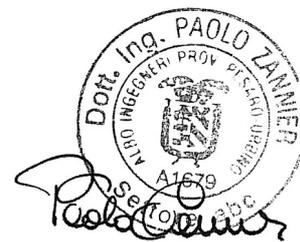
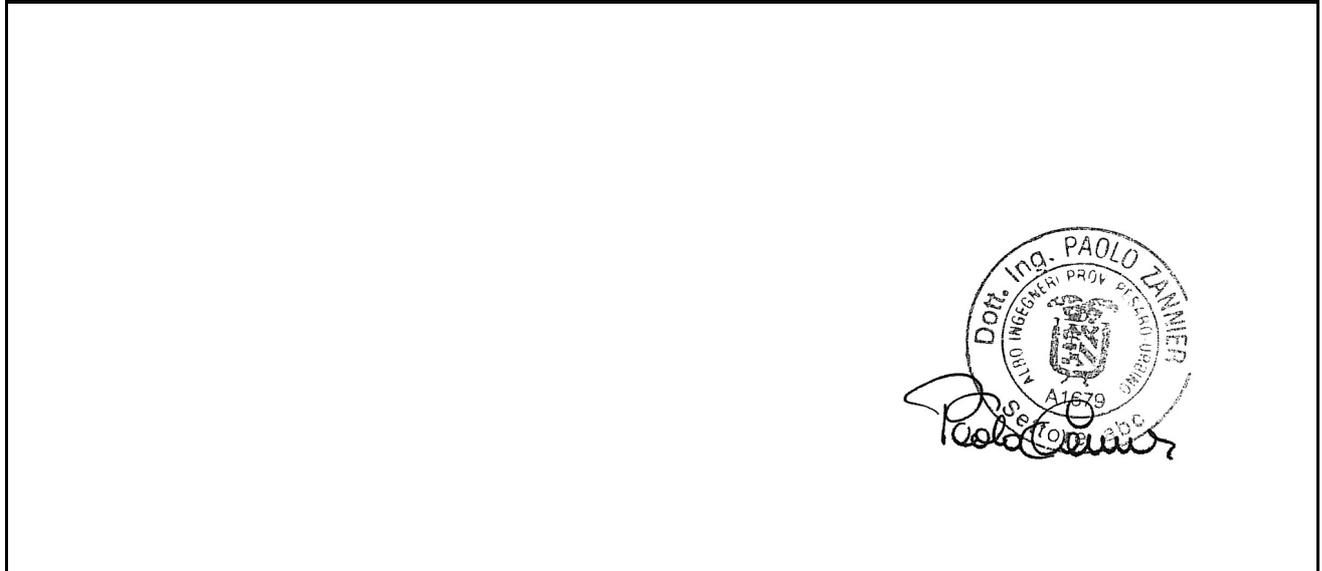


Contraente: 	Progetto: RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE		Cliente:  SNAM RETE GAS
	N° Contratto : N° Commessa : NR / 17076		
N° documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 1 di 22	Data 22-11-17	N° documento Cliente: RE-SS-001



VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



00	11-12-17	EMISSIONE	PRIORI	RICCIOTTI	CAPRIOTTI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE					
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 2 di 22		Rev.:		N° Documento Cliente: RE-SS-001

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Scopo del documento	3
1.2	Normativa di riferimento	3
1.3	Documenti di riferimento	3
1.4	Abbreviazioni	4
2	DATI DI CALCOLO	5
2.1	Dati sismici	5
2.2	Condizioni di progetto	5
2.3	Parametri meccanici.....	5
3	VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO.....	6
3.1	Premessa.....	6
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	15
4	SINTESI DI CALCOLO	16
4.1	Verifica a Scuotimento Sismico DN 650 (suolo categoria C)	18
4.1.1.	Dati di ingresso	18
4.1.2.	Verifica tratto rettilineo	19
4.1.3.	Verifica tratto in curva	20
5	CONCLUSIONI.....	21
5.1	Sintesi dei risultati	22

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE					
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 3 di 22		Rev.:		N° Documento Cliente: RE-SS-001

1 INTRODUZIONE

1.1 Scopo del documento

La presente relazione di analisi sismica si riferisce al:

- Metanodotto San Salvo – Biccari DN 650 (26"), DP 75 bar.

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo il tracciato, calcolato in accordo a quanto previsto dalle norme tecniche NTC 2008 (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]), vengono confrontate con i valori ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1]-[2]).

1.2 Normativa di riferimento

- | | | |
|-----|----------------------|--|
| [1] | ASME B31.8 - 2016 | Gas Transmission and Distribution Piping Systems (solo per applicazioni specifiche es. fornitura trappole bidirezionali) |
| [2] | EN1594 - 2013 | Gas Infrastrutture – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements |
| [3] | NTC2008 | 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 |

1.3 Documenti di riferimento

- | | | |
|------|----------------------|--|
| [9] | RE-SIA-101 | Studio di Impatto Ambientale (SIA) – Opere in progetto |
| [10] | RE-TEC-001 | Relazione Tecnica di Progetto |
| [11] | ST-1301 (Allegato 5) | Sezione tipo dello scavo, del rinterro e del letto di posa (sottofondo, rinfiacco e copertura) |

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE**VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO**

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 4 di 22	Rev.: 00	N° Documento Cliente: RE-SS-001
---	--------------------------------	--------------------	---

1.4 Abbreviazioni

- ALA American Lifelines Alliance
- ASCE American Society of Civil Engineers
- DN Diametro Nominale
- EN European Norm
- FEMA Federal Emergency Management Agency
- I.N.G.V. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- 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

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE					
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 5 di 22		Rev.:		N° Documento Cliente: RE-SS-001
			00		

2 DATI DI CALCOLO

2.1 Dati sismici

Per la caratterizzazione sismica si rinvia al Rif. [9].

Tutti i parametri delle azioni sismiche si intendono riferiti al periodo di ritorno $T_r = 949$ anni.

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").

Coerentemente con quanto richiesto dalla normativa vigente e in particolar modo dalle NTC2008 (Rif. [3]) 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 della condotta in oggetto:

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

2.3 Parametri meccanici

DN 26" (650):

- Diametro nominale 650 (26")
- Materiale EN L415 MB
- Spessore in linea 11.1 mm
- Spessore in curva 11.1 mm
- Raggio curva (7DN) 4623 mm

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE					
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 6 di 22		Rev.:		N° Documento Cliente: RE-SS-001

3 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

3.1 Premessa

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi della tubazione in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati condotti per:

- Metanodotto San Salvo – Biccari DN 650 (26"), DP 75 bar.

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

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

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

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

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrate, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le indicazioni della Normativa sismica Americana Rif.[4].

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

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

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE						
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento:	Foglio		Rev.:			N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-100-0011	7	di 22	00			RE-SS-001

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.[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", 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.[4]):

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

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE					
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO					
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 8 di 22		Rev.:		N° Documento Cliente: RE-SS-001

3.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

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

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

3.3.1. Massima deformazione indotta dalle onde sismiche

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

$$\varepsilon_g = \frac{v}{\alpha_\varepsilon c}$$

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.[4] – par. 6.1):

$$k_g = \frac{a}{(\alpha_k c)^2}$$

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.

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento:

03492-PPL-RE-100-0011

Foglio

9 di 22

Rev.:

00

N° Documento Cliente:

RE-SS-001

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 ϑ .

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	$\varepsilon_g = -\frac{v}{c}$	$\alpha_\varepsilon = 1.0$
	$k_g = \frac{a}{c^2}$	$\alpha_k = 1.0$

Tab. 3.A - Massima deformazione sismica

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 $\vartheta = 0^\circ$:

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

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

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 10 di 22	Rev.: 00	N° Documento Cliente: RE-SS-001
--	--------------------	-------------	------------------------------------

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

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

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

- "unrestrained pipeline"
- "restrained pipeline"

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE						
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011		Foglio 11 di 22		Rev.: 00		N° Documento Cliente: RE-SS-001

“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: $\sigma_H = \frac{PD}{2t}$

“Restrained Pipeline”

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

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

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

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

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

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

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

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

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 12 di 22	Rev.: 00	N° Documento Cliente: RE-SS-001
--	--------------------	-------------	------------------------------------

3.4 Metodologia di calcolo tratto in curva

Nell'analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l'interazione tra tubo e terreno va tenuta in debita considerazione. Assumendo il movimento dell'onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si calcola la lunghezza di scorrimento (L') della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito t_u (Rif.[4]) secondo la formula seguente:

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

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

dove:

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

$$I = \frac{D^4 - (D - 2t)^4}{64}$$

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

con: k_o modulo di reazione del suolo
 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:

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

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

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

con:

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 13 di 22	Rev.: 00	N° Documento Cliente: RE-SS-001
--	--------------------	-------------	------------------------------------

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

K₁ è il fattore di intensificazione dello stress:

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

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

$$\sigma^s_{SISMA} = \frac{s}{A_p}$$

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

$$\sigma^M_{SISMA} = K_1 \frac{M D}{2 I}$$

3.4.1. Applicazione del criterio di verifica

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

$$\sigma^{TOT}_{SISMA} = \sigma^S_{SISMA} + \sigma^M_{SISMA}$$

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

- “unrestrained pipeline”
- “restrained pipeline”

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE						
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 14 di 22		Rev.:			N° Documento Cliente: RE-SS-001

"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: $\sigma_H = \frac{PD}{2t}$

"Restrained Pipeline"

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

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

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

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

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

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

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

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

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE						
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011		Foglio 15 di 22		Rev.: 00		N° Documento Cliente: RE-SS-001

3.4.2. Parametri geotecnici

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva per il diametro in oggetto (DN 650) si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata:

Categoria	angolo di attrito	peso di volume
C	20°	18 kN/m ³

Tab. 3.4.2 - parametri geotecnici

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

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 16 di 22	Rev.:					N° Documento Cliente: RE-SS-001
		00					

4 SINTESI DI CALCOLO

a_g	accelerazione massima su suolo di riferimento rigido
T_c^*	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
F_0	valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
D_e	diametro esterno
t	spessore tratto rettilineo
E	modulo di elasticità
ν	coefficiente di Poisson
σ_y	tensione di snervamento
α	coefficiente di dilatazione termica
γ_p	densità acciaio
c	velocità apparente di propagazione dell'onda sismica
ΔT	salto termico
P	pressione interna
t_c	spessore curva
k_0	modulo di reazione del suolo
ϕ	angolo di attrito
H	interramento minimo
r_0	raggio di curvatura dell'elemento curvo
γ_t	peso di volume del suolo
S_T	coefficiente di amplificazione topografica
S_S	coefficiente di amplificazione stratigrafica
C_c	coefficiente funzione della categoria di sottosuolo
S	coefficiente relativo alla categoria topografica e del sottosuolo
T_c	periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro
a_{max}	accelerazione massima attesa al sito
v_g	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
$\sigma_{e_{SISMA}}^S$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di taglio
$\sigma_{e_{SISMA}}^P$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di compressione
$\sigma_{e_{SISMA}}^R$	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh
$\sigma_{K_{SISMA}}^S$	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di taglio

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 17 di 22	Rev.:					N° Documento Cliente: RE-SS-001
		00					

$\sigma_{k\text{SISMA}}^P$	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_{COMB}	combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto rettilineo)
F_{LO}	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile UNRESTRAINED (tratto rettilineo)
F_{LT}	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile RESTRAINED (tratto rettilineo)
F_{COMBO}	rapporto tra tensioni di progetto combinate e tensione massima ammissibile RESTRAINED (tratto rettilineo)
ϵ	Rapporto fra deformazione di progetto e massima deformazione ammissibile
δ	angolo di attrito tubo-terreno
K_0	coefficiente di spinta del suolo a riposo
H_t	quota 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)
$\sigma_{\Delta T}^B$	tensione dovuta al salto termico (tratto in curva)
σ_H^B	tensione circonferenziale (tratto in curva)
σ_{LO}^B	combinazione tensioni longitudinali UNRESTRAINED (tratto in curva)
σ_{LT}^B	combinazione tensioni longitudinali RESTRAINED (tratto in curva)
F_{LO}^B	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile UNRESTRAINED (tratto in curva)
F_{LT}^B	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione massima ammissibile RESTRAINED (tratto in curva)

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 18 di 22	Rev.:					N° Documento Cliente: RE-SS-001
		00					

4.1 Verifica a Scuotimento Sismico DN 650 (suolo categoria C)

4.1.1. Dati di ingresso

Longitudine	=	15.10385 deg
Latitudine	=	41.68444 deg
a_g	=	2.6487 m/s ²
T_c^*	=	0.349 s
F_0	=	2.447 -
suolo	=	C -
topografia	=	T2 -
D_e	=	660 mm
t	=	11.1 mm
E	=	203450 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_y	=	415 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	78.5 kN/m ³
c	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	11.1 mm
k_0	=	20.7 N/mm ²
ϕ	=	20 deg
rivestimento	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	4623 mm
γ_t	=	18 kN/m ³

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 19 di 22	Rev.: 00	N° Documento Cliente: RE-SS-001
--	--------------------	-------------	------------------------------------

4.1.2. Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2008

S_T	=	1.20	-
S_S	=	1.304	-
C_C	=	1.486	-
S	=	1.564	-
T_C	=	0.519	s
a_{max}	=	4.14337	m/s ²
v_g	=	0.3438	m/s

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$\epsilon^{S_{SISMA}}$	=	0.000187891	-
$\epsilon^{P_{SISMA}}$	=	0.000375781	-
$\epsilon^{R_{SISMA}}$	=	0.000375781	-
$K^{S_{SISMA}}$	=	0.000004949	m ⁻¹
$K^{P_{SISMA}}$	=	0.000001905	m ⁻¹
$K^{R_{SISMA}}$	=	0.000004949	m ⁻¹

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$\sigma_e^{S_{SISMA}}$	=	38.23	N/mm ²
$\sigma_e^{P_{SISMA}}$	=	76.45	N/mm ²
$\sigma_e^{R_{SISMA}}$	=	76.45	N/mm ²
$\sigma_k^{S_{SISMA}}$	=	0.33	N/mm ²
$\sigma_k^{P_{SISMA}}$	=	0.13	N/mm ²
$\sigma_k^{R_{SISMA}}$	=	0.33	N/mm ²
σ_e^{SISMA}	=	114.68	N/mm ²
σ_k^{SISMA}	=	0.49	N/mm ²
σ_{SISMA}	=	115.17	N/mm ²

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

$\sigma_{\Delta T}$	=	107.12	N/mm ²
σ_H	=	222.97	N/mm ²
σ_{LO}	=	226.65	N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE"
σ_{LT}	=	155.39	N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"
σ_{COMB}	=	198.03	N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"

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

F_{LO}	=	0.55	< 0.75	VERIFICATO
F_{LT}	=	0.37	< 0.90	VERIFICATO
F_{COMBO}	=	0.48	< 1.00	VERIFICATO
ϵ	=	0.18	< 1.00	VERIFICATO

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 20 di 22	Rev.:					N° Documento Cliente: RE-SS-001
		00					

4.1.3. Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	12 deg
ϕ	=	0.34906585 rad
δ	=	0.20943951 rad
K_o	=	0.657979857 -
H_t	=	1.83 m
ϵ_{MAX}	=	0.000375781 -
I	=	1191360639 mm ⁴
A_p	=	22628.23215 mm ²
λ	=	0.000382254 mm ⁻¹
W_p	=	1.776316224 kN/m
t_u	=	12.4124313 kN/m
K^*	=	0.289353333 -
K_1	=	1.36654329 -
L'	=	97469.37727 mm
Δ	=	14.20802231 mm
s	=	404.7499489 kN
M	=	52453.15848 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

σ^S_{SISMA}	=	17.89 N/mm ²
σ^M_{SISMA}	=	19.85 N/mm ²
σ^{TOT}_{SISMA}	=	37.74 N/mm ²

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

$\sigma^B_{\Delta T}$	=	107.12 N/mm ²	
σ^B_H	=	222.97 N/mm ²	
σ^B_{LO}	=	149.23 N/mm ²	"UNRESTRAINED PIPELINE"
σ^B_{LT}	=	77.97 N/mm ²	"RESTRAINED PIPELINE"
σ^B_{COMB}	=	195.99 N/mm ²	

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

F^B_{LO}	=	0.36 < 0.75	VERIFICATO
F^B_{LT}	=	0.19 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

F^B_{COMBO}	=	0.47 < 1.00	VERIFICATO
---------------	---	-------------	------------

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE						
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 21 di 22	Rev.: 00				N° Documento Cliente: RE-SS-001

5 CONCLUSIONI

La tubazione DN 650 (26"), per il metanodotto San Salvo - Biccari 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.

In ogni caso, devono essere previste l'adozione di una serie di misure atte ad aumentare la capacità della tubazione di assorbire i movimenti differenziali e le tensioni indotte da un sisma:

- a) esecuzione di controlli non distruttivi accurati su tutte le saldature, volta ad escludere la presenza di punti di debolezza tra le barre di tubo;
- b) Rilievi accurati e monitoraggio di eventuali faglie superficiali o zone di frana riscontrate lungo il tracciato.

In particolare si sottolinea l'importanza del punto b), in quanto il calcolo presentato nel presente documento verifica lo scuotimento sismico (shaking), ma non prende in considerazione l'effetto di singolarità lungo il tracciato, come faglie superficiali e/o l'attraversamento di zone soggette a fenomeni franosi.

RIFACIMENTO MET. SAN SALVO-BICCARI DN 650 (26"), DP 75 BAR E OPERE CONNESSE						
VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO						
N° Documento: 03492-PPL-RE-100-0011	Foglio 22 di 22		Rev.:			N° Documento Cliente: RE-SS-001

5.1 Sintesi dei risultati

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

tratto rettilineo - categoria C - DN 650						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm ²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm ²]	F_{LT} [-]	σ_{COMB} [N/mm ²]	F_{COMB} [-]
11.1	226.65	0.55 ≤ 0.75	155.39	0.37 ≤ 0.90	198.03	0.48 ≤ 1.00

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

tratto in curva - categoria C - DN 650						
spessore [mm]	σ^{B}_{LO} [N/mm ²]	F^{B}_{LO} [-]	σ^{B}_{LT} [N/mm ²]	F^{B}_{LT} [-]	σ_{COMB} [N/mm ²]	F_{COMB} [-]
11.1	149.23	0.36 ≤ 0.75	77.97	0.19 ≤ 0.90	195.99	0.47 ≤ 1.00

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