

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 1 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

REGIONE PUGLIA

GASDOTTO:

LUCERA- SAN PAOLO DI CIVITATE
Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2)
DN 300 (12"), DP 75 bar

VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



0	Emissione per Enti	E. Camerini	S. Palmieri	A. Spadacini	09/04/2021
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 2 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Scopo del documento	3
1.2	Normativa di riferimento	4
1.3	Abbreviazioni	5
2	DATI DI CALCOLO	6
2.1	Dati sismici	6
2.2	Condizioni di progetto	8
2.3	Parametri meccanici	8
3	VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	9
3.1	Premessa	9
3.2	Criterio di verifica allo SLV	10
3.2.1	<i>Metodologia di calcolo tratto rettilineo</i>	10
3.2.2	<i>Metodologia di calcolo tratto in curva</i>	14
3.3	Criterio di verifica allo SLD	17
3.4	Parametri geotecnici	18
4	RISULTATI DEL CALCOLO	19
4.1	“METANODOTTO LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar”	20
4.1.1	<i>Analisi allo SLV</i>	20
4.1.2	<i>Analisi allo SLD</i>	23
5	CONCLUSIONI	25

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 3 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

1 INTRODUZIONE

1.1 Scopo del documento

La presente relazione di analisi allo scuotimento sismico si riferisce a:

- **METANODOTTO LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE**
Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2), DN 300 (12”), 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 prescritto nelle nuove norme tecniche NTC (Rif. [2]). Le sollecitazioni calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle “Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe” (Rif. [3]), e alle “Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines” (Rif. [4]), vengono confrontate con gli ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif. [1]).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 4 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

1.2 Normativa di riferimento

- [1] ASME B31.8 – 2010 Gas Transmission and Distribution Piping Systems (solo per applicazioni specifiche es. trappole bidirezionali);
- [2] DM 17/01/2018 - NTC 2018 Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni;
- [3] ASCE 1984 – Guidelines for the Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline System;
- [4] ALA ASCE FEMA 2005 - Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe;
- [5] PRCI (Pipeline Research Council International) 2004 - Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines;
- [6] UNI EN 1993-4-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 4-3: Condotte";
- [7] UNI EN 1998-4:2006 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte";
- [8] ASCE (4-98) Seismic Analysis of Safety-related Nuclear Structures and Commentary
- [9] DPCM 21/10/2003, n. 3685 "Disposizioni attuative dell'articolo 2 commi 2, 3 e 4 dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.32745 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- [10] CSLLP Circolare 21/01/2019, n. 7 "Circolare Applicativa - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018."
- [11] DM 17/04/2008 – Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0.8.
- [12] DM 04/04/2014 - Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 5 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

1.3 Abbreviazioni

- DN Diametro Nominale
- I.N.G.V. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- I.S.P.R.A. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
- NTC Norme Tecniche per le Costruzioni
- SLD Stato Limite di Esercizio di Danno
- SLV Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita
- LS1 Stato Limite Ultimo: Rottura (condotte)
- LS6 Stato Limite di Esercizio: Deformazioni (condotte)
- LS7 Stato Limite di Esercizio: Vibrazioni (condotte)
- LS8 Stato Limite di Esercizio: Perdita dei contenuti (condotte)

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 6 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

2 DATI DI CALCOLO

2.1 Dati sismici

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, per la classificazione del sottosuolo abbiamo scelto di ricorrere alla definizione in funzione del valore equivalente della velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$.

In particolare, non essendo disponibili MASW prossime alle coordinate selezionate, è stata stimata la categoria di sottosuolo sulla base delle litologie affioranti, considerando le categorie peggiorative a vantaggio di sicurezza.

Per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo interessato dalle opere in progetto, le indagini geofisiche eseguite hanno consentito di ottenere per la $V_{s,30}$ (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo) valori compresi tra 180 m/s e 360 m/s. La descrizione stratigrafica è congruente con quella prevista dalla tab. 3.2.11 delle NTC (Rif. [2]), pertanto il sito in esame ricade nella categoria di sottosuolo “C”.

Sulla base di quanto detto, in riferimento alle coordinate relative alle verifiche svolte in questa relazione, è stata ricavata la seguente categoria di sottosuolo:

- Categoria di sottosuolo “C” relativa a:
METANODOTTO LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE
Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar

In accordo con le NTC Rif. [2], per le condotte interrate, data l'importanza strategica vanno considerati due Stati Limite:

- Stato Limite di Esercizio di Danno SLD
- Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita SLV

Per gli Stati Limite di Esercizio, con riferimento alle NTC Rif. [2], la componente Sismica allo Stato Limite di Danno è stata opportunamente combinata con gli altri carichi (Pressione di Progetto e Variazione di Temperatura). Secondo EN1998-4 Rif. [7] lo Stato Limite di Danno per le caratteristiche prestative e funzionali dell'opera, deve soddisfare la condizione di “Integrity”, vale a dire che il sistema considerato dovrà rimanere pienamente in servizio e a prova di perdite. Secondo le EN1993-4-3 Rif. [6], per le condotte interrate, gli Stati Limite di Esercizio da verificare sono: LS6 (Deformazioni), LS7 (Vibrazioni) ed LS8 (Perdita contenuto). Per il fatto che il tubo viaggia a profondità relativamente basse e che le deformazioni, in particolare nei casi di attraversamenti stradali o ferroviari del tubo di protezione, dipendono principalmente dai carichi esterni (terreno di copertura, presenza falda, traffico mobile veicolare ecc), la verifica a deformazione LS6 (ovalizzazione) viene eseguita a parte sul tubo di protezione, in base alle relative norme e standard di riferimento (Std. 00501 “Tubo di protezione Gasdotti”, DM 17/04/2008 Rif. [11], DM 04/04/2014 Rif. [12] e NTC Rif. [2] per i carichi stradali). Per la condotta considerata in questa relazione vengono quindi illustrati i risultati delle verifiche LS7 ed LS8 secondo i limiti raccomandati dalle ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5] per le condizioni allo SLD di “Pressure Integrity” e “Wave Propagation” (paragrafo 3.3).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 7 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

Per gli Stati Limite Ultimi, con riferimento alle NTC Rif. [2], la componente Sismica allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita è stata opportunamente combinata con gli altri carichi (Pressione di Progetto e Variazione di Temperatura). Si verifica che per le condizioni di carico non si raggiunge mai la plasticizzazione del materiale, rimanendo sempre in campo elastico. Secondo la EN1998-4 paragrafo 6.2.2(1)P Rif. [7] in termini di requisiti di sicurezza agli Stati Limite Ultimi per le condotte interrato, *“Il principale pericolo per la sicurezza direttamente associato alla rottura della condotta durante un evento sismico è rappresentato dall'esplosione e dal fuoco, in particolare per quanto riguarda i gasdotti. La lontananza del luogo e l'esposizione della popolazione all'impatto della rottura devono essere prese in considerazione nello stabilire il livello dell'azione sismica pertinente allo stato limite ultimo.”* Al fine di raggiungere lo scopo nella seguente relazione, per le combinazioni di carico dovute allo scuotimento sismico allo SLV in condizioni operative di progetto, e quindi al fine di verificare le sollecitazioni critiche secondo le ASME B31.8 Rif. [1] ed in accordo con le EN 1993-4-3 Rif. [6] per ogni condotta considerata vengono di seguito illustrati i risultati della verifica LS1 allo Stato Limite Ultimo a Rottura secondo il raccomandato criterio di Von Mises (paragrafi 3.2.1 e 3.2.2).

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

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

Con riferimento alla Relazione Geologica di dettaglio (doc. 000-RT-D-0016) ed allo Studio Sismico (doc. 000-RT-D-0019) visto che il sito intercetta zone a pericolosità idraulica alta, censite negli elaborati del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), non è possibile escludere dal metodo di verifica fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc).

Nello Studio Sismico succitato, in questa fase è stata analizzata la Microzonazione Sismica di primo livello consistente nella valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo; in base a tale studio è stato possibile individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette a instabilità, come ad esempio frane, rotture della superficie per faglie e liquefazioni dinamiche del terreno.

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 rappresenta, in genere, un livello propedeutico ai successivi studi di Microzonazione Sismica e consiste, principalmente, nella raccolta organica e ragionata dei dati di natura geologica,

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 8 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

geofisica e geotecnica preesistenti al fine di suddividere l'intero tracciato di progetto in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

Tale studio è stato finalizzato alla valutazione della pericolosità evidenziando le criticità ed identificando le aree per le quali sono richiesti studi più approfonditi.

Il metodo di verifica allo scuotimento sismico di questo documento non analizza fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc) eventualmente analizzabili nelle fasi di progettazione successive.

2.2 Condizioni di progetto

Di seguito si riportano la Pressione ed il Gradiente Termico utilizzati per la verifica in concomitanza allo scuotimento sismico della condotta in oggetto:

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

2.3 Parametri meccanici

1) METANODOTTO LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE
Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar

- Diametro nominale: DN 300 (12")
- Materiale: EN L360 MB
- Spessore di linea minimo: 9.50 mm
- Spessore della curva: 9.50 mm
- Raggio curva prefabbricata (7DN): 2134 mm

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 9 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

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 LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE**

Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar

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

Secondo le indicazioni degli studi riportati dalla letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento esercitata sulla tubazione dal terreno circostante, consente di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione (Hindy, Novak 1979). Pertanto la condotta può considerarsi semplicemente investita dalle onde sinusoidali (Rif. [3], [4] e [5]), distinte come segue:

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

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

Nei tratti di tubazione rettilinea tra le onde di volume si ritiene opportuno considerare solo le onde di tipo S (si veda paragrafo 3.2.1.1), in quanto in grado di portare più energia e generare maggiori spostamenti di terreno rispetto alle onde P (Rif. [3] e [4]).

Nei tratti di tubazione rettilinea per le onde di superficie invece si ritiene opportuno considerare solo le onde R (si veda paragrafo 3.2.1.1) in quanto inducono tensioni longitudinali significativamente maggiori rispetto alle tensioni flessionali indotte dalle onde L (Rif. [3] e [4]).

Per valutare le deformazioni indotte dal sisma, secondo l'EN 1998-4 cap. 6.3.3 (2) Rif. [6] regola generale è quella di riferirsi alla velocità delle onde di volume per distanze del gasdotto prossime all'epicentro, mentre per distanze maggiori sono più significative le velocità delle onde di superficie. In accordo con ciò, secondo ASCE (1984) - cap. 6.1 Rif. [3], ci si può riferire alla velocità delle onde di volume per distanze dall'epicentro fino a 5 volte la profondità dell'ipocentro, mentre per distanze maggiori si considera appunto la velocità delle onde di superficie (Figura 3.1.1).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 10 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

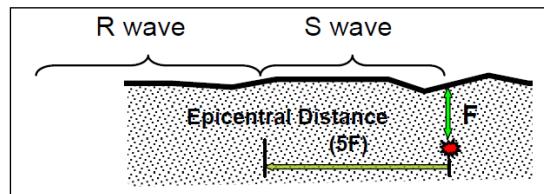


Figura 3.1.1 - Indicazione per la valutazione delle onde sismiche secondo ASCE (1984) (Rif. [3])

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

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

3.2 Criterio di verifica allo SLV

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap. 3.2.1) e tratto in curva (cap. 3.2.2). Le tensioni indotte dal sisma sulla tubazione, in ciascuno dei suddetti scenari, sono calcolate secondo l'approccio proposto dalle ASCE 1984 (Rif. [3], [4] e [5]).

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

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

3.2.1 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 11 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

3.2.1.1 *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] e [7]) 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 (Rif. [3] e [7]):

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

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.

Un gasdotto interrato soggetto al passaggio delle onde sismiche subisce sollecitazioni sia longitudinali che flessionali, tuttavia secondo Rif. [3], [4] e [7] le sollecitazioni di tipo flessionale rappresentano tipicamente un effetto del secondo ordine, come evidenziato tra l'altro proprio dalle formule sopra descritte di massima deformazione assiale e massima curvatura, quindi il calcolo del tratto rettilineo verrà focalizzato sulle deformazioni assiali.

Nel caso delle onde S, la direzione di propagazione è ortogonale al moto delle particelle solide come mostrato in Figura 3.2.1.

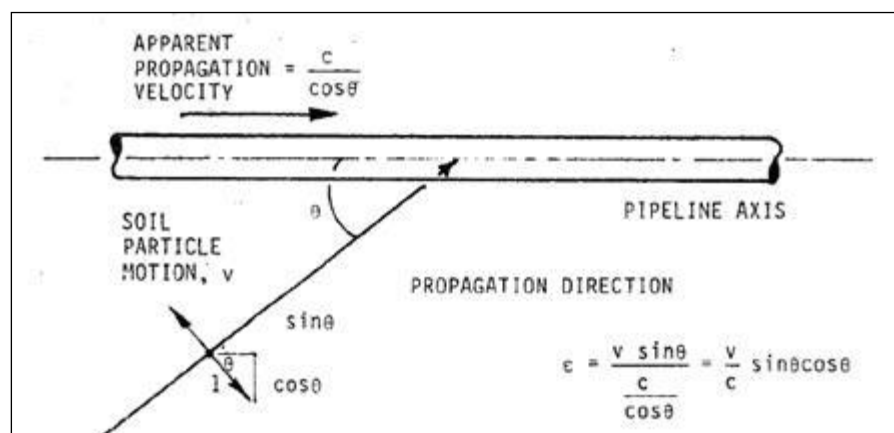


Figura 3.2.1 - Effetto longitudinale delle onde di taglio sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B - Rif. [3]).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 12 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

Essendo l'angolo di incidenza generalmente sconosciuto, si assume il valore per il quale si hanno le deformazioni ε massime del terreno, ovvero per valori di θ pari a 45° :

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

Le onde P invece inducono nel suolo movimenti nella medesima direzione di quella di propagazione come mostrato in Figura 3.2.2

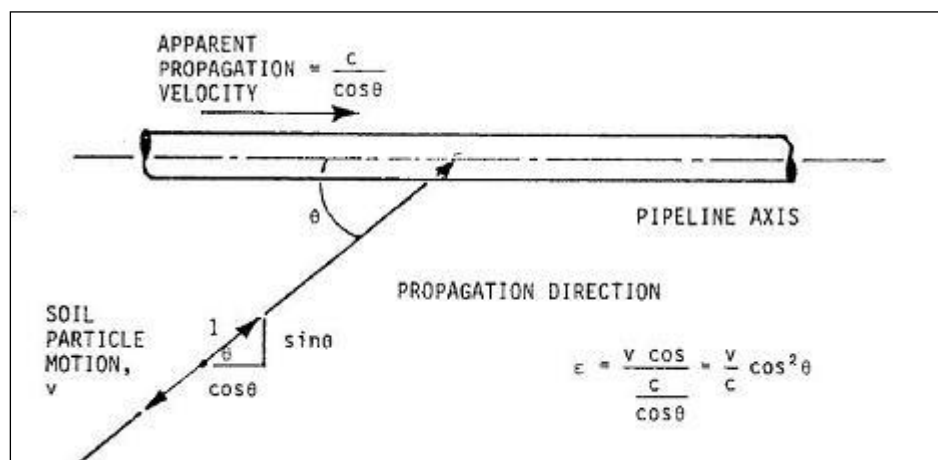


Figura 3.2.2 - Effetto longitudinale delle onde di compressione sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B - Rif. [3]).

Il valore dell'angolo di incidenza per il quale si hanno le deformazioni ε maggiori del terreno risulta essere per valori di θ pari a 0° , ovvero:

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

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

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 13 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

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

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

Lo stato tensionale infine può essere desunto dalla classica relazione

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

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

Infine, ai sensi delle ASME B31.8 - para 833 (Rif. [1]) 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 (Rif. [1]) 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 (Rif. [1]) 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:

$$\sigma_H = PD/2t$$

e

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 14 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

La normativa ASME B31.8 - para 833.4 (Rif. [1]) 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:

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

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

3.2.2 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} = ε_g massima deformazione del terreno (vedi Rif. [3] paragrafo 6.1)

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:

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

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 15 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

con:

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

Il fattore di intensificazione dello stress:

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

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:

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

3.2.2.1 *Applicazione del criterio di verifica*

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

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

Ai sensi delle ASME B31.8 - para 833 (Rif. [1]) 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 (Rif. [1]) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

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

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 16 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

“Restrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 - para 833.3 (Rif. [1]) 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:

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

La normativa ASME B31.8 - para 833.4 (Rif. [1]) prescrive di verificare che la tensione equivalente calcolata secondo “Von Mises” sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% (carichi occasionali – di breve durata) della tensione di snervamento:

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 17 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

3.3 Criterio di verifica allo SLD

Per le verifiche “Pressure Integrity” a trazione e a compressione (prudenzialmente si considera la possibilità che durante l’evento sismico possa avvenire l’inversione del carico) il valore ϵ_{MAXSLD} è pari alla somma delle deformazioni longitudinali dovute allo scuotimento sismico allo SLD $\epsilon_{SISMASLD}$ con la deformazione longitudinale da variazione termica $\alpha \Delta T$.

$$\epsilon_{MAXSLD Integrity} = \epsilon_{SISMASLD} + \alpha \Delta T$$

I valori di elongazione limite alla trazione raccomandate dalle linee guida come ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5] sono una frazione dell’allungamento a trazione di cui le condotte sono capaci. Nel corso degli anni sono stati suggeriti numerosi valori per la capacità di trazione limite di tubi in acciaio con saldature di testa di buona qualità. Le linee guida ASCE 1984 Rif. [3] per la progettazione sismica di sistemi di oleodotti e gasdotti consentono deformazioni longitudinali comprese tra il 3% e il 5%. Come tale, la deformazione è una indicazione di misura migliore sul comportamento del tubo. In entrambe le linee guida ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5], il livello di deformazione a trazione suggerito per tubazioni moderne con saldature di alta qualità dipende dall’obiettivo prestazionale. Per tubazioni in cui l’obiettivo prestazionale è il mantenimento dell’integrità della pressione (si prevede che una tubazione non perda, ma potrebbe essere necessario sostituirla dopo l’evento sismico di progetto), il limite di deformazione a trazione è del 4% nelle Linee guida ALA ASCE FEMA Rif. [4] e dal 2% al 4% per le linee guida PRCI Rif. [5].

Per la compressione le Linee guida ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5], per l’obiettivo di prestazione dell’integrità della pressione raccomandano un limite di deformazione di pari a 1.76 t / D.

In definitiva, i limiti di deformabilità per “Pressure Integrity” valgono:

- a trazione $\epsilon_{MAXSLD Integrity} < 4\%$
- a compressione $\epsilon_{MAXSLD Integrity} < 1.76 t / D$

Per quanto riguarda infine la verifica “Wave propagation” a trazione e a compressione, considerando chiaramente la possibilità che durante l’evento sismico possa avvenire l’inversione del carico, il valore ϵ_{MAXSLD} da confrontare con i limiti è pari alle sole deformazioni longitudinali dovute allo scuotimento sismico allo SLD $\epsilon_{SISMASLD}$

$$\epsilon_{MAXSLD Wave} = \epsilon_{SISMASLD}$$

I valori di elongazione limite alla trazione raccomandate dalle linee guida come ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5] sono nuovamente una frazione dell’allungamento minimo possibile, ma ancora più restrittiva, pari a 0.5%.

Per la compressione le Linee guida ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5], il valore limite raccomandato è invece pari al 75% del limite previsto dal limite operativo in compressione (che prevede la normale operatività e funzionalità post-evento sismico), cioè pari a $0.75 \cdot [0.5 \cdot (t/D) - 0.0025 + 3000 \cdot (P D / 2 E t)^2]$.

In definitiva, i limiti di deformabilità per “Wave Propagation” valgono:

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 18 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

- a trazione $\varepsilon_{MAXSLD\ Wave} < 0.5\%$
- a compressione $\varepsilon_{MAXSLD\ Wave} < 0.75 \cdot [0.5 \cdot (t/D) - 0.0025 + 3000 \cdot (P D / 2 E t)^2]$

Dopo un forte evento sismico, per fini manutentivi di ispezione, si potrebbe rendere necessario interrompere (shut down) il flusso di gas all'interno delle condotte. Durante l'ispezione la pressione interna può essere ridotta, mentre le sollecitazioni dovute agli spostamenti del terreno post-evento sismico possono ancora essere presenti. Perciò la maggior capacità nei confronti della compressione data dalla pressione interna non darà il suo contributo stabilizzante. Quindi è prudentiale fornire una ulteriore verifica che ne trascuri la presenza. Ciò significa che la verifica a "Shut Down" del limite di deformabilità per "Wave Propagation" a compressione vale:

- Shut Down $\varepsilon_{MAXSLD\ ShutDown} < 0.75 \cdot [0.5 \cdot (t/D) - 0.0025]$

Infine, essendo le analisi agli Stati Limite di Esercizio verifiche sulle deformazioni, è raccomandabile verificare la $\varepsilon_{SISMASLD}$ che massimizza le deformazioni dovute al sisma allo SLD sia per il tratto rettilineo che per il tratto in curva. Agli Stati Limite di Esercizio non è necessario separare le verifiche per le due condizioni in rettilineo e in curva.

3.4 Parametri geotecnici

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva e per la Risposta Sismica Locale (Categoria Sottosuolo e Categoria Topografica), per il diametro verificato si sono utilizzati i seguenti valori, ricavati per analogie litologiche, dalle indagini geognostiche eseguite lungo il tracciato in progetto, per le quali si rimanda alla Relazione Geologica di Dettaglio (000-RT-D-0016):

1) METANODOTTO LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE
Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar:

Categoria suolo: C

Angolo di attrito: 16°

Peso di volume: 18.5 kN/m³

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

Per la Categoria Topografica infine, presentandosi l'area nella sua totalità come una superficie sub-pianeggiante, si ritiene rappresentativo assumere per tutte le seguenti verifiche il valore **T1** avente come coefficiente $S_T = 1.0$.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 19 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

4 **RISULTATI DEL CALCOLO**

Essendo i gasdotti ritenuti opere infrastrutturali di importanza strategica (DPCM 21 ottobre 2003 n. 3685 – Dipartimento Protezione Civile Rif. [9]) le azioni sismiche allo SLV sulle tubazioni interrato sono state valutate in accordo alle NTC Rif. [2], alle EN1998-4 Rif.[7] ed alla Relazione Geologica di dettaglio (doc. 000-RT-D-0016), con i seguenti parametri:

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

Tutti i parametri delle azioni sismiche allo SLV in fase di progettazione sono riferiti allo Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali riferite al reticolo secondo le Tabelle Parametri Spettrali (paragrafo 3.2 del Rif. [2]) nel comune di San Severo (FG) attraverso il software di calcolo dei parametri sismici fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, "Spettri di risposta" ver. 1.03.

Essendo la protezione nei confronti degli Stati Limite di Esercizio di prioritaria importanza, in accordo con le NTC (Rif. [2], Tab. 3.2.1), è necessario ridurre i valori di P_{Vr} forniti dalle norme stesse. A tale scopo si può fare riferimento alle indicazioni fornite dalle EN1998-4 Rif.[7] per cui l'azione sismica per la quale lo SLD nelle condotte interrato non può essere superato deve avere una probabilità di eccedenza di $P_{Vr}=10\%$ con $V_N \geq 10$ anni, ovviamente mantenendo il $C_U=2$ dovuto alla Classe IV. Allo SLD si ha per cui un tempo di ritorno $T_R=190$ anni. Anche nel caso delle azioni sismiche allo SLD in fase di progettazione tutti i parametri sono riferiti allo Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali riferite al reticolo secondo le Tabelle Parametri Spettrali (paragrafo 3.2 del Rif. [2]) nel comune di San Severo (FG).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 20 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

4.1 "METANODOTTO LUCERA – SAN PAOLO DI CIVITATE Tratto FOGGIA – SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar"

4.1.1 Analisi allo SLV

4.1.1.1 Dati in ingresso

Comune di San Severo (FG)
 Latitudine (WGS84): 41.607714°
 Longitudine (WGS84): 15.471481°
 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

$a_g =$	0.245	$g =$	2.401	m/s ²
$g =$	9.816		m/s ²	
$T_C^* =$	0.354		s	
$F_0 =$	2.472		-	
suolo =	C		-	
topografia =	T1		-	
$D_e =$	323.90		mm	
$t =$	9.50		mm	
$E =$	210000		N/mm ²	
$\nu =$	0.3		-	
$\sigma_y =$	360		N/mm ²	
$\alpha =$	0.000012		1/°C	
$\gamma_p =$	78.5		kN/m ³	
$C =$	2000		m/s	
$\Delta T =$	45		°C	
$P =$	75	bar =	7.5	N/mm ²
$t_c =$	9.50		mm	
$k_W =$	100		N/mm ²	
$\phi =$	16	deg =	0.27925268	rad
rivestimento =	polyethylene		-	
$H =$	1.5		m	
$r_0 =$	2134		mm	
$\gamma_t =$	18.5		kN/m ³	

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 21 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

4.1.1.2 Verifica Tratto rettilineo

AZIONI SISMICHE SECONDO NTC (RIF. [2])

$$\begin{aligned}
 S_T &= 1.00 && - \\
 S_S &= 1.337172162 && - \\
 C_C &= 1.479347327 && - \\
 S &= 1.337172162 && - \\
 T_C &= 0.523499237 && s \\
 a_{max} &= 3.21 && m/s^2 \\
 v_g &= 0.269 && m/s
 \end{aligned}$$

DEFORMAZIONI INDOTTE DA SISMA SU RETTILINEO ALA ASCE FEMA (RIF. [4])

$$\varepsilon_{SISMA SLV} = v_g/C = 0.269/2000 = 0.00013446 \quad -$$

TENSIONI INDOTTE DA SISMA SU TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{SISMA} = 28.24 \quad N/mm^2$$

TENSIONI TOTALI SU TRATTO RETTILINEO SECONDO B31.8 (RIF. [1])

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\Delta T} &= 113.40 \quad N/mm^2 \\
 \sigma_H &= 127.86 \quad N/mm^2 \\
 \sigma_{LO} &= 92.17 \quad N/mm^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"} \\
 \sigma_{LT} &= -103.28 \quad N/mm^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"} \\
 \sigma_{COMB} &= 200.55 \quad N/mm^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}
 \end{aligned}$$

VERIFICA TENSIONI E DEFORMAZIONI SU TRATTO RETTILINEO B31.8 (RIF. [1])

$$\begin{aligned}
 F_{LO} &= 0.26 < 0.75 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
 F_{LT} &= 0.29 < 0.90 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
 F_{COMBO} &= 0.56 < 1.00 \quad \mathbf{VERIFICATO} \\
 \varepsilon / \varepsilon_{cr} &= 0.09 < 1.00 \quad \mathbf{VERIFICATO}
 \end{aligned}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12”), DP 75 bar	Pagina 22 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

4.1.1.3 Verifica Tratto in curva

AZIONI SISMICHE SU TRATTO IN CURVA SECONDO ASCE 1984 (RIF. [3])

$$\delta = 0.6 \times \varphi = 9.6 \quad \text{deg} = 0.167551608 \text{ rad}$$

$$K_o=1 - \text{sen}\varphi = 0.724362644 \quad -$$

$$H_t = 1661.95 \quad \text{mm}$$

$$\epsilon_{\text{MAX}} = \epsilon_{\text{SISMA SLV}} = 0.0001345 \quad -$$

$$I = 5409470000 \quad \text{mm}^4$$

$$A_p = 160200 \quad \text{mm}^2$$

$$\lambda = 0.00038516 \quad \text{mm}^{-1}$$

$$W_p = 0.767 \quad \text{kN/m}$$

$$t_u = 4.692078442 \quad \text{kN/m}$$

$$K^* = 0.475816994 \quad -$$

$$L' = 429710.0309 \quad \text{mm}$$

$$K_1 = 0.967603271 \quad -$$

$$\Delta = 13.60600635 \quad \text{mm}$$

$$S = 2091750.244 \quad \text{N}$$

$$M = 845029434.3 \quad \text{N*mm}$$

TENSIONI INDOTTE DA SISMA TRATTO IN CURVA ASCE 1984 (RIF. [3])

$$\sigma^S_{\text{SISMA}} = 13.05711763 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma^M_{\text{SISMA}} = 24.47909739 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma^{\text{Curva}}_{\text{SISMA}} = 37.53621502 \quad \text{N/mm}^2$$

TENSIONI TOTALI SU TRATTO IN CURVA SECONDO LA B31.8 (RIF. [1])

$$\sigma_{\Delta T} = 113.40 \quad \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma_{LO} = 101.46 \quad \text{N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = -112.58 \quad \text{N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{\text{COMB}} = 208.36 \quad \text{N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA TENSIONI SU TRATTO IN CURVA SECONDO LA B31.8 (RIF. [1])

$$F_{LO} = 0.28 < 0.75 \quad \text{VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.31 < 0.90 \quad \text{VERIFICATO}$$

$$F_{\text{COMBO}} = 0.58 < 1.00 \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\epsilon / \epsilon_{\text{cr}} = 0.09 < 1.00 \quad \text{VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 23 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

4.1.2 Analisi allo SLD

4.1.2.1 Dati in ingresso

Comune di San Severo (FG)
 Latitudine (WGS84): 41.607714°
 Longitudine (WGS84): 15.471481°
 Vita Nominale $V_N=10$ anni
 Classe d'Uso IV
 Coefficiente d'Uso $C_U=2$
 Periodo di riferimento $V_R=V_N \cdot C_U=20$ anni
 Stato Limite SLD $\rightarrow P_{VR}=10\% \rightarrow T_R=190$ anni

$a_g =$	0.129	$g =$	1.266	m/s^2
$g =$	9.816	m/s^2		
$T_C^* =$	0.333	s		
$F_O =$	2.506	-		
sottosuolo =	C	-		
topografia =	T1	-		
$D_e =$	323.90	mm		
$t =$	9.50	mm		
$E =$	210000	N/mm^2		
$\nu =$	0.3	-		
$\sigma_y =$	360	N/mm^2		
$\alpha =$	0.000012	$1/^\circ C$		
$\gamma_p =$	78.5	kN/m^3		
$C =$	2000	m/s		
$\Delta T =$	45	$^\circ C$		
$P =$	75	bar =	7.5	N/mm^2
$t_c =$	9.50	mm		
$k_W =$	100	N/mm^2		
$\varphi =$	16	deg =	0.27925268	rad
rivestimento =	polyethylene	-		
$H =$	1.5	m		
$r_0 =$	2134	mm		
$\gamma_t =$	18.5	kN/m^3		

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 24 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

4.1.2.2 Verifica agli SLD

AZIONI SISMICHE SECONDO NTC (RIF. [2])

$S_T =$	1.00	-
$S_S =$	1.5	-
$C_C =$	1.508797589	-
$S =$	1.5	-
$T_C =$	0.502961769	s
$a_{max} =$	1.90	m/s ²
$v_g =$	0.153	m/s

DEFORMAZIONE INDOTTA DA SISMA ALLO SLD

$$\varepsilon_{SISMASLD} = v_g/C = 0.153/2000 = 0.00007643 \quad -$$

DEFORMAZIONI DOVUTE ALLA VARIAZIONE TERMICA SECONDO LE B31.8

$$\varepsilon_{TERMICA} = \alpha\Delta T = 0.00054000 \quad -$$

VERIFICA DEFORMAZIONE LONGITUDINALE DA SISMA COMBINATA CON DEFORMAZIONE DA VARIAZIONE TERMICA SECONDO ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5]
 OPERABLE = NO LEAKAGE OF THE CONTENTS Serviceability LS8 EN 1993-4-3 (RIF. [6])

$$\varepsilon_{MAXSLD Integrity Tension} = 0.00061643 < 0.04000 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$

$$\varepsilon_{MAXSLD Integrity Compression} = 0.00061643 < 0.05162 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$

VERIFICA DEFORMAZIONE LONGITUDINALE DA SISMA SECONDO ALA ASCE FEMA Rif. [4] e PRCI Rif. [5]

WAVE PROPAGATION = VIBRATIONS Serviceability LS7 EN 1993-4-3 (RIF. [6])

$$\varepsilon_{MAXSLD Wave Tension} = 0.00007643 < 0.005000000 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$

$$\varepsilon_{MAXSLD Wave Compression} = 0.00007643 < 0.009957794 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$

$$\varepsilon_{MAXSLD ShutDown} = 0.00007643 < 0.009123765 \quad \mathbf{VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5721	UNITÀ 002
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	SPC. RT-D-0020	
	PROGETTO/IMPIANTO Metanodotto Lucera-San Paolo di Civitate Tratto FOGGIA-SAN SEVERO (TRATTO 2) DN 300 (12"), DP 75 bar	Pagina 25 di 25	Rev. 0

Rif. TFM: 110009-2D-RT-E-5020

5 CONCLUSIONI

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

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

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