

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 1 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

**METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE
DN VARI, DP 75 bar - MOP 24 bar**

VERIFICHE STRUTTURALI ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



| | | | | | |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|-------------|
| | | | | | |
| 0 | Emissione per permessi | C.L.TROMBETTA | G.AMORE | V.FORLIVESI G.GIOVANNINI | 12/12/2017 |
| Rev. | Descrizione | Elaborato | Verificato | Approvato Autorizzato | Data |

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 2 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 3 |
| 1.1 | SCOPO DEL DOCUMENTO | 3 |
| 1.2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 1.3 | ABBREVIAZIONI | 4 |
| 2 | DATI DI CALCOLO | 5 |
| 2.1 | DATI SISMICI | 5 |
| 2.2 | CONDIZIONI DI PROGETTO | 5 |
| 2.3 | PARAMETRI MECCANICI | 6 |
| 3 | VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO | 7 |
| 3.1 | PREMESSA | 7 |
| 3.2 | CRITERIO DI VERIFICA | 7 |
| 3.3 | METODOLOGIA DI CALCOLO TRATTO RETTILINEO | 8 |
| 3.3.1 | Massima deformazione indotta dalle onde sismiche | 8 |
| 3.3.2 | Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione | 9 |
| 3.3.3 | Applicazione del criterio di verifica | 10 |
| 3.4 | METODOLOGIA DI CALCOLO TRATTO IN CURVA | 12 |
| 3.4.1 | Applicazione del criterio di verifica | 13 |
| 3.4.2 | Parametri geotecnici | 14 |
| 4 | RISULTATI DI CALCOLO | 15 |
| 4.1 | METANODOTTO “GAGLIANO-TERMINI IMERESE” DN 400 (16”) DP 75 BAR-MOP 24 BAR | 15 |
| 4.1.1 | Dati in ingresso | 15 |
| 4.1.2 | Verifica tratto rettilineo | 16 |
| 4.1.3 | Verifica tratto in curva | 17 |
| 4.2 | METANODOTTO “GAGLIANO-TERMINI IMERESE” DN 300 (12”) DP 75 BAR-MOP 24 BAR | 19 |
| 4.2.1 | Dati in ingresso | 19 |
| 4.2.2 | Verifica tratto rettilineo | 20 |
| 4.2.3 | Verifica tratto in curva | 21 |
| 5 | CONCLUSIONI | 23 |

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 3 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

1 INTRODUZIONE

1.1 Scopo del documento

La presente relazione si riferisce alle verifiche strutturali di scuotimento sismico relative alle linee principali rispettivamente denominate:

- Metanodotto “Gagliano-Termini Imerese” DN 400 (16”) DP 75 bar – MOP 24 bar, della lunghezza di 25,8 km circa;
- Metanodotto “Gagliano-Termini Imerese” DN 300 (12”) DP 75 bar – MOP 24 bar della lunghezza di 12,6 km circa.

Tab. 1.1/A: Linee principali Metanodotto Gagliano - Termini Imerese DP 75 bar - MOP 24 bar

| Denominazione | Diametro | Pressione di progetto [bar] | Lunghezza [km] | Comuni |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------|---|
| Met. Gagliano – Termini Imerese | DN 400 (16") | 75 | 25,791 | Gagliano Castelferrato, Cerami, Nicosia, Sperlinga |
| Met. Gagliano – Termini Imerese | DN 300 (12") | 75 | 12,563 | Sclafani Bagni, Cerde, Sciara, Termini Imerese |

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo i tracciati tra i comuni attraversati, 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 Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline Systems” (Rif.[3]), vengono confrontate con I valori ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1]).

| | | | |
|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 4 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

1.2 Normativa di riferimento

- [1] ASME B31.8 - 2010 Gas Transmission and Distribution Piping Systems (solo per applicazioni specifiche es. trappole bidirezionali);
- [2] NTC2008 Nuove 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
- NTC Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

| | | | |
|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 5 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

2 DATI DI CALCOLO

2.1 Dati sismici

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 NTC2008 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).

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 delle condotte in oggetto:

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

- $P = 75 \text{ bar}$

| | | | |
|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 6 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

2.3 Parametri meccanici

Met. Gagliano – Termini Imerese DN 400:

- Diametro nominale: 400 (16")
- Materiale: EN L360 MB o EN L360 MB
- Spessore di linea minimo: 11.1 mm
- Spessore della curva: 11.1 mm
- Raggio curva prefabbricata (7DN): 2845 mm

Met. Gagliano – Termini Imerese DN 300:

- Diametro nominale: 300 (12")
- Materiale: EN L360 MB o EN L360 MB
- Spessore di linea minimo: 9.5 mm
- Spessore della curva: 9.5 mm
- Raggio curva prefabbricata (7DN): 2134 mm

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 7 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

3 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

3.1 Premessa

Relativamente alle linee di metanodotto principali descritte sono stati condotti i calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio.

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).

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

Le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda, mentre la loro energia decade esponenzialmente con la profondità.

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrate, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le indicazioni della Normativa sismica Americana Rif. [3].

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).

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]).

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 8 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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”, 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 (ε) dovuta ad una tensione di compressione.

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni di instabilità possono verificarsi per un accorciamento percentuale superiore a ε_{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;
- α_ε 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;
- α_k coefficiente di curvatura, dipendente dal tipo di onda e dall’angolo di incidenza formato da essa con l’asse longitudinale della condotta.

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 9 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

Per il calcolo delle deformazioni prodotte da ciascun tipo di onda si riporta di seguito la tabella tratta dall'Appendice B del Rif.[3], con i relativi coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione (α_ε , α_k), derivati massimizzando l'effetto dell'angolo di incidenza ϑ .

Tab. 3.3.1/A: Massima deformazione sismica

| Tipo Onda | Massima Deformazione | Fattori |
|-----------|---------------------------------|----------------------------|
| S | $\varepsilon_g = -\frac{v}{2c}$ | $\alpha_\varepsilon = 2.0$ |
| | $k_g = \frac{a}{c^2}$ | $\alpha_k = 1.0$ |
| P | $\varepsilon_g = -\frac{v}{c}$ | $\alpha_\varepsilon = 1.0$ |
| | $k_g = \frac{a}{2.6c^2}$ | $\alpha_k = 1.6$ |
| R | $\varepsilon_g = -\frac{v}{c}$ | $\alpha_\varepsilon = 1.0$ |
| | $k_g = \frac{a}{c^2}$ | $\alpha_k = 1.0$ |

3.3.2 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:

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

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

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 $\vartheta = 0^\circ$:

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

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

| | | | |
|---|--|-----------------------------|--------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 10 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3 Applicazione del criterio di verifica

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

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

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

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

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

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 11 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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

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:

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

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

$$\sigma_{COMB} \leq \sigma_y$$

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

| | | | |
|---|--|-----------------------------|--------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 12 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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:

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

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

dove:

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

con:

- ε_{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:

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

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 13 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

Il momento flettente sulla curva è:

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

Il fattore di intensificazione dello stress:

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

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:

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

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 14 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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

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

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.

3.4.2 Parametri geotecnici

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

Categoria suolo: C

Angolo di attrito: 30°

Peso di volume: 18 kN/m³

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva per il diametro DN 300 si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata:

Categoria suolo: C

Angolo di attrito: 30°

Peso di volume: 18 kN/m³

La stima del modulo di reazione del suolo k_w è stata fatta sulla base dei valori medi relativi ai terreni supposti in sito.

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 15 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

4 RISULTATI DI CALCOLO

4.1 Metanodotto “Gagliano-Termini Imerese” DN 400 (16”) DP 75 bar-MOP 24 bar

4.1.1 Dati in ingresso

Vita Nominale $V_N=50$ 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 punto iniziale (WGS84): 37.735°

Longitudine punto iniziale (WGS84): 14.544°

Latitudine punto ifinale (WGS84): 37.731°

Longitudine punto finale (WGS84): 14.346°

| | | | | |
|----------------|--------------|-------|--------------|----------|
| $a_g =$ | 0.163 | $g =$ | 1.600 | m/s^2 |
| $g =$ | 9.816 | | m/s^2 | |
| $T_C^* =$ | 0.367 | | s | |
| $F_O =$ | 2.503 | | - | |
| sottosuolo = | C | | - | |
| topografia = | T1 | | - | |
| $D_e =$ | 406.40 | | mm | |
| $t =$ | 11.10 | | mm | |
| $E =$ | 205000 | | N/mm^2 | |
| $v =$ | 0.3 | | - | |
| $\sigma_y =$ | 360 | | N/mm^2 | |
| $\alpha =$ | 0.000012 | | $1/^\circ C$ | |
| $\gamma_p =$ | 78.5 | | kN/m^3 | |
| $C =$ | 915 | | m/s | |
| $\Delta T =$ | 45 | | $^\circ C$ | |
| $P =$ | 75 | bar = | 7.5 | N/mm^2 |
| $t_c =$ | 11.10 | | mm | |
| $k_w =$ | 20.41 | | N/mm^2 | |
| $\varphi =$ | 30 | deg = | 0.436332313 | rad |
| rivestimento = | polyethylene | | - | |
| $H =$ | 1.5 | | m | |
| $r_0 =$ | 2845 | | mm | |
| $\gamma_t =$ | 18 | | kN/m^3 | |

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 16 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

4.1.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2008

$$\begin{aligned}
S_T &= 1.00 && - \\
S_S &= 1.455 && - \\
C_C &= 1.462 && - \\
S &= 1.455 && - \\
T_C &= 0.536 && s \\
a_{max} &= 2.33 && m/s^2 \\
v_g &= 0.200 && m/s
\end{aligned}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\begin{aligned}
\varepsilon_g^P &= v_g/C = && 0.0002182 \\
\varepsilon_g^S &= v_g/(2C) = && 0.0001091 \\
k_g^P &= 0.385 R_{ag} / C^2 = && 0.0000002 \\
k_g^S &= R_{ag} / (2 C^2) = && 0.0000006
\end{aligned}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\begin{aligned}
\sigma_{\varepsilon}^P \text{ SISMA} &= 44.73 && N/mm^2 \\
\sigma_{\varepsilon}^S \text{ SISMA} &= 22.37 && N/mm^2 \\
\sigma_K^P \text{ SISMA} &= 0.04 && N/mm^2 \\
\sigma_K^S \text{ SISMA} &= 0.12 && N/mm^2 \\
\sigma_{\varepsilon}^R \text{ SISMA} &= 44.73 && N/mm^2 \\
\sigma_K^R \text{ SISMA} &= 0.12 && N/mm^2 \\
\sigma_{\varepsilon} \text{ SISMA} &= 67.10 && N/mm^2 \\
\sigma_K \text{ SISMA} &= 0.17 && N/mm^2 \\
\sigma_{\text{SISMA}} &= 67.27 && N/mm^2
\end{aligned}$$

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 17 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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

| | | |
|-----------------------|---------|---|
| $\sigma_{\Delta T} =$ | 110.70 | N/mm ² |
| $\sigma_H =$ | 137.30 | N/mm ² |
| $\sigma_{LO} =$ | 135.91 | N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma_{LT} =$ | -136.78 | N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE" |
| $\sigma_{COMB} =$ | 237.35 | N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE" |

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

| | | |
|------------------------------------|------|--------------------------|
| $F_{LO} =$ | 0.38 | < 0.75 VERIFICATO |
| $F_{LT} =$ | 0.38 | < 0.90 VERIFICATO |
| $F_{COMBO} =$ | 0.66 | < 1.00 VERIFICATO |
| $\varepsilon / \varepsilon_{cr} =$ | 0.12 | < 1.00 VERIFICATO |

4.1.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO ASCE 1984

| | | | | |
|---------------------------------|------------|------------------|----------|-----|
| $\delta = 0.6 \times \varphi =$ | 18 | deg | 0.314159 | rad |
| $K_o = 1 - \sin\varphi =$ | 0.5 | - | | |
| $H_t =$ | 1703 | mm | | |
| $\varepsilon_{MAX} =$ | 0.0002182 | - | | |
| $I =$ | 269470000 | mm ⁴ | | |
| $A_p =$ | 13800 | mm ² | | |
| $\lambda =$ | 0.00055129 | mm ⁻¹ | | |
| $W_p =$ | 1.082 | kN/m | | |
| $t_u =$ | 9.8900399 | kN/m = N/mm | | |
| $K^* =$ | 0.47119016 | - | | |
| $L' =$ | 50097.5 | mm | | |
| $K_1 =$ | 0.97282062 | - | | |
| $\Delta =$ | 7.8 | mm | | |
| $S =$ | 157886.6 | N | | |
| $M =$ | 24996950.4 | N*mm | | |

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 18 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$$\sigma^S_{SISMA} = 11.44 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma^M_{SISMA} = 18.34 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma^{Curva}_{SISMA} = 29.78 \quad \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma_{\Delta T} = 110.70 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 137.30 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 98.43 \quad \text{N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = -99.29 \quad \text{N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LA B31.8

$$F_{LO} = 0.27 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.28 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 19 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

4.2 Metanodotto “Gagliano-Termini Imerese” DN 300 (12”) DP 75 bar-MOP 24 bar

4.2.1 Dati in ingresso

Vita Nominale $V_N=50$ 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 punto iniziale (WGS84): 37.858°

Longitudine punto iniziale (WGS84): 13.839°

Latitudine punto ifinale (WGS84): 37.917°

Longitudine punto finale (WGS84): 13.781°

| | | | | |
|---------------------------|---------|-------|--------|-------------------|
| $ag =$ | 0.213 | $g =$ | 2.091 | m/s ² |
| $g =$ | 9.816 | | | m/s ² |
| TC *= | 0.311 | | | s |
| FO = | 2.426 | | | - |
| suolo = | C | | | - |
| topografia = | T1 | | | - |
| De = | 323.9 | | | mm |
| t = | 9.5 | | | mm |
| E = | 205000 | | | N/mm ² |
| v = | 0.3 | | | - |
| $\sigma_y =$ | 360 | | | N/mm ² |
| $\alpha =$ | 1.2E-05 | | | 1/°C |
| $\gamma_p =$ | 78.5 | | | kN/m ³ |
| C = | 915 | | | m/s |
| $\Delta T =$ | 45 | | | °C |
| P = | 75 | bar = | 7.5 | N/mm ² |
| tc = | 9.5 | | | mm |
| kW = | 20.41 | | | N/mm ² |
| $\varphi =$ | 30 | deg = | 0.5236 | rad |
| rivestimento polyethylene | | | | |
| H = | 1.5 | | | m |
| $r_0 =$ | 2134 | | | mm |
| $\gamma_t =$ | 18 | | | kN/m ³ |

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 20 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

4.2.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2008

$$\begin{aligned}
S_T &= 1.000 & - \\
S_S &= 1.390 & - \\
C_C &= 1.544 & - \\
S &= 1.390 & - \\
T_C &= 0.480 & \text{ s} \\
a_{\max} &= 2.91 & \text{ m/s}^2 \\
v_g &= 0.223 & \text{ m/s}
\end{aligned}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\begin{aligned}
\varepsilon_g^P &= v_g/C = 0.0002440 \\
\varepsilon_g^S &= v_g/(2C) = 0.0001220 \\
k_g^P &= 0.385 R \text{ ag } /C^2 = 0.0000002 \\
k_g^S &= R \text{ ag } / (2 C^2) = 0.0000006
\end{aligned}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\begin{aligned}
\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P &= 50.03 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S &= 25.01 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{K \text{ SISMA}}^P &= 0.04 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{K \text{ SISMA}}^S &= 0.12 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^R &= 50.03 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{K \text{ SISMA}}^R &= 0.12 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}} &= 75.04 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{K \text{ SISMA}} &= 0.170 & \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_{\text{SISMA}} &= 75.21 & \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 21 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

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

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta T} &= 110.70 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_H &= 127.86 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{LO} &= 139.13 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"} \\ \sigma_{LT} &= -147.55 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"} \\ \sigma_{COMB} &= 238.71 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F_{LO} &= 0.39 < 0.75 \text{ **VERIFICATO**} \\ F_{LT} &= 0.41 < 0.90 \text{ **VERIFICATO**} \\ F_{COMBO} &= 0.66 < 1.00 \text{ **VERIFICATO**} \\ \varepsilon / \varepsilon_{cr} &= 0.11 < 1.00 \text{ **VERIFICATO**} \end{aligned}$$

4.2.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO ASCE 1984

$$\begin{aligned} \delta = 0.6 \times \varphi &= 18 \text{ deg} && 0.31416 \text{ rad} \\ K_o = 1 - \sin \varphi &= 0.5 && - \\ H_t &= 1662 \text{ mm} \\ \varepsilon_{MAX} &= 0.0002440 && - \\ I &= 116050000.0 \text{ mm}^4 \\ A_p &= 9380.0 \text{ mm}^2 \\ \lambda &= 0.0007 \text{ mm}^{-1} \\ W_p &= 0.7365 \text{ kN/m} \\ t_u &= 7.6573 \text{ kN/m} = \text{N/mm} \\ K^* &= 0.4758 && - \\ L' &= 47874 \text{ mm} \\ K_1 &= 0.9676 && - \\ \Delta &= 8.54 \text{ mm} \\ S &= 141527.3 \text{ N} \\ M &= 19640836.5 \text{ N*mm} \end{aligned}$$

| | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 22 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$$\sigma^S_{\text{SISMA}} = 15.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^M_{\text{SISMA}} = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{\text{Curva}}_{\text{SISMA}} = 41.61 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\sigma_{\Delta T} = 110.70 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 127.86 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 105.54 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = -113.95 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LA B31.8

$$F_{LO} = 0.29 < 0.75 \text{ **VERIFICATO**}$$

$$F_{LT} = 0.32 < 0.90 \text{ **VERIFICATO**}$$

| | | | |
|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
|  SNAM RETE GAS | PROGETTISTA  TechnipFMC | COMMESSA NR/16141 | CODICE TECNICO |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | RE-CIV-805 | |
| | PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE ED OPERE CONNESSE DN VARI, DP 75 bar- MOP 24 bar | Pag. 23 di 23 | Rev. 0 |

Rif. TPIDL: 073670C-703-RT-3220-39

5 CONCLUSIONI

Le verifiche eseguite consentono di garantire la conformità della progettazione dei gasdotti ai criteri delle linee guida sismiche per condotte interrate (Rif. [3], [4] e [5]) ed alle NTC 2008, rimandando alle fasi successive gli studi di microzonazione sismica.

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. Gli spessori delle tubazioni sia nei tratti rettilinei che in quelli in curva sono pertanto idonei ad assorbire le sollecitazioni sismiche trasmesse.