) usare valori sotto i 900 m/s circa (3000 fps) è "generalmente inappropriato" ed eccessivamente conservativo, proprio per i motivi sopracitati.

Lo stato tensionale può essere desunto dalla classica relazione

$$\sigma_{SISMA} = E \cdot \varepsilon$$

valutato in conseguenza dell'azione sismica e potrà essere poi sovrapposto allo stato tensionale di progetto preesistente, dovuto alle modalità di posa e di esercizio della tubazione.

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

- "unrestrained pipeline"
- "restrained pipeline"

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 12 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

#### *“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:

$$\sigma_{LO} \leq 0.75\sigma_y$$

con:  $\sigma_{LO} = 0.5\sigma_H + \sigma_{SISMA}$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

#### *“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:

$$\sigma_{LT} \leq 0.90\sigma_y$$

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t \quad \text{e} \quad \sigma_{\Delta T} = \alpha \Delta T E$$

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:  $\sigma_{VM} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$

### 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.[3]) secondo la formula seguente:

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3k_w} \left[ \sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{MAX} K_0}{2t_u \lambda}} - 1 \right]$$

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>     | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 13 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

$$t_u = \frac{\pi D}{2} \gamma_t H (1 + K_o) t g \delta + W_p t g \delta$$

dove:

$$\lambda = \left( \frac{k_w}{4EI} \right)^{1/4}$$

con:

$\varepsilon_{MAX}$  massima deformazione del terreno

$k_w$  modulo di reazione del suolo (terreno alla Winkler)

$I$  momento d'inerzia della sezione

$K_o$  coefficiente di spinta a riposo

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

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{MAX} L' - \frac{t_u L'^2}{2A_p E}}{1 + \frac{k_w L'}{2\lambda A_p E} + 2 \frac{\lambda^2 L' I}{\pi A_p r_0}}$$

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

$$S = \Delta \left( \frac{k_w}{2\lambda} + \frac{2\lambda^2 K^* EI}{r_0 \pi} \right)$$

con:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12(tr_0 / R^2)^2}$$

Il momento flettente sulla curva è:

$$M = \Delta \frac{2\lambda K^* EI}{r_0 \pi}$$

Il fattore di intensificazione dello stress:

$$K_1 = \frac{2}{3K^*} \left\{ 3 \left[ \frac{6}{5 + 6(tr_0 / R^2)^2} \right] \right\}^{-1/2}$$

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4”), DP 75 bar</b> | Pag. 14 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

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

$$\sigma_{SISMA}^S = S/A_p$$

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

$$\sigma_{SISMA}^M = K_1 MD/2I$$

### 3.4.1 Applicazione del criterio di verifica

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

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

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:

$$\sigma_{LO} \leq 0.75\sigma_y$$

con:  $\sigma_{LO} = 0.5\sigma_H + \sigma_{SISMA}^{Curva}$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

#### *“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:

$$\sigma_{LT} \leq 0.90\sigma_y$$

con:  $\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{SISMA}^{Curva}$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

e

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

La normativa ASME B31.8 (para 833.4) prescrive di verificare che la tensione equivalente calcolata secondo “Von Mises” sia compresa entro un valore

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 15 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

ammissibile pari al 100% (carichi occasionali – di breve durata) della tensione di snervamento:

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

con:  $\sigma_{VM} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$

### 3.4.2 Parametri geotecnici

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva per il diametro in oggetto (DN100) si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata (si vedano le indagini ed il modello geotecnico nel doc RCG-E-120516\_00):

**Categoria suolo: C**

**Angolo di attrito: 24°**

**Peso di volume: 21 kN/m<sup>3</sup>**

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

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 16 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## 4 RISULTATI DEL CALCOLO

Essendo i gasdotti ritenuti opere infrastrutturali di importanza strategica (DPCM 21 ottobre 2003 n. 3685 – Dipartimento Protezione Civile) le azioni sismiche sulle tubazioni interrate sono state valutate in accordo alle NTC e alla relazione Geologica con i seguenti parametri:

- Vita nominale della costruzione (Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari,  $VN \geq 50$  anni)
- Coefficiente d'uso della costruzione (Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti,  $C_U = 2$ )

### 4.1 Dati in ingresso

Vita Nominale  $VN \geq 50$  anni)

Classe d'Uso IV

Coefficiente d'Uso  $C_U = 2$

Periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U = 100$  anni

Stato Limite SLV  $\rightarrow P_{VR} = 10\% \rightarrow T_R = 949$  anni

Latitudine (WGS84):  $41.456630^\circ$

Longitudine (WGS84):  $13.387160^\circ$

$a_g = 0.172$        $g = 1.689$        $m/s^2$

$g = 9.816$        $m/s^2$

$T_C^* = 0.473$       s

$F_O = 2.623$       -

sottosuolo = C      -

topografia = T1      -

$D_e = 114.30$       mm

$t = 5.20$       mm

$E = 210000$        $N/mm^2$

$\nu = 0.3$       -

$\sigma_y = 360$        $N/mm^2$

$\alpha = 0.000012$        $1/^\circ C$

$\gamma_p = 78.5$        $kN/m^3$

$C = 2000$       m/s

$\Delta T = 45$        $^\circ C$

$P = 75$       bar =  $7.5$        $N/mm^2$

$t_c = 5.20$       mm

$k_w = 100$        $N/mm^2$

$\varphi = 24$       deg =  $0.41887902$       rad

rivestimento = polyethylene      -

$H = 1.5$       m

$r_0 = 305$       mm

$\gamma_t = 21$        $kN/m^3$



|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 17 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## 4.2 Verifica Tratto rettilineo

### CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC

$$\begin{aligned}
S_T &= 1.00 && - \\
S_S &= 1.429319195 && - \\
C_C &= 1.344562781 && - \\
S &= 1.429319195 && - \\
T_C &= 0.635552498 && s \\
a_{max} &= 2.41 && m/s^2 \\
V_g &= 0.245 && m/s
\end{aligned}$$

### CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\epsilon_{SISMA} = V_g/C = 0.245/2000 = 0.00012271 \quad -$$

### CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{SISMA} = 25.77 \quad N/mm^2$$

### CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LA B31.8

$$\begin{aligned}
\sigma_{\Delta T} &= 113.40 \quad N/mm^2 \\
\sigma_H &= 82.43 \quad N/mm^2 \\
\sigma_{LO} &= 66.98 \quad N/mm^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"} \\
\sigma_{LT} &= 114.44 \quad N/mm^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"} \\
\sigma_{COMB} &= 102.26 \quad N/mm^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}
\end{aligned}$$

### VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LA B31.8

$$\begin{aligned}
F_{LO} &= 0.19 < 0.75 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
F_{LT} &= 0.32 < 0.90 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
F_{COMBO} &= 0.28 < 1.00 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
\epsilon / \epsilon_{cr} &= 0.03 < 1.00 \quad \mathbf{VERIFICATO}
\end{aligned}$$

|   |   |                                    |                           |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>  | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4"), DP 75 bar</b> | Pag. 18 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

### 4.3 Verifica Tratto in curva

#### CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO ASCE 1984

|                                 |             |                  |          |     |
|---------------------------------|-------------|------------------|----------|-----|
| $\delta = 0.6 \times \varphi =$ | 14.4        | deg =            | 0.251327 | rad |
| $K_0 = 1 - \sin\varphi =$       | 0.593263357 | -                |          |     |
| Ht =                            | 1557.15     | mm               |          |     |
| $\epsilon_{MAX} =$              | 0.0001227   | -                |          |     |
| I =                             | 972010000   | mm <sup>4</sup>  |          |     |
| $A_p =$                         | 88000       | mm <sup>2</sup>  |          |     |
| $\lambda =$                     | 0.000591579 | mm <sup>-1</sup> |          |     |
| $W_p =$                         | 0.216       | kN/m             |          |     |
| $t_u =$                         | 2.457191852 | kN/m = N/mm      |          |     |
| $K^* =$                         | 0.29849638  | -                |          |     |
| L' =                            | 5376.055363 | mm               |          |     |
| $K_1 =$                         | 1.333290298 | -                |          |     |
| $\Delta =$                      | 0.615926995 | mm               |          |     |
| S =                             | 79471.35687 | N                |          |     |
| M =                             | 46339475.43 | N*mm             |          |     |

#### CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

|                            |             |                   |
|----------------------------|-------------|-------------------|
| $\sigma^S_{SISMA} =$       | 0.903083601 | N/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma^M_{SISMA} =$       | 3.632631411 | N/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma^{Curva}_{SISMA} =$ | 4.535715012 | N/mm <sup>2</sup> |

#### CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LA B31.8

|                       |        |   |
|-----------------------|--------|---|
| $\sigma_{\Delta T} =$ | 113.40 | N/mm <sup>2</sup>                         |
| $\sigma_H =$          | 82.43  | N/mm <sup>2</sup>                         |
| $\sigma_{LO} =$       | 45.75  | N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma_{LT} =$       | 93.21  | N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"   |

#### VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LA B31.8

|            |      |        |                   |
|------------|------|--------|-------------------|
| $F_{LO} =$ | 0.13 | < 0.75 | <b>VERIFICATO</b> |
| $F_{LT} =$ | 0.26 | < 0.90 | <b>VERIFICATO</b> |

|   |  |                                    |                           |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>    | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/16378</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>00</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br><b>REGIONE PUGLIA</b>   | <b>RE-SIS-001</b>                  |                           |
|   | <b>PROGETTO</b><br><b>METANODOTTO ALL. BIO ECOAGRIM S.r.l.</b><br><b>DI LUCERA DN 100 (4''), DP 75 bar</b> | Pag. 19 di 19                      | <b>Rev.</b><br><b>2</b>   |

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5018

## 5 CONCLUSIONI

Le verifiche eseguite consentono di garantire la conformità della progettazione del gasdotto ai criteri delle linee guida sismiche per condotte interrato (Rif. [3], [4] e [5]), alle NTC (Rif. [2]) ed agli Eurocodici (Rif. [6] e [7]).

I risultati delle analisi presentate nei paragrafi precedenti hanno evidenziato l' idoneità dello spessore utilizzato per la tubazione di linea a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l'evento sismico.

Dai risultati si evince inoltre che in nessun caso si avvicinano i valori di resistenza a rottura dell'acciaio utilizzato per le condotte in progetto. Lo spessore delle tubazioni sia nei tratti rettilinei che in quelli in curva è pertanto idoneo ad assorbire le sollecitazioni sismiche trasmesse.