

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 1 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

METANODOTTO CELLINO ATTANASIO – PINETO

VERIFICA SCUOTIMENTO SISMICO



| | | | | | |
|-------------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | | | | |
| 0 | EMISSIONE PER ENTI | Balducci | Marconi | Banci | 28/06/21 |
| Rev. | Descrizione | Preparato | Verificato | Approvato | Data |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 2 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | SCOPO DEL DOCUMENTO | 4 |
| 2 | RIFERIMENTI | 5 |
| | 2.1 Norme e Standard | 5 |
| | 2.2 Documenti di riferimento | 5 |
| | 2.3 Abbreviazioni | 5 |
| 3 | DATI DI CALCOLO | 6 |
| | 3.1 Dati sismici | 6 |
| | 3.2 Condizioni di progetto | 6 |
| | 3.3 Parametri meccanici | 7 |
| 4 | CRITERI DI VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO | 8 |
| | 4.1 Premessa | 8 |
| | 4.2 Criterio di verifica | 8 |
| | 4.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo | 9 |
| | 4.3.1 Massima deformazione indotta dalle onde sismiche | 9 |
| | 4.3.2 Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione | 11 |
| | 4.3.3 Applicazione del criterio di verifica | 12 |
| | 4.4 Metodologia di calcolo tratto in curva | 13 |
| | 4.4.1 Applicazione del criterio di verifica | 15 |
| | 4.4.2 Parametri geotecnici | 17 |
| | 4.4.3 Parametri Sismici | 18 |
| 5 | VERIFICHE A SCUOTIMENTO SISMICO | 19 |
| | 5.1 Sintesi Parametri di Calcolo | 19 |
| | 5.2 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (1) | 22 |
| | 5.2.1 Dati di ingresso | 22 |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 3 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.2.2 | Verifica tratto rettilineo | 22 |
| 5.2.3 | Verifica tratto in curva | 24 |
| 5.3 | Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (2) | 25 |
| 5.3.1 | Dati di ingresso | 25 |
| 5.3.2 | Verifica tratto rettilineo | 25 |
| 5.3.3 | Verifica tratto in curva | 27 |
| 5.4 | Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (3) | 28 |
| 5.4.1 | Dati di ingresso | 28 |
| 5.4.2 | Verifica tratto rettilineo | 28 |
| 5.4.3 | Verifica tratto in curva | 30 |
| 5.5 | Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (4) | 31 |
| 5.5.1 | Dati di ingresso | 31 |
| 5.5.2 | Verifica tratto rettilineo | 31 |
| 5.5.3 | Verifica tratto in curva | 33 |
| 6 | CONCLUSIONI | 34 |
| 6.1 | Sintesi dei risultati | 35 |
| 6.1.1 | Macroarea (1) | 35 |
| 6.1.2 | Macroarea (2) | 35 |
| 6.1.3 | Macroarea (3) | 36 |
| 6.1.4 | Macroarea (4) | 36 |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 4 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

1 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione di analisi sismica si riferisce al:

- Met. Cellino Attanasio-Pineto DN 200 (8”), DP 75 bar, MOP 60 bar

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo il tracciato, calcolato in accordo a quanto previsto dalle norme tecniche NTC 2018 (Rif.[3]). Le sollecitazioni calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle “Guidelines For The Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline Systems” (Rif.[4]) e tramite le prassi consolidate sul territorio nazionale, vengono confrontate con i valori ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1], [2]).

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 5 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

2 RIFERIMENTI

2.1 Norme e Standard

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

2.2 Documenti di riferimento

- | | | |
|------|----------------------|---|
| [9] | 5718-001-P-RT-D-0007 | Relazione geologica, geomorfologica e geologico-strutturale |
| [10] | 5718-001-P-RT-D-0010 | Relazione sismica |
| [11] | 5718-001-P-RT-D-0013 | Relazione sulle indagini geotecniche e geofisiche |

2.3 Abbreviazioni

- | | | |
|---|----------|---|
| - | ALA | American Lifelines Alliance |
| - | ASCE | American Society of Civil Engineers |
| - | ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| - | D.M. | Decreto Ministeriale |
| - | DN | Diametro Nominale |
| - | DP | Design Pressure |
| - | EN | European Norm |
| - | FEMA | Federal Emergency Management Agency |
| - | I.N.G.V. | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia |
| - | MASW | Multichannel Analysis of Surface Waves |
| - | MOP | Maximum Operating Pressure |
| - | 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 |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 6 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

3 DATI DI CALCOLO

3.1 Dati sismici

Le aree attraversate dal gasdotto sono state oggetto di caratterizzazione sismica, i cui dettagli sono riportati nella “Relazione Sismica” Rif.[10] e nella “Relazione sulle Indagini Geotecniche e Geofisiche” Rif.[11].

I parametri utilizzati in fase di progettazione, necessari per la determinazione delle azioni sismiche (a_g , F_0 , T_c^*), sono riferiti allo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per SLV (con tempo di ritorno $T_R \approx 950$ anni), componenti relative 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 “Spettri di risposta” fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

Alla luce delle indagini geognostiche eseguite che hanno permesso di ricostruire le peculiarità del territorio, e delle indagini sismiche (Rif.[11]) eseguite nell'ambito della realizzazione delle opere stesse, è stato possibile calcolare la VS_{30} 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**” Depositi 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;

3.2 Condizioni di progetto

Di seguito si riportano il salto Termico e il valore di Pressione di esercizio utilizzati per la verifica in concomitanza allo scuotimento sismico della condotta in oggetto:

Salto Termico: ΔT 45 °C
 Pressione: P 75 barg

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 7 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

3.3 Parametri meccanici

DN 8" (200):

- Diametro nominale 200 (8")
- Diametro esterno 219.1 mm
- Diametro Interno 205.1 mm
- Materiale EN L360 NB/MB
- Spessore in linea 7.0 mm
- Spessore in curva 7.0 mm
- Raggio curva (3DN) 600 mm

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 8 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

4 CRITERI DI VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

4.1 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:

- Met. Cellino Attanasio-Pineto DN 200 (8"), DP 75 bar, MOP 60 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 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 prassi consolidate sul territorio nazionale e secondo la Normativa sismica Americana Rif.[4]. Quest'ultima è ritenuta sufficientemente conservativa, poiché considera la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S ed R, anche se trascura (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno. L'interazione tubo-terreno viene invece considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

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

4.2 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap.4.3) e tratto in curva (cap. 4.4). Le tensioni indotte dal sisma

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 9 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

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 "ε" dovuta ad una tensione di compressione.

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

$$\varepsilon_{cr} = 0.35 \frac{t}{D_e - t}$$

4.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif.[4]) prevedono di trascurare l'interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei. Tale assunzione fornisce valori conservativi per quanto concerne lo stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi così come si deforma il suolo circostante 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 stesso, e della rigidità torsionale elevata della sezione circolare, viene effettuata un'analisi statica degli effetti del sisma, trascurando l'amplificazione elastica.

4.3.1 Massima deformazione indotta dalle onde sismiche

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

$$\varepsilon_g = \frac{V_{max}}{\alpha_\varepsilon C}$$

dove:

- ε_g massima deformazione assiale sismica del tubo (e del terreno)
- V_{max} massima velocità del terreno
- α_ε coefficiente di deformazione, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da questa con l'asse longitudinale della condotta
- C velocità apparente di propagazione dell'onda sismica

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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 10 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

$$k_{\max} = k_g = \frac{a_g}{(\alpha_k C)^2}$$

dove:

- k_{\max} massima curvatura sismica della condotta (e del terreno k_g)
- a_g massima accelerazione del terreno
- α_k coefficiente di curvatura del terreno, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da questa con l'asse longitudinale della condotta
- C velocità apparente di propagazione dell'onda sismica

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 (α_ε , α_k), derivati massimizzando l'effetto dell'angolo di incidenza "g".

| Tipo Onda | Massima Deformazione | Coeff. |
|-----------|--|--------------------------|
| S | $\varepsilon_g = -\frac{V_{\max}}{2C}$ | $\alpha_\varepsilon=2.0$ |
| | $k_g = \frac{a_g}{C^2}$ | $\alpha_k=1.0$ |
| P | $\varepsilon_g = -\frac{V_{\max}}{C}$ | $\alpha_\varepsilon=1.0$ |
| | $k_g = \frac{a_g}{2.6C^2}$ | $\alpha_k=1.6$ |
| R | $\varepsilon_g = -\frac{V_{\max}}{C}$ | $\alpha_\varepsilon=1.0$ |
| | $k_g = \frac{a_g}{C^2}$ | $\alpha_k=1.0$ |

Tab. 4.A - Massima deformazione sismica

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 11 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

4.3.2 Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione

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

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{V_{\max}}{C} \sin \vartheta \cos \vartheta$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{D_e a_g}{2 C^2} \cos^3 \vartheta$$

dove:

E modulo di elasticità del materiale della condotta

Massimizzando questi valori rispetto all’angolo di incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_{ε} e σ_k si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 45^\circ$ e $\vartheta = 0^\circ$:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{V_{\max}}{2C}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{D a_g}{2 C^2}$$

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

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

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^P = \pm E \frac{D a_g}{2 C^2} \sin \vartheta \cos^2 \vartheta$$

Massimizzando questi valori rispetto all’angolo d’incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_{ε} e σ_k si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 0^\circ$ e $\vartheta = 35^\circ 16'$:

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

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^P = \pm 0.385 E \frac{D a_g}{2 C^2}$$

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 12 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

Le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R, sono una combinazione delle precedenti onde P ed S e, nei valori massimi, risultano rispettivamente:

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

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^R = \pm E \frac{D a_g}{2 C^2}$$

4.3.3 Applicazione del criterio di verifica

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

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

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

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

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

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 (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:

$$\sigma_{LO} = 0.5\sigma_H + \sigma_{\text{SISMA}}$$

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 13 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

dove:

$$\sigma_H = \frac{PD_e}{2t}$$

“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:

$$\sigma_{LT} \leq 0.9\sigma_Y$$

con:

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

dove:

$$\sigma_H = \frac{PD_e}{2t}$$

e

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

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:

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

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

4.4 Metodologia di calcolo tratto in curva

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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 14 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

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:

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3k_0} \left[\sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{MAX} k_0}{2t_u \lambda}} - 1 \right]$$

$$t_u = \frac{\pi D_e}{2} \gamma_n H_t (1 + K_0) \operatorname{tg} \delta + W_p \operatorname{tg} \delta$$

dove:

$$\lambda = \left(\frac{k_0}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

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

$$\varepsilon_{MAX} = \frac{V_{MAX}}{C}$$

con:

k₀ modulo di reazione laterale del suolo
K₀ coefficiente di spinta a riposo del terreno

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

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{MAX} L' - \frac{t_u L'^2}{2A_p E}}{1 + \frac{k_0 L'}{2\lambda A_p E} + 2 \frac{\lambda^2 L' I}{\pi A_p r_0}}$$

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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 15 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

$$S = \Delta \left(\frac{k_0}{2\lambda} + \frac{2\lambda^2 K^* EI}{r_0 \pi} \right)$$

con:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12(t_c r_0 / R_e^2)^2}$$

Il momento flettente sulla curva vale:

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

K_1 è il fattore di intensificazione delle tensioni:

$$K_1 = \frac{2}{3K^*} \left\{ 3 \left[\frac{6}{5 + 6(t_c r_0 / R_e^2)^2} \right] \right\}^{-\frac{1}{2}}$$

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:

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

4.4.1 Applicazione del criterio di verifica

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 16 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

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

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:

$$\sigma_{LO}^B \leq 0.75\sigma_Y$$

con:

$$\sigma_{LO}^B = 0.5\sigma_H^B + \sigma_{SISMA}^{TOT}$$

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{PD_e}{2t_c}$$

“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:

$$\sigma_{LT}^B \leq 0.9\sigma_Y$$

con:

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

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{PD_e}{2t_c}$$

e

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

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.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 17 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

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:

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

4.4.2 Parametri geotecnici

Il tracciato è stato suddiviso in 4 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.[11].

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva per il diametro in oggetto (DN 200) si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata:

| Macroarea | Categoria Sottosuolo | angolo di attrito [°] | peso di volume [kN/m ³] | Categoria Topografica | Progressiva Chilometrica |
|-----------|----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| (1) | C | 23 | 19 | T1 | da 0+000 a 15+000 |
| (2) | C | 22 | 20 | T2 | da 15+000 a 16+000 |
| (3) | C | 25 | 20 | T1 | da 16+000 a 17+700 |
| (4) | C | 25 | 19 | T2 | da 17+700 a 20+287 |

Tab. 4.B - parametri geotecnici

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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 18 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

4.4.3 Parametri Sismici

Per la verifica a scuotimento sismico sono stati applicati i parametri sismici riportati qui di seguito in tabella per ciascuna delle 4 macroaree:

| Macroarea | a_g [g] | F_0 | T_c^* [s] | Progressiva Chilometrica |
|-----------|--------------|-------|----------------|-----------------------------|
| (1) | 0.226 | 2.492 | 0.353 | 0+000 |
| (2) | 0.215 | 2.442 | 0.351 | 15+000 |
| (3) | 0.212 | 2.444 | 0.352 | 16+000 |
| (4) | 0.210 | 2.449 | 0.353 | 17+700 |

Tab. 4.C- parametri sismici

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 19 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5 VERIFICHE A SCUOTIMENTO SISMICO

5.1 Sintesi Parametri 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_0 | valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale |
| Cat. Suolo | categoria del sottosuolo |
| Cat. Topo | categoria topografica |
| D_e | diametro esterno condotta |
| t | spessore condotta tratto rettilineo |
| E | modulo di elasticità materiale condotta |
| ν | coefficiente di Poisson materiale condotta |
| σ_Y | limite di snervamento materiale condotta |
| α | coefficiente di dilatazione termica materiale condotta |
| γ_p | densità acciaio |
| C | velocità apparente di propagazione dell'onda sismica |
| ΔT | salto termico di progetto |
| P | pressione interna di progetto |
| t_c | spessore condotta tratto in curva |
| k_0 | modulo di reazione laterale del suolo |
| ϕ | angolo di attrito suolo |
| rivest. | materiale rivestimento condotta |
| H | copertura minima suolo |
| r_0 | raggio di curvatura della deviazione |
| γ_n | peso di volume naturale del suolo |
| S_T | coefficiente di amplificazione topografica |
| S_S | coefficiente di amplificazione stratigrafica |
| C_C | coefficiente funzione della categoria di sottosuolo |
| S_{NTC} | 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 |
| ϵ_{SISMA}^S | deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di taglio |
| ϵ_{SISMA}^P | deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di compressione |
| ϵ_{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 |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 20 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

| | |
|--------------------------------------|---|
| $\sigma_{E\text{SISMA}}^S$ | tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di taglio |
| $\sigma_{E\text{SISMA}}^P$ | tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di compressione |
| $\sigma_{E\text{SISMA}}^R$ | tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh |
| $\sigma_{k\text{SISMA}}^S$ | tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di taglio |
| $\sigma_{k\text{SISMA}}^P$ | tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di compressione |
| $\sigma_{k\text{SISMA}}^R$ | tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh |
| $\sigma_{E\text{SISMA}}$ | tensione totale dovuta alla deformazione assiale (tratto rettilineo) |
| $\sigma_{k\text{SISMA}}$ | tensione totale per sisma, dovuta alla curvatura (tratto rettilineo) |
| σ_{SISMA} | tensione totale sismica (tratto rettilineo) |
| $\sigma_{\Delta T}$ | tensione dovuta al salto termico (tratto rettilineo) |
| σ_H | tensione circonferenziale (tratto rettilineo) |
| σ_{LO} | combinazione tensioni longitudinali UNRESTRAINED (tratto rettilineo) |
| σ_{LT} | combinazione tensioni longitudinali RESTRAINED (tratto rettilineo) |
| σ_{VM} | combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto rettilineo) |
| F_{LO} | rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max ammissibile UNRESTRAINED (tratto rettilineo) |
| F_{LT} | rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max. ammissibile RESTRAINED (tratto rettilineo) |
| F_{VM} | rapporto tra tensioni combinate e tensione max. ammissibile RESTRAINED (tratto rettilineo) |
| ϵ | rapporto tra deformazione di progetto e deformazione massima ammissibile |
| δ | angolo di attrito tubo-terreno |
| K_0 | coefficiente di spinta a riposo del terreno |
| H_t | quota da piano campagna ad asse tubo |
| ϵ_{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 |
| λ | 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 |
| Δ | spostamento dovuto allo scorrimento del tubo nel terreno |
| S | forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale parallelo all'onda sismica |
| M | momento flettente sulla curva |
| σ_{SISMA}^S | tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S |
| σ_{SISMA}^M | tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M |
| $\sigma_{\text{SISMA}}^{\text{TOT}}$ | tensione totale sismica (tratto in curva) |
| σ_{DT}^B | tensione dovuta al salto termico (tratto in curva) |
| σ_H^B | tensione circonferenziale (tratto in curva) |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 21 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

| | |
|-----------------|--|
| σ_{LO}^B | combinazione tensioni longitudinali UNRESTRAINED (tratto in curva) |
| σ_{LT}^B | combinazione tensioni longitudinali RESTRAINED (tratto in curva) |
| σ_{VM}^B | combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto in curva) |
| F_{LO}^B | rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max. ammissibile UNRESTRAINED (tratto in curva) |
| F_{LT}^B | rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max. ammissibile RESTRAINED (tratto in curva) |
| F_{VM}^B | rapporto tra tensioni combinate e tensione max. ammissibile (tratto in curva) |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 22 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.2 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (1)

5.2.1 Dati di ingresso

| | | | |
|------------|---|--------------|-------------------|
| a_g | = | 2.216 | m/s ² |
| T_c^* | = | 0.353 | s |
| F_0 | = | 2.492 | - |
| Cat. Suolo | = | C | - |
| Cat. Topo | = | T1 | - |
| D_e | = | 219.1 | mm |
| t | = | 7 | mm |
| E | = | 203705 | N/mm ² |
| ν | = | 0.3 | - |
| σ_Y | = | 360 | N/mm ² |
| α | = | 0.0000117 | 1/°C |
| γ_p | = | 77 | kN/m ³ |
| C | = | 915 | m/s |
| ΔT | = | 45 | °C |
| P | = | 75 | bar |
| t_c | = | 7 | mm |
| k_0 | = | 6.89 | N/mm ² |
| φ | = | 23 | deg |
| rivest. | = | polyethylene | - |
| H | = | 1.5 | m |
| r_0 | = | 600 | mm |
| γ_n | = | 19 | kN/m ³ |

5.2.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

| | | | |
|-----------|---|---------|------------------|
| S_T | = | 1.00 | - |
| S_S | = | 1.362 | - |
| C_C | = | 1.481 | - |
| S_{NTC} | = | 1.362 | - |
| T_C | = | 0.523 | s |
| a_{max} | = | 3.01905 | m/s ² |
| V_{MAX} | = | 0.2525 | m/s |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 23 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{SISMA}^S &= 0.000137955 \text{ -} \\
 \epsilon_{SISMA}^P &= 0.000275910 \text{ -} \\
 \epsilon_{SISMA}^R &= 0.000275910 \text{ -} \\
 K_{SISMA}^S &= 0.000003606 \text{ m}^{-1} \\
 K_{SISMA}^P &= 0.000001388 \text{ m}^{-1} \\
 K_{SISMA}^R &= 0.000003606 \text{ m}^{-1}
 \end{aligned}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\epsilon}^{S_{SISMA}} &= 28.10 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_{\epsilon}^{P_{SISMA}} &= 56.20 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_{\epsilon}^{R_{SISMA}} &= 56.20 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_k^{S_{SISMA}} &= 0.08 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_k^{P_{SISMA}} &= 0.03 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_k^{R_{SISMA}} &= 0.08 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_{\epsilon}^{SISMA} &= 84.31 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_k^{SISMA} &= 0.12 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_{SISMA} &= 84.42 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\Delta T} &= 107.25 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_H &= 117.38 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_{LO} &= 143.11 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"} \\
 \sigma_{LT} &= 156.46 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"} \\
 \sigma_{VM} &= 141.04 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}
 \end{aligned}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\begin{aligned}
 F_{LO} &= 0.40 < 0.75 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
 F_{LT} &= 0.43 < 0.90 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
 F_{VM} &= 0.39 < 1.00 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
 \epsilon &= 0.08 < 1.00 \quad \mathbf{VERIFICATO}
 \end{aligned}$$

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 24 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.2.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

| | | |
|------------------|---|------------------------------|
| δ | = | 13.8 deg |
| φ | = | 0.401425728 rad |
| δ | = | 0.240855437 rad |
| K_o | = | 0.609268872 - |
| H_t | = | 1.60955 m |
| ϵ_{MAX} | = | 0.000275910 - |
| I | = | 26257460.15 mm ⁴ |
| A_p | = | 4664.322613 mm ² |
| λ | = | 0.000753314 mm ⁻¹ |
| W_p | = | 0.359152841 kN/m |
| t_u | = | 4.24846188 kN/m |
| K^* | = | 0.215324225 - |
| K_1 | = | 1.747594745 - |
| L' | = | 51959.90612 mm |
| Δ | = | 5.819811196 mm |
| S | = | 30.65059372 kN |
| M | = | 5357.488797 kN*mm |

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

| | | |
|------------------------|---|-------------------------------|
| σ^{SISMA} | = | 6.571285107 N/mm ² |
| σ^M_{SISMA} | = | 39.06264695 N/mm ² |
| σ^{TOT}_{SISMA} | = | 45.63393206 N/mm ² |

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | |
|-------------------|---|--|
| $\sigma^{B_{DT}}$ | = | 107.25 N/mm ² |
| σ^{B_H} | = | 117.38 N/mm ² |
| $\sigma^{B_{LO}}$ | = | 104.32 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{LT}}$ | = | 117.67 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{VM}}$ | = | 117.52 N/mm ² |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{LO}}$ | = | 0.29 < 0.75 | VERIFICATO |
| $F^{B_{LT}}$ | = | 0.33 < 0.90 | VERIFICATO |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{VM}}$ | = | 0.33 < 1.00 | VERIFICATO |
|--------------|---|-------------|-------------------|

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 25 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.3 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (2)

5.3.1 Dati di ingresso

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| a_g | = | 2.108 m/s ² |
| T_c^* | = | 0.351 s |
| F_0 | = | 2.442 - |
| Cat. Suolo | = | C - |
| Cat. Topo | = | T2 - |
| D_e | = | 219.1 mm |
| t | = | 7 mm |
| E | = | 203705 N/mm ² |
| ν | = | 0.3 - |
| σ_Y | = | 360 N/mm ² |
| α | = | 0.0000117 1/°C |
| γ_p | = | 77 kN/m ³ |
| C | = | 915 m/s |
| ΔT | = | 45 °C |
| P | = | 75 bar |
| t_c | = | 7 mm |
| k_0 | = | 6.89 N/mm ² |
| φ | = | 22 deg |
| rivest. | = | polyethylene - |
| H | = | 1.5 m |
| r_0 | = | 600 mm |
| γ_n | = | 20 kN/m ³ |

5.3.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

| | | |
|-----------|---|--------------------------|
| S_T | = | 1.20 - |
| S_S | = | 1.385 - |
| C_C | = | 1.483 - |
| S_{NTC} | = | 1.662 - |
| T_C | = | 0.521 s |
| a_{max} | = | 3.50444 m/s ² |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 26 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

$$V_{MAX} = 0.2919 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{S_{SISMA}} = 0.000159526 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{P_{SISMA}} = 0.000319053 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{R_{SISMA}} = 0.000319053 \text{ -}$$

$$K^{S_{SISMA}} = 0.000004186 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{P_{SISMA}} = 0.000001612 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{R_{SISMA}} = 0.000004186 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 32.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{P_{SISMA}} = 64.99 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{R_{SISMA}} = 64.99 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{S_{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{P_{SISMA}} = 0.04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{R_{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{SISMA} = 97.49 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{SISMA} = 0.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{SISMA} = 97.63 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 156.31 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 169.66 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 150.49 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.43 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.47 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.42 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.09 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 27 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.3.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

| | | |
|------------------|---|------------------------------|
| δ | = | 13.2 deg |
| φ | = | 0.383972435 rad |
| δ | = | 0.230383461 rad |
| K_o | = | 0.625393407 - |
| H_t | = | 1.60955 m |
| ϵ_{MAX} | = | 0.000319053 - |
| I | = | 26257460.15 mm ⁴ |
| A_p | = | 4664.322613 mm ² |
| λ | = | 0.000753314 mm ⁻¹ |
| W_p | = | 0.359152841 kN/m |
| t_u | = | 4.307876969 kN/m |
| K^* | = | 0.215324225 - |
| K_1 | = | 1.747594745 - |
| L' | = | 58159.84601 mm |
| Δ | = | 7.371317538 mm |
| S | = | 38.82175064 kN |
| M | = | 6785.744382 kN*mm |

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

| | | |
|------------------------|---|-------------------------------|
| $\sigma^{S_{SISMA}}$ | = | 8.323127251 N/mm ² |
| $\sigma^{M_{SISMA}}$ | = | 49.47637731 N/mm ² |
| $\sigma^{TOT_{SISMA}}$ | = | 57.79950456 N/mm ² |

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | |
|-------------------|---|--|
| $\sigma^{B_{DT}}$ | = | 107.25 N/mm ² |
| σ^{B_H} | = | 117.38 N/mm ² |
| $\sigma^{B_{LO}}$ | = | 116.49 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{LT}}$ | = | 129.84 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{VM}}$ | = | 124.08 N/mm ² |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{LO}}$ | = | 0.32 < 0.75 | VERIFICATO |
| $F^{B_{LT}}$ | = | 0.36 < 0.90 | VERIFICATO |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{VM}}$ | = | 0.34 < 1.00 | VERIFICATO |
|--------------|---|-------------|-------------------|

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 28 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.4 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (3)

5.4.1 Dati di ingresso

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| a_g | = | 2.079 m/s ² |
| T_c^* | = | 0.352 s |
| F_0 | = | 2.444 - |
| Cat. Suolo | = | C - |
| Cat. Topo | = | T1 - |
| D_e | = | 219.1 mm |
| t | = | 7 mm |
| E | = | 203705 N/mm ² |
| ν | = | 0.3 - |
| σ_Y | = | 360 N/mm ² |
| α | = | 0.0000117 1/°C |
| γ_p | = | 77 kN/m ³ |
| C | = | 915 m/s |
| ΔT | = | 45 °C |
| P | = | 75 bar |
| t_c | = | 7 mm |
| k_0 | = | 6.89 N/mm ² |
| φ | = | 25 deg |
| rivest. | = | polyethylene - |
| H | = | 1.5 m |
| r_0 | = | 600 mm |
| γ_n | = | 20 kN/m ³ |

5.4.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

| | | |
|-----------|---|--------------------------|
| S_T | = | 1.00 - |
| S_S | = | 1.389 - |
| C_C | = | 1.482 - |
| S_{NTC} | = | 1.389 - |
| T_C | = | 0.522 s |
| a_{max} | = | 2.88822 m/s ² |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 29 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

$$V_{MAX} = 0.2411 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{S_{SISMA}} = 0.000131726 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{P_{SISMA}} = 0.000263452 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{R_{SISMA}} = 0.000263452 \text{ -}$$

$$K^{S_{SISMA}} = 0.000003450 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{P_{SISMA}} = 0.000001328 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{R_{SISMA}} = 0.000003450 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 26.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{P_{SISMA}} = 53.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{R_{SISMA}} = 53.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{S_{SISMA}} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{P_{SISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{R_{SISMA}} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{SISMA} = 80.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{SISMA} = 0.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{SISMA} = 80.61 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 139.30 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 152.65 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 138.43 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.39 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.42 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.38 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 30 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.4.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

| | | |
|------------------|---|------------------------------|
| δ | = | 15 deg |
| φ | = | 0.436332313 rad |
| δ | = | 0.261799388 rad |
| K_o | = | 0.577381738 - |
| H_t | = | 1.60955 m |
| ϵ_{MAX} | = | 0.000263452 - |
| I | = | 26257460.15 mm ⁴ |
| A_p | = | 4664.322613 mm ² |
| λ | = | 0.000753314 mm ⁻¹ |
| W_p | = | 0.359152841 kN/m |
| t_u | = | 4.778823101 kN/m |
| K^* | = | 0.215324225 - |
| K_1 | = | 1.747594745 - |
| L' | = | 45053.48682 mm |
| Δ | = | 4.939477576 mm |
| S | = | 26.0142323 kN |
| M | = | 4547.088365 kN*mm |

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

| | | |
|------------------------|---|-------------------------------|
| $\sigma^{S_{SISMA}}$ | = | 5.577279802 N/mm ² |
| $\sigma^{M_{SISMA}}$ | = | 33.15383648 N/mm ² |
| $\sigma^{TOT_{SISMA}}$ | = | 38.73111628 N/mm ² |

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | |
|-------------------|---|---|
| $\sigma^{B_{DT}}$ | = | 107.25 N/mm ² |
| σ^{B_H} | = | 117.38 N/mm ² |
| $\sigma^{B_{LO}}$ | = | 97.42 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{LT}}$ | = | 110.77 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{VM}}$ | = | 114.22 N/mm ² |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{LO}}$ | = | 0.27 < 0.75 | VERIFICATO |
| $F^{B_{LT}}$ | = | 0.31 < 0.90 | VERIFICATO |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{VM}}$ | = | 0.32 < 1.00 | VERIFICATO |
|--------------|---|-------------|-------------------|

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 31 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.5 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (4)

5.5.1 Dati di ingresso

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| a_g | = | 2.059 m/s ² |
| T_c^* | = | 0.353 s |
| F_0 | = | 2.449 - |
| Cat. Suolo | = | C - |
| Cat. Topo | = | T2 - |
| D_e | = | 219.1 mm |
| t | = | 7 mm |
| E | = | 203705 N/mm ² |
| ν | = | 0.3 - |
| σ_Y | = | 360 N/mm ² |
| α | = | 0.0000117 1/°C |
| γ_p | = | 77 kN/m ³ |
| C | = | 915 m/s |
| ΔT | = | 45 °C |
| P | = | 75 bar |
| t_c | = | 7 mm |
| k_0 | = | 6.89 N/mm ² |
| φ | = | 25 deg |
| rivest. | = | polyethylene - |
| H | = | 1.5 m |
| r_0 | = | 600 mm |
| γ_n | = | 19 kN/m ³ |

5.5.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

| | | |
|-----------|---|--------------------------|
| S_T | = | 1.20 - |
| S_S | = | 1.392 - |
| C_C | = | 1.481 - |
| S_{NTC} | = | 1.670 - |
| T_C | = | 0.523 s |
| a_{max} | = | 3.43886 m/s ² |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 32 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

$$V_{MAX} = 0.2876 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\epsilon^{S_{SISMA}} = 0.000157138 \text{ -}$$

$$\epsilon^{P_{SISMA}} = 0.000314276 \text{ -}$$

$$\epsilon^{R_{SISMA}} = 0.000314276 \text{ -}$$

$$K^{S_{SISMA}} = 0.000004107 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{P_{SISMA}} = 0.000001581 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{R_{SISMA}} = 0.000004107 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\epsilon}^{S_{SISMA}} = 32.01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon}^{P_{SISMA}} = 64.02 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon}^{R_{SISMA}} = 64.02 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{S_{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{P_{SISMA}} = 0.04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{R_{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon}^{SISMA} = 96.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{SISMA} = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{SISMA} = 96.16 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 154.85 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 168.20 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 149.42 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.43 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.47 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.42 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\epsilon = 0.09 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 33 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

5.5.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

| | | |
|------------------|---|------------------------------|
| δ | = | 15 deg |
| φ | = | 0.436332313 rad |
| δ | = | 0.261799388 rad |
| K_o | = | 0.577381738 - |
| H_t | = | 1.60955 m |
| ϵ_{MAX} | = | 0.000314276 - |
| I | = | 26257460.15 mm ⁴ |
| A_p | = | 4664.322613 mm ² |
| λ | = | 0.000753314 mm ⁻¹ |
| W_p | = | 0.359152841 kN/m |
| t_u | = | 4.544693681 kN/m |
| K^* | = | 0.215324225 - |
| K_1 | = | 1.747594745 - |
| L' | = | 54846.14321 mm |
| Δ | = | 6.926578927 mm |
| S | = | 36.4794921 kN |
| M | = | 6376.335546 kN*mm |

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

| | | |
|------------------------|---|-------------------------------|
| σ^{SISMA} | = | 7.82096247 N/mm ² |
| σ^M_{SISMA} | = | 46.49128608 N/mm ² |
| σ^{TOT}_{SISMA} | = | 54.31224855 N/mm ² |

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | |
|-------------------|---|--|
| $\sigma^{B_{DT}}$ | = | 107.25 N/mm ² |
| σ^{B_H} | = | 117.38 N/mm ² |
| $\sigma^{B_{LO}}$ | = | 113.00 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{LT}}$ | = | 126.35 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma^{B_{VM}}$ | = | 122.11 N/mm ² |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{LO}}$ | = | 0.31 < 0.75 | VERIFICATO |
| $F^{B_{LT}}$ | = | 0.35 < 0.90 | VERIFICATO |

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

| | | | |
|--------------|---|-------------|-------------------|
| $F^{B_{VM}}$ | = | 0.34 < 1.00 | VERIFICATO |
|--------------|---|-------------|-------------------|

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 34 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

6 CONCLUSIONI

La tubazione DN 200 (8"), per il rifacimento del metanodotto Cellino Attanasio-Pineto risulta positivamente verificata a scuotimento sismico lungo tutto il tracciato. Lo spessore del tubo nei tratti rettilinei ed in curva è idoneo ad assorbire le sollecitazioni trasmesse dal sisma in oggetto.

Deve essere in ogni caso prevista l'adozione di una serie di misure atte ad aumentare la capacità della tubazione ad assorbire i movimenti differenziali e le tensioni indotte da un sisma tra cui l'esecuzione di controlli non distruttivi accurati su tutte le saldature volta ad escludere la presenza di punti di debolezza tra barra e barra.

Inoltre, poiché il calcolo presentato in questo documento si limita alla verifica allo scuotimento sismico (shaking) e non prende in considerazione gli effetti di singolarità lungo il tracciato, come faglie superficiali e/o l'attraversamento di zone soggette a fenomeni franosi, si sottolinea l'importanza dell'approfondimento di tali aspetti e si rimanda al Rif.[10].

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 35 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

6.1 Sintesi dei risultati

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

6.1.1 Macroarea (1)

| Tratto Rettilineo | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| spessore [mm] | σ_{LO} [N/mm ²] | F_{LO} [-] | σ_{LT} [N/mm ²] | F_{LT} [-] | σ_{VM} [N/mm ²] | F_{VM} [-] |
| 7.0 | 143.11 | 0.40 ≤ 0.75 | 156.46 | 0.43 ≤ 0.90 | 141.04 | 0.39 ≤ 1.00 |

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

| Tratto in Curva | | | | | | |
|------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| spessore [mm] | σ^B_{LO} [N/mm ²] | F^B_{LO} [-] | σ^B_{LT} [N/mm ²] | F^B_{LT} [-] | σ^B_{VM} [N/mm ²] | F^B_{VM} [-] |
| 7.0 | 104.32 | 0.39 ≤ 0.75 | 117.67 | 0.33 ≤ 0.90 | 117.52 | 0.33 ≤ 1.00 |

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

6.1.2 Macroarea (2)

| Tratto Rettilineo | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| spessore [mm] | σ_{LO} [N/mm ²] | F_{LO} [-] | σ_{LT} [N/mm ²] | F_{LT} [-] | σ_{VM} [N/mm ²] | F_{VM} [-] |
| 7.0 | 156.31 | 0.43 ≤ 0.75 | 169.66 | 0.47 ≤ 0.90 | 150.49 | 0.42 ≤ 1.00 |

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

| Tratto in Curva | | | | | | |
|------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| spessore [mm] | σ^B_{LO} [N/mm ²] | F^B_{LO} [-] | σ^B_{LT} [N/mm ²] | F^B_{LT} [-] | σ^B_{VM} [N/mm ²] | F^B_{VM} [-] |
| 7.0 | 116.49 | 0.32 ≤ 0.75 | 129.84 | 0.36 ≤ 0.90 | 124.08 | 0.34 ≤ 1.00 |

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5718 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0002 | |
| | PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO | Pagina 36 di 36 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-110-201

6.1.3 Macroarea (3)

| Tratto Rettilineo | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| spessore [mm] | σ_{LO} [N/mm ²] | F_{LO} [-] | σ_{LT} [N/mm ²] | F_{LT} [-] | σ_{VM} [N/mm ²] | F_{VM} [-] |
| 7.0 | 139.30 | 0.39 ≤ 0.75 | 152.65 | 0.42 ≤ 0.90 | 138.43 | 0.38 ≤ 1.00 |

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

| Tratto in Curva | | | | | | |
|------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| spessore [mm] | σ_{LO}^B [N/mm ²] | F_{LO}^B [-] | σ_{LT}^B [N/mm ²] | F_{LT}^B [-] | σ_{VM}^B [N/mm ²] | F_{VM}^B [-] |
| 7.0 | 97.42 | 0.27 ≤ 0.75 | 110.77 | 0.31 ≤ 0.90 | 114.22 | 0.32 ≤ 1.00 |

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

6.1.4 Macroarea (4)

| Tratto Rettilineo | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| spessore [mm] | σ_{LO} [N/mm ²] | F_{LO} [-] | σ_{LT} [N/mm ²] | F_{LT} [-] | σ_{VM} [N/mm ²] | F_{VM} [-] |
| 7.0 | 154.85 | 0.43 ≤ 0.75 | 168.20 | 0.47 ≤ 0.90 | 149.42 | 0.42 ≤ 1.00 |

Tab. 6.G – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

| Tratto in Curva | | | | | | |
|------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| spessore [mm] | σ_{LO}^B [N/mm ²] | F_{LO}^B [-] | σ_{LT}^B [N/mm ²] | F_{LT}^B [-] | σ_{VM}^B [N/mm ²] | F_{VM}^B [-] |
| 7.0 | 113.00 | 0.31 ≤ 0.75 | 126.35 | 0.35 ≤ 0.90 | 122.11 | 0.34 ≤ 1.00 |

Tab. 6.H – Tabella riassuntiva per il tratto in curva