

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 1 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI – DP VARI

VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



0	Emissione per Enti	A.EVANGELISTA	F. BERTOLDO	P. RUSSO G.GIOVANNINI	Novembre 2021
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 2 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

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	METANODOTTO “COLLEGAMENTO FSRU PORTOVESME DN 650 (26”), DP 75 BAR”	5
2.2	METANODOTTO “DERIVAZIONE PER PORTOSCUSO DN 400 (16”), DP 75 BAR”	6
2.3	METANODOTTO “ALLACCIAMENTO EURALLUMINA DN 300 (12”), DP 75 BAR”	7
3	VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	8
3.1	PREMESSA	8
3.2	METODOLOGIA DI CALCOLO PER TRATTO RETTILINEO E VERIFICA	8
3.3	METODOLOGIA DI CALCOLO PER TRATTO IN CURVA	11
3.4	RISULTATI “COLLEGAMENTO FSRU PORTOVESME DN 650 (26”), DP 75 BAR”	12
3.5	RISULTATI “DERIVAZIONE PER PORTOSCUSO DN 400 (16”), DP 75 BAR”	16
3.6	RISULTATI “ALLACCIAMENTO EURALLUMINA DN 300 (12”), DP 75 BAR”	19
4	CONCLUSIONI.....	22

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 3 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

1 INTRODUZIONE

1.1 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione si riferisce alle verifiche strutturali di scuotimento sismico relative alla realizzazione di un nuovo gasdotto DN 650 (26") che collegherà l'impianto FSRU di Portovesme alle principali utenze industriali dell'area (Euroallumina) e consentirà la connessione dell'FSRU alla Rete Energetica Tratto Sud.

Oltre alla posa della nuova condotta DN 650 (26") per una lunghezza pari a 6.638 km, l'opera riguarda l'installazione di una rete di linee secondarie di vario diametro che, prendendo origine da quest'ultima, assicura l'allacciamento al bacino di utenze attraversato dalla stessa condotta.

Il progetto prevede la messa in opera delle seguenti linee:

- Coll. FSRU Portovesme DN 650 (26"), DP 75 bar, L= 6.638 km;
- Derivazione per Portoscuso DN 400 (16"), DP 75 bar, L= 5.619 km;
- Allacciamento Eurallumina DN 300 (12"), DP 75 bar, L= 0.165 km.

Le suddette opere attraversano i territori della provincia di Sud Sardegna per una lunghezza complessiva di 12.422 km.



Figura 1.1: Inquadramento territoriale ed individuazione dell'area di intervento (cerchio giallo).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 4 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

I calcoli e le verifiche alla scuotimento sismico prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto in accordo alle NTC 2018 (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]).

1.2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- [1] ASME B31.8 - 2018 Gas Transmission and Distribution Piping Systems (solo per applicazioni specifiche es. trappole bidirezionali);
- [2] NTC2018 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] EC 1-2010 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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 5 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

2 DATI DI CALCOLO

2.1 Metanodotto “Collegamento FSRU Portovesme DN 650 (26”), DP 75 bar”

Dati sismici

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, i dati storici non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base. L'art. 3.2. delle Norme Tecniche di cui al D. Min. II.TT. 17 gennaio 2018 prevede: "Per i valori di a_g , F_0 e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti". Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri, vengono forniti i parametri sismici, da considerarsi costanti su tutto il territorio di ciascuna isola, tabellati in funzione del periodo di ritorno (tab. 2- Allegato B-NTC08). Pertanto, i parametri considerati sono i seguenti:

- stato limite: SLV
- a_g/g : 0.060
- F_0 : 2.98
- $V_{S,eq}$ (m/s): 339.0
- cat. sottosuolo: C
- SS: 1.5
- cat. topografica: T1
- ST: 1.0

Parametri geotecnici

Ai fini del calcolo, a scopo cautelativo, sono utilizzati i seguenti parametri geotecnici:

- peso di volume (kN/m³) 18
- angolo di attrito terreno tubo (°) 15

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:

- $\Delta T = 45$ °C
- $P = 75$ bar

Parametri meccanici

La verifica è stata eseguita considerando i seguenti parametri meccanici:

- Diametro nominale: 650 (26")
- Materiale: EN L415 MB
- Spessore di linea minimo: 11.1 mm
- Spessore della curva: 11.1 mm
- Raggio curva prefabbricata (7DN): 4623 mm

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 6 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

2.2 Metanodotto “Derivazione per Portoscuso DN 400 (16”), DP 75 bar”

Dati sismici

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, i dati storici non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base. L'art. 3.2. delle Norme Tecniche di cui al D. Min. II.TT. 17 gennaio 2018 prevede: "Per i valori di a_g , F_0 e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti". Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri, vengono forniti i parametri sismici, da considerarsi costanti su tutto il territorio di ciascuna isola, tabellati in funzione del periodo di ritorno (tab. 2- Allegato B-NTC08). Pertanto, i parametri considerati sono i seguenti:

▪ stato limite:	SLV
▪ a_g/g :	0.060
▪ F_0 :	2.98
▪ $V_{S,eq}$ (m/s):	339.0
▪ cat. sottosuolo:	C
▪ SS:	1.5
▪ cat. topografica:	T1
▪ ST:	1.0

Parametri geotecnici

Ai fini del calcolo, a scopo cautelativo, sono utilizzati i seguenti parametri geotecnici:

▪ peso di volume (kN/m ³)	18
▪ angolo di attrito terreno tubo (°)	15

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:

▪ $\Delta T = 45$ °C
▪ $P = 75$ bar

Parametri meccanici

La verifica è stata eseguita considerando i seguenti parametri meccanici:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 7 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

2.3 Metanodotto “Allacciamento Eurallumina DN 300 (12”), DP 75 bar”

Dati sismici

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, i dati storici non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base. L'art. 3.2. delle Norme Tecniche di cui al D. Min. Il.TT. 17 gennaio 2018 prevede: "Per i valori di a_g , F_0 e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti". Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri, vengono forniti i parametri sismici, da considerarsi costanti su tutto il territorio di ciascuna isola, tabellati in funzione del periodo di ritorno (tab. 2- Allegato B-NTC08). Pertanto, i parametri considerati sono i seguenti:

▪ stato limite:	SLV
▪ a_g/g :	0.060
▪ F_0 :	2.98
▪ $V_{S,eq}$ (m/s):	333.5
▪ cat. sottosuolo:	C
▪ SS:	1.5
▪ cat. topografica:	T1
▪ ST:	1.0

Parametri geotecnici

Ai fini del calcolo, a scopo cautelativo, sono utilizzati i seguenti parametri geotecnici:

▪ peso di volume (kN/m ³)	18
▪ angolo di attrito terreno tubo (°)	15

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:

▪ $\Delta T = 45$ °C
▪ $P = 30$ bar

Parametri meccanici

La verifica è stata eseguita considerando i seguenti parametri meccanici:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 8 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

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 evento sismico concomitante all'esercizio sono stati elaborati per tutti gli spessori delle condotte in progetto.

Lo shaking è provocato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che, impartendo movimenti alle particelle di suolo, sollecitano la tubazione interrata a deformarsi con la stessa deformazione del terreno. Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo sia con la direzione di propagazione del movimento sismico rispetto l'asse della condotta.

Secondo le indicazioni di studi presentati nella Letteratura tecnica Internazionale, l'azione di contenimento del terreno circostante il tubo permette di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione tipici delle strutture in elevazione (Hindy, Novak 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali (rif. ASCE Guidelines) costituita dalle onde di compressione (onde P o primarie), dalle onde di taglio (onde S o secondarie) e dalle onde superficiali (onde R o di Rayleigh). Nei tratti di tubazione rettilinea le onde P provocano le massime sollecitazioni assiali durante la prima parte del moto; le onde S provocano le massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto (i fenomeni non avvengono quindi contemporaneamente), mentre le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente la direzione di propagazione dell'onda.

Le verifiche sismiche sono state eseguite in accordo alle vigenti norme tecniche NTC18 e all'allegato E della norma EN 1594 "Gas Supply Systems – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements", edizione 2009. La metodologia di verifica applicata è congruente con le indicazioni della EN 1594 che, nell'annex 3 richiama le "GUIDELINES FOR THE SEISMIC DESIGN OF OIL AND GAS PIPELINE SYSTEMS" delle ASCE. Queste ultime sono ritenute sufficientemente conservative poiché considerano la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S e R, trascurando inoltre (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno che riduce le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta. L'interazione tubo-terreno è invece considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

3.2 Metodologia di calcolo per tratto rettilineo e verifica

Per la verifica dei tratti rettilinei della tubazione si applicano i criteri di verifica proposti nelle Guidelines (ASCE 1984), ovvero si trascura l'interazione tubo-terreno così da ottenere valori conservativi dello stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi come il suolo circostante a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende pressoché indipendente il risultato delle tensioni indotte dallo spessore del tubo.

Le tensioni assiali $\sigma_{a,S}$ e di flessione $\sigma_{b,S}$ indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l'asse della condotta, sono pari rispettivamente

$$\sigma_{a,S} = \pm E \frac{v}{C} \sin \theta \cdot \cos \theta$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 9 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

$$\sigma_{b,S} = \pm ER \frac{a}{C^2} \cos^3 \theta$$

dove E è il modulo elastico dell'acciaio, R il raggio esterno del tubo, v la massima velocità e a la massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto (SLV), θ l'angolo di incidenza tra l'asse della tubazione e la direzione di propagazione del moto sismico e C la velocità apparente delle onde sismiche, seguendo le indicazioni delle Guidelines (ASCE 1984), per un terreno mediamente denso è stata considerata una velocità apparente delle onde Sismiche nel suolo pari circa 900m/sec. I valori massimi delle tensioni $\sigma_{a,S}$ e $\sigma_{b,S}$ si ottengono rispettivamente per $\theta = 45^\circ$ e $\theta = 0^\circ$ per cui risulta

$$\sigma_{a,S} = \pm E \frac{v}{2C}$$

$$\sigma_{b,S} = \pm ED \frac{a}{2C^2}$$

con D pari al diametro esterno del tubo.

Le tensioni assiali $\sigma_{a,P}$ e di flessione $\sigma_{b,P}$ indotte dalle onde di compressione P, sono pari rispettivamente a

$$\sigma_{a,P} = \pm E \frac{v}{C} \cos^2 \theta$$

$$\sigma_{b,P} = \pm ED \frac{a}{2C^2} \sin \theta \cos^2 \theta$$

e attingono al loro valore massimo rispettivamente per $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 35^\circ 16'$, per cui risulta

$$\sigma_{a,P} = \pm E \frac{v}{C}$$

$$\sigma_{b,P} = \pm 0.385 ED \frac{a}{2C^2}$$

Analogamente, le massime tensioni assiali $\sigma_{a,R}$ e di flessione $\sigma_{b,R}$ indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R risultano pari a

$$\sigma_{a,R} = \pm E \frac{v}{C}$$

$$\sigma_{b,R} = \pm ED \frac{a}{2C^2}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 10 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Le 6 componenti di tensione così calcolate, 3 assiali e 3 flessionali, sono quindi conservativamente combinate utilizzando il metodo della radice quadrata della somma dei quadrati (Square Route Square Sum method, SRSS) secondo il quale:

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{a,S}^2 + \sigma_{a,P}^2 + \sigma_{a,R}^2}$$

$$\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b,S}^2 + \sigma_{b,P}^2 + \sigma_{b,R}^2}$$

e la somma di σ_a e di σ_b restituisce, infine, la massima tensione longitudinale dovuta all'evento sismico $\sigma_{sism,L}$.

La tensione equivalente con sisma σ_{vS} è determinata combinando alla tensione sismica longitudinale massima $\sigma_{sism,L}$ (-) le tensioni di compressione dovute all'espansione termica impedita $\sigma_{\Delta t,L}$ (-) e le tensioni legati alla pressione interna del tubo nelle due componenti longitudinali $\sigma_{p,L}$ di compressione (-) e circonferenziali $\sigma_{p,c}$ di trazione (+). La tensione equivalente con sisma σ_{vS} è quindi calcolata secondo la formula

$$\sigma_{vS} = \sqrt{(\sigma_{\Delta t,L} + \sigma_{p,L} + \sigma_{sism,L})^2 - (\sigma_{\Delta t,L} + \sigma_{p,L} + \sigma_{sism,L}) \cdot \sigma_{p,c} + \sigma_{p,c}^2}$$

in cui

$$\sigma_{\Delta t,L} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

con α pari a 0.000012 [1/C°]

$$\sigma_{p,L} = \nu \frac{P \cdot D}{2t}$$

dove P è la pressione interna del tubo e t il suo spessore e ν il coefficiente di Poisson.

$$\sigma_{p,c} = \frac{P \cdot D}{2t}$$

In accordo al paragrafo 7.4.1.3 della Norma EN 1594 (edizione 2009) la suddetta tensione equivalente σ_{vS} è confrontata con il 100% della tensione di snervamento σ_y del materiale della tubazione. Si definisce quindi il fattore di utilizzazione F pari al rapporto tra σ_{vS} e σ_y : la verifica a scuotimento sismico risulta soddisfatta se tale fattore F risulta inferiore all'unità.

Basandosi sulla "good engineering practice", si verifica inoltre la distanza rispetto all'insorgere di fenomeni instabilità locali di parete nel caso in cui si abbia una deformazione longitudinale di compressione ε . Nel caso specifico, la deformazione massima ε_{vS} dovuta alla tensione equivalente con sisma σ_{vS} è messa a confronto con la deformazione di compressione critica ε_{cr} in corrispondenza della quale si verificano fenomeni di instabilità locale e definita come

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

La verifica è soddisfatta per $\varepsilon_{vS} < \varepsilon_{cr}$.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 11 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

3.3 Metodologia di calcolo per 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 secondo la formula seguente:

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

$$t_u = \frac{\pi D}{2} \gamma_t H (1 + K_0) t_g \delta + W_p t_g \delta$$

dove A_p indica l'area della sezione trasversale della tubazione, k_w il modulo di reazione del terreno, ε_{max} la massima deformazione del terreno, δ l'angolo d'attrito tubo-terreno, mentre il parametro λ è definito come:

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

con I pari al momento d'inerzia della sezione trasversale tubo e K_0 al 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:

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

dove r_0 è il raggio di curvatura dell'elemento curvo.

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

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

con:

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 12 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

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:

$$\sigma_a = \frac{S}{A_p}$$

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

$$\sigma_b = K_1 \frac{MD}{2I}$$

La verifica quindi segue i criteri riportati precedentemente per il caso di tubo rettilineo. La deformazione sismica è trasferita all'elemento curvo unitamente agli effetti della pressione interna, temperatura e gravità. Negli elementi curvi la tensione longitudinale di trazione dovuto alla pressione interna $\sigma_{p,s}$ è dato dall' espressione

$$\sigma_{p,s} = \frac{P \cdot D}{4t}$$

3.4 Risultati “Collegamento FSRU Portovesme DN 650 (26”), DP 75 bar”

Vengono di seguito riportati i risultati della verifica, dai quali si evince 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 trasmesse dall'azione sismica calcolata attraverso analisi RSL semplificata (dal calcolo si ottengono un fattore di utilizzazione pari a 0.64 e un tasso di lavoro pari a 0.21).

Dati di ingresso

Dati sismici			
	Variabili	unità	
Accelerazione orizzontale massima del sito	a_g/g		0.060
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	F_0		2.980
Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_c^*	sec	0.372
Periodo fondamentale corrispondente al tratto dello spettro a velocità costante	T_c	sec	0.540
Categoria Sottosuolo	C_s		C
Categoria Topografica	C_T		T1
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_s		1.500
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T		1.000
Massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto SLV	\bar{a}_g	m/s ²	0.88
Massima Accelerazione Normalizzata rispetto alla gravità	a_g/g		0.090

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 13 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Massima velocità del terreno attesa per il terremoto SLV	v_g	m/s	0.077
Velocità Apparente onde Sismiche	C	m/s	900

Dati Terreno

Altezza minima di ricoprimento	H	m	1.5
Peso specifico del terreno di rinterro	γ	kN/m ³	18
Modulo di reazione del suolo	k_o	Mpa	25
Angolo di attrito terreno tubo	δ		15.00
coefficiente di pressione del suolo a riposo	K_o		0.58

Dati Geometrici tubi rettilinei

	Variabili	unità	
Materiale tubazione			GRADO L415MB
Diametro Nominale	DN		650
Diametro Interno	Di	mm	637.80
Spessore tubo di linea	t	mm	11.10
Diametro Esterno	De	mm	660.00
Pressione interna di progetto	P	bar	75
Variazione di temperatura	ΔT	°C	45
Modulo elastico	E	Mpa	205000
Coefficiente di Poisson	ν		0.3
Tensione Snervamento Materiale Tubazione	σ_y	Mpa	415

Dati Geometrici tubi curvi

	Variabili	unità	
Materiale tubazione			GRADO L415MB
Diametro Nominale	DN		650
Diametro Interno	Di	mm	637.8
Spessore tubo delle curve	t	mm	11.10
Diametro Esterno	De	mm	660.0
Pressione interna di progetto	P	bar	75
Variazione di temperatura	ΔT	°C	45
Modulo elastico	E	Mpa	205000
Coefficiente di Poisson	ν		0.3
Tensione Snervamento Materia Tubazione	σ_y	Mpa	415
Momento d'inerzia della sezione trasversale del tubo	I	mm ⁴	1191363425
Area della sezione trasversale del tubo	A_p	mm ²	22628
Raggio curve 7DN	r_o	mm	4623.0
Raggio tubazione	R	mm	330.0

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 14 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Verifica per tratto rettilineo

Tensioni dovute al sisma			
	Variabili	unità	
Tensioni assiali Onde di Taglio	σ_{aS}	Mpa	-8.75
Tensioni flessionali Onde di Taglio	σ_{bS}	Mpa	-0.07
Tensioni assiali Onde di Pressione	σ_{aP}	Mpa	-17.50
Tensioni flessionali Onde di Pressione	σ_{bP}	Mpa	-0.03
Tensioni assiali Onde Superficiali di Rayleigh R	σ_{aR}	Mpa	-17.50
Tensioni flessionali Onde Superficiali di Rayleigh R	σ_{bR}	Mpa	-0.07
Tensioni assiali	σ_a	Mpa	-26.26
Tensioni flessionali	σ_b	Mpa	-0.11
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	Mpa	-26.37

Analisi tensionale			
Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{\Delta t,L}$	Mpa	-110.70
Tensione trazione dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,L}$	Mpa	66.89
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	222.97
Tensione equivalente con sisma	σ_{VS}	Mpa	265.12
fattore utilizzazione	F		0.64

Verifica Instabilità			
<i>Deformazione Massima</i>	ϵ_{VS}		0.0013
<i>Deformazione Critica</i>	ϵ_{cr}		0.0062
<i>tasso di lavoro</i>	F		0.21

Verifica per tratto in curva

Elaborazione			
	Variabili	unità	
	λ	1/mm	0.0004
Deformazione Max del terreno	ϵ_{max}		0.0001
Lunghezza di scorrimento della tubazione	L'	mm	28135
Forza d'attrito	t_u	N/mm	12.3
Spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento nel terreno	Δ	mm	1.5
Forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale	S	kN	50.59
Momento flettente sulla curva	M	kNm	6.00
Fattore di intensificazione dello stress	K_I		1.37
Tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S	σ_{aS}	Mpa	2.24
Tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M	σ_{bS}	Mpa	2.27
	\square		

Dati sismici			
---------------------	--	--	--

Documento di proprietà Enura. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

TECHNIP ITALY DIREZIONE LAVORI S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 15 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Tensioni assiali	σ_{aR}	Mpa	-2.24
Tensioni flessionali	σ_{bR}	Mpa	-2.27
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	Mpa	-4.51
	<input type="checkbox"/>		

Analisi tensionale

Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{At,L}$	Mpa	-110.70
Tiro di fondo	$\sigma_{P,S}$	Mpa	111.49
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	215.47
Tensione equivalente	σ_V	Mpa	215.08
fattore utilizzazione	F		0.52
	<input type="checkbox"/>		
Tensione equivalente con sisma	σ_{VS}	Mpa	217.36
fattore utilizzazione	F		0.52
	<input type="checkbox"/>		

Verifica Instabilità

<i>Deformazione Massima</i>	ϵ_{VS}		0.0011
<i>Deformazione Critica</i>	ϵ_{cr}		0.0062
<i>tasso di lavoro</i>	F		0.17

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 16 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

3.5 Risultati “Derivazione per Portoscuso DN 400 (16”), DP 75 bar”

Vengono di seguito riportati i risultati della verifica, dai quali si evince 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 trasmesse dall'azione sismica calcolata attraverso analisi RSL semplificata (dal calcolo si ottengono un fattore di utilizzazione pari a 0.56 e un tasso di lavoro pari a 0.10).

Dati di ingresso

Dati sismici			
	Variabili	unità	
Accelerazione orizzontale massima del sito	a_g/g		0.060
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	F_0		2.980
Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_{c^*}	sec	0.372
Periodo fondamentale corrispondente al tratto dello spettro a velocità costante	T_c	sec	0.540
Categoria Sottosuolo	C_s		C
Categoria Topografica	C_T		T1
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_s		1.500
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T		1.000
Massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto SLV	a_g	m/s^2	0.88
Massima Accelerazione Normalizzata rispetto alla gravità	a_g/g		0.090
Massima velocità del terreno attesa per il terremoto SLV	v_g	m/s	0.077
Velocità Apparente onde Sismiche	C	m/s	900

Dati Terreno			
Altezza minima di ricoprimento	H	m	1.5
Peso specifico del terreno di rinterro	γ	kN/m^3	18
Modulo di reazione del suolo	k_0	Mpa	25
Angolo di attrito terreno tubo	δ		15.00
coefficiente di pressione del suolo a riposo	K_0		0.58

Dati Geometrici tubi rettilinei			
	Variabili	unità	
Materiale tubazione			GRADO L360MB
Diametro Nominale	DN		400
Diametro Interno	D_i	mm	384,20
Spessore tubo di linea	t	mm	11,10
Diametro Esterno	D_e	mm	406,40
Pressione interna di progetto	P	bar	75
Variazione di temperatura	ΔT	°C	45
Modulo elastico	E	Mpa	205000
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Tensione Snervamento Materiale Tubazione	σ_y	Mpa	360

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 17 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Dati Geometrici tubi curvi

	Variabili	unità	
Materiale tubazione			GRADO L360MB
Diametro Nominale	DN		400
Diametro Interno	Di	mm	384,2
Spessore tubo delle curve	t	mm	11,10
Diametro Esterno	De	mm	406,40
Pressione interna di progetto	P	bar	75
Variazione di temperatura	ΔT	°C	45
Modulo elastico	E	Mpa	205000
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Tensione Snervamento Materia Tubazione	σ_y	Mpa	360
Momento d'inerzia della sezione trasversale del tubo	I	mm ⁴	269467642
Area della sezione trasversale del tubo	A _p	mm ²	13785
Raggio curve 7DN	r _o	mm	2845,0
Raggio tubazione	R	mm	203,2

Verifica per tratto rettilineo

Tensioni dovute al sisma

	Variabili	unità	
Tensioni assiali Onde di Taglio	σ_{aS}	Mpa	-8.75
Tensioni flessionali Onde di Taglio	σ_{bS}	Mpa	-0.05
Tensioni assiali Onde di Pressione	σ_{aP}	Mpa	-17.50
Tensioni flessionali Onde di Pressione	σ_{bP}	Mpa	-0.02
Tensioni assiali Onde Superficiali di Rayleigh R	σ_{aR}	Mpa	-17.50
Tensioni flessionali Onde Superficiali di Rayleigh R	σ_{bR}	Mpa	-0.05
Tensioni assiali	σ_a	Mpa	-26.26
Tensioni flessionali	σ_b	Mpa	-0.07
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	Mpa	-26.32
	<input type="checkbox"/>		

Analisi tensionale

Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{\Delta t,L}$	Mpa	-110.70
Tensione trazione dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,L}$	Mpa	41.19
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	137.30
Tensione equivalente con sisma	σ_{VS}	Mpa	202.96
fattore utilizzazione	F		0.56

Verifica Instabilità

Deformazione Massima	ϵ_{VS}		0.0010
----------------------	-----------------	--	--------

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 18 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

<i>Deformazione Critica</i>	ϵ_{cr}	0.0104
<i>tasso di lavoro</i>	F	0.10

Verifica per tratto in curva

Elaborazione			
	Variabili	unità	
	λ	1/mm	0.0006
Deformazione Max del terreno	ϵ_{max}		0.0001
Lunghezza di scorrimento della tubazione	L'	mm	27484
Forza d'attrito	t_u	N/mm	7.6
Spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento nel terreno	Δ	mm	1.5
Forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale	S	kN	36.11
Momento flettente sulla curva	M	kNm	5.19
Fattore di intensificazione dello stress	K_I		0.97
Tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S	σ_{aS}	Mpa	2.62
Tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M	σ_{bS}	Mpa	3.81
Dati sismici			
Tensioni assiali	σ_{aR}	Mpa	-2.62
Tensioni flessionali	σ_{bR}	Mpa	-3.81
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	Mpa	-6.42
	<input type="checkbox"/>		
Analisi tensionale			
Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{\Delta t,L}$	Mpa	-110.70
Tiro di fondo	$\sigma_{P,S}$	Mpa	68.65
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	129.80
Tensione equivalente	σ_V	Mpa	155.16
fattore utilizzazione	F		0.43
	<input type="checkbox"/>		
Tensione equivalente con sisma	σ_{VS}	Mpa	159.65
fattore utilizzazione	F		0.44
	<input type="checkbox"/>		
Verifica Instabilità			
<i>Deformazione Massima</i>	ϵ_{VS}		0.0008
<i>Deformazione Critica</i>	ϵ_{cr}		0.0104
<i>tasso di lavoro</i>	F		0.07

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 19 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

3.6 Risultati “Allacciamento Eurallumina DN 300 (12”), DP 75 bar”

Vengono di seguito riportati i risultati della verifica, dai quali si evince 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 trasmesse dall'azione sismica calcolata attraverso analisi RSL semplificata (dal calcolo si ottengono un fattore di utilizzazione pari a 0.55 e un tasso di lavoro pari a 0.09).

Dati di ingresso

Dati sismici			
	Variabili	unità	
Accelerazione orizzontale massima del sito	a_g/g		0.060
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	F_0		2.980
Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_c^*	sec	0.372
Periodo fondamentale corrispondente al tratto dello spettro a velocità costante	T_c	sec	0.540
Categoria Sottosuolo	C_s		C
Categoria Topografica	C_T		T1
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_s		1.500
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T		1.000
Massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto SLV	a_g	m/s^2	0.88
Massima Accelerazione Normalizzata rispetto alla gravità	a_g/g		0.090
Massima velocità del terreno attesa per il terremoto SLV	v_g	m/s	0.077
Velocità Apparente onde Sismiche	C	m/s	900

Dati Terreno			
Altezza minima di ricoprimento	H	m	1.5
Peso specifico del terreno di rinterro	γ	kN/m^3	18
Modulo di reazione del suolo	k_0	Mpa	25
Angolo di attrito terreno tubo	δ		15.00
coefficiente di pressione del suolo a riposo	K_0		0.58

Dati Geometrici tubi rettilinei			
	Variabili	unità	
Materiale tubazione			GRADO L360MB
Diametro Nominale	DN		300
Diametro Interno	D_i	mm	304.90
Spessore tubo di linea	t	mm	9.50
Diametro Esterno	D_e	mm	323.90
Pressione interna di progetto	P	bar	75
Variazione di temperatura	ΔT	$^{\circ}C$	45
Modulo elastico	E	Mpa	205000

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA – RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 20 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Coefficiente di Poisson	ν	0,3
Tensione Snervamento Materiale Tubazione	σ_y	Mpa 360

Dati Geometrici tubi curvi

	Variabili	unità	
Materiale tubazione			GRADO L360MB
Diametro Nominale	DN		300
Diametro Interno	Di	mm	304.90
Spessore tubo delle curve	t	mm	9.50
Diametro Esterno	De	mm	323.90
Pressione interna di progetto	P	bar	75
Variazione di temperatura	ΔT	°C	45
Modulo elastico	E	Mpa	205000
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Tensione Snervamento Materia Tubazione	σ_y	Mpa	360
Momento d'inerzia della sezione trasversale del tubo	I	mm ⁴	116045541
Area della sezione trasversale del tubo	A _p	mm ²	9383
Raggio curve 7DN	r _o	mm	2134,0
Raggio tubazione	R	mm	162,0

Verifica per tratto rettilineo

Tensioni dovute al sisma

	Variabili	unità	
Tensioni assiali Onde di Taglio	σ_{aS}	Mpa	-8.75
Tensioni flessionali Onde di Taglio	σ_{bS}	Mpa	-0.04
Tensioni assiali Onde di Pressione	σ_{aP}	Mpa	-17.50
Tensioni flessionali Onde di Pressione	σ_{bP}	Mpa	-0.01
Tensioni assiali Onde Superficiali di Rayleigh R	σ_{aR}	Mpa	-17.50
Tensioni flessionali Onde Superficiali di Rayleigh R	σ_{bR}	Mpa	-0.04
Tensioni assiali	σ_a	Mpa	-26.26
Tensioni flessionali	σ_b	Mpa	-0.05
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	Mpa	-26.31
			□

Analisi tensionale

Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{At,L}$	Mpa	-110.70
Tensione trazione dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,L}$	Mpa	38.36
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	127.86
Tensione equivalente con sisma	σ_{VS}	Mpa	196.71
fattore utilizzazione	F		0.55

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 21 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

Verifica Instabilità

<i>Deformazione Massima</i>	ϵ_{vs}	0.0010
<i>Deformazione Critica</i>	ϵ_{cr}	0.0113
<i>tasso di lavoro</i>	F	0.09

Verifica per tratto in curva

Elaborazione

	Variabili	unità	
	λ	1/mm	0.0007
Deformazione Max del terreno	ϵ_{max}		0.0001
Lunghezza di scorrimento della tubazione	L'	mm	23543
Forza d'attrito	t_u	N/mm	6.0
Spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento nel terreno	Δ	mm	1.3
Forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale	S	kN	25.37
Momento flettente sulla curva	M	kNm	3.20
Fattore di intensificazione dello stress	K_1		0.97
Tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S	σ_{aS}	Mpa	2.70
Tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M	σ_{bS}	Mpa	4.32

Dati sismici

Tensioni assiali	σ_{aR}	Mpa	-2.70
Tensioni flessionali	σ_{bR}	Mpa	-4.32
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	Mpa	-7.02

Analisi tensionale

Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{At,L}$	Mpa	-110.70
Tiro di fondo	$\sigma_{P,S}$	Mpa	63.93
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	120.36

Tensione equivalente

fattore utilizzazione	F		0.41
-----------------------	----------	--	------

Tensione equivalente con sisma

fattore utilizzazione	F	Mpa	154.44
-----------------------	----------	------------	---------------

Verifica Instabilità

<i>Deformazione Massima</i>	ϵ_{vs}	0.0008
<i>Deformazione Critica</i>	ϵ_{cr}	0.0113
<i>tasso di lavoro</i>	F	0.07

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/E19001	CODICE TECNICO -
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	REL-CIV-E-00020	
	PROGETTO VIRTUAL PIPELINE SARDEGNA - RETE ENERGETICA DI PORTOVESME DN VARI - DP VARI	Pag. 22 di 22	Rev. 0

Rif. TPIDL: 201969C-200-RT-3220-0032

4 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 2018.

I risultati delle analisi presentate nei paragrafi precedenti hanno evidenziato l' idoneità degli spessori utilizzati per la tubazioni 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.