

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 1 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

## METANODOTTO

### MESTRE-TRIESTE TRATTO GONARS-TRIESTE INTERVENTI PER IL DECLASSAMENTO A 24 bar ED OPERE CONNESSE

## STUDIO SCUOTIMENTO SISMICO



1	Emissione per Permessi	M. Pigliapoco	G. Marinelli	H.D. Aiudi	01/12/2017
0	Emissione per Commenti	M. Pigliapoco	G. Marinelli	H.D. Aiudi	08/09/2017
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 2 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
1.1	Scopo del documento	3
1.2	Normativa di riferimento	3
1.3	Abbreviazioni	3
<b>2</b>	<b>DATI DI CALCOLO</b>	<b>4</b>
2.1	Dati sismici	4
2.2	Condizioni di progetto	4
2.3	Parametri meccanici	4
<b>3</b>	<b>VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b>	<b>5</b>
3.1	Premessa	5
3.2	Criterio di verifica	6
3.3	Metodologia di calcolo tratto rettilineo	6
3.3.1	<i>Massima deformazione indotta dalle onde sismiche</i>	7
3.4	Metodologia di calcolo tratto in curva	10
3.4.1	<i>Applicazione del criterio di verifica</i>	12
3.4.2	<i>Parametri geotecnici</i>	13
3.5	Valutazione relativa agli spostamenti indotti da eventuali faglie	13
<b>4</b>	<b>RISULTATI DEL CALCOLO</b>	<b>20</b>
4.1	Dati in ingresso	20
4.2	Verifica Tratto rettilineo	21
4.3	Verifica Tratto in curva	22
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>23</b>

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 3 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo del documento

La presente relazione di analisi sismica si riferisce al:

**Met. MESTRE - TRIESTE tratto Gonars – Trieste, Interventi per declassamento a 24 bar ed Opere Connesse**

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo il tracciato dei vari metanodotti in progetto, calcolato in accordo a quanto previsto dalle nuove norme tecniche NTC (Rif.[2]). Le sollecitazioni calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle "Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe" (Rif.[4]), e alle "Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines" (Rif.[5]), vengono confrontate con gli ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1]).

### 1.2 Normativa di riferimento

[1] ASME B31.8 - 2010 Gas Transmission and Distribution Piping Systems

[2] NTC2008 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

[3] ASCE 1984 – Guidelines for the Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline System

[4] ALA ASCE FEMA 2005 - Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe

[5] PRCI (Pipeline Research Council International) 2004 - Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines

[6] UNI EN 1993-4-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 4-3: Condotte"

[7] UNI EN 1998-4:2006 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte"

[8] ASCE (4-98) Seismic Analysis of Safety-related Nuclear Structures and Commentary

### 1.3 Abbreviazioni

- DN Diametro Nominale
- I.N.G.V. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- NTC Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 4 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

## 2 DATI DI CALCOLO

### 2.1 Dati sismici

Tutti i parametri delle azioni sismiche in fase di progettazione sono riferiti allo SLV dello Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali riferite all'area di maggior pericolosità sismica secondo le mappe disponibili anche in formato KML nel sito INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (considerando cautelativamente un **sottosuolo E**) (software di calcolo dei parametri sismici fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, "Spettri di risposta" ver. 1.03).

Coerentemente con quanto richiesto dalla normativa vigente e in particolar modo dalle NTC2008 Rif. [2], è necessario, successivamente alla raccolta di tutti i dati bibliografici e alla consultazione dei database nazionali che ci permettono 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).

Il metodo di verifica di questo documento esclude fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc) rilevabili solamente nelle fasi di progettazione successive.

### 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:

- $\Delta T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
- $P = 64 \text{ bar}$

### 2.3 Parametri meccanici

Per le verifiche è stato preso in considerazione il metanodotto localizzato nelle aree a maggior pericolosità sismica e dove quindi si prevede il massimo terremoto di progetto, e quindi: met. Derivazione per Cividale DN 250 (10"), DP 64 bar:

- Diametro nominale: 250 (10")
- Materiale: EN L360 MB
- Spessore di linea minimo: 7,8 mm
- Spessore della curva: 7,8 mm
- Raggio curva prefabbricata (3DN): 762 mm

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 5 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

### 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 il tratto ritenuto maggiormente critico in corrispondenza del metanodotto:

#### **Derivazione per Cividale DN 250 (10"), DP 64 bar**

facente parte delle opere connesse agli interventi per il declassamento a 24 bar del Met. Mestre - Trieste tr. Gonars – Trieste.

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, in quanto in grado di portare più energia e generare maggiori spostamenti di terreno rispetto alle onde P (Rif. [4] e [5]).

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

Per valutare le deformazioni indotte dal sisma, secondo l'EN 1998-4 cap. 6.3.3 (2) Rif. [7] 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).

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 6 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

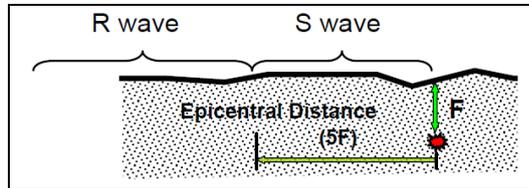


Figura 3.1.1 Indicazione per la valutazione delle onde sismiche secondo ASCE (1984)

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

Quest'ultime sono ritenute sufficientemente conservative, 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

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap.3.3) e tratto in curva (cap.3.4). Le tensioni indotte dal sisma sulla tubazione, in ciascuno dei suddetti scenari, sono calcolate secondo l'approccio proposto dalle ASCE 1984 (Rif.[3], [4] e [5]).

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 ( $\varepsilon$ ) dovuta ad una tensione di compressione.

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni di instabilità possono verificarsi per un accorciamento percentuale superiore a  $\varepsilon_{cr}$ , dato dalla seguente espressione (Rif.[3]):

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

### 3.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif.[3]) prevedono di trascurare l'interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei. Tale assunzione fornisce valori conservativi per quanto concerne lo stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi così come il suolo circostante si deforma a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende le tensioni indotte pressoché indipendenti dallo spessore della tubazione.

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

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 7 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

### 3.3.1 Massima deformazione indotta dalle onde sismiche

La formula generale per la massima deformazione assiale prodotta dalle differenti onde sismiche, nell'ipotesi di assenza di scorrimenti fra tubazione e terreno, secondo il modello rigido di Newmark (1967) (Rif.[3]) è di seguito riportata:

$$\varepsilon_g = v/\alpha_\varepsilon c$$

dove:

- $v$  massima velocità del terreno;
- $c$  velocità di propagazione dell'onda sismica;
- $\alpha_\varepsilon$  coefficiente di deformazione, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

La massima curvatura della condotta è espressa dalla formula seguente (Rif.[3]):

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

dove:

- $a$  massima accelerazione del terreno;
- $c$  velocità di propagazione dell'onda;
- $\alpha_k$  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. [4] e [5] 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 3.3.1.1.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17157	<b>UNITA</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere connesse	Pagina 8 di 23	<b>Rev.</b> 1

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

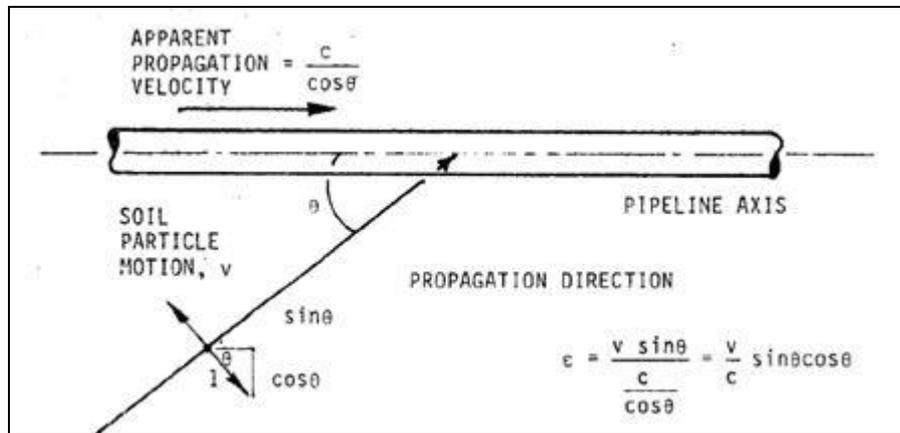


Figura 3.3.1.1 Effetto longitudinale delle onde di taglio sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

Essendo l'angolo di incidenza generalmente sconosciuto, si assume il valore per il quale si hanno le deformazioni  $\varepsilon$  massime del terreno, ovvero per valori di  $\theta$  pari a  $45^\circ$ :

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

Le onde P invece inducono nel suolo movimenti nella medesima direzione di quella di propagazione come mostrato in figura 3.3.1.2

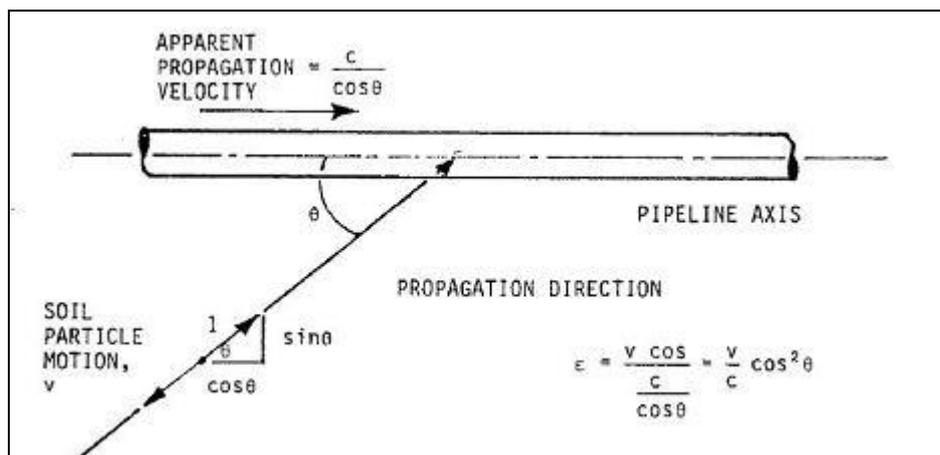


Figura 3.3.1.2 Effetto longitudinale delle onde di compressione sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

Il valore dell'angolo di incidenza per il quale si hanno le deformazioni  $\varepsilon$  maggiori del terreno risulta essere per valori di  $\theta$  pari a  $0^\circ$ , ovvero:

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

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 9 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

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 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 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 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.

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. [4] e [5] 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,  $2 \times 2000$  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 può essere desunto dalla classica relazione

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

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) vengono condotte le verifiche di controllo delle tensioni secondo due distinte ipotesi:

- "unrestrained pipeline"
- "restrained pipeline"

#### *"Unrestrained Pipeline"*

La normativa ASME B31.8 (para 833.6) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

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

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 10 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. FTM: 17157-00-RT-E-5121

### “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:

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

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

dove:

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

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:

$$\sigma_{vm} \leq \sigma_y$$

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

## 3.4 Metodologia di calcolo tratto in curva

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

Assumendo il movimento dell’onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si calcola la lunghezza di scorrimento ( $L'$ ) della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito  $t_u$  (Rif.[3]) secondo la formula seguente:

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3k_w} \left[ \sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{MAX} K_0}{2t_u \lambda}} - 1 \right]$$

$$t_u = \frac{\pi D}{2} \gamma_i H (1 + K_0) \text{tg } \delta + W_p \text{tg } \delta$$

dove:

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

con:

$\varepsilon_{MAX}$  massima deformazione del terreno

$k_w$  modulo di reazione del suolo (terreno alla Winkler)

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 11 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

$I$  momento d'inerzia della sezione

$K_o$  coefficiente di spinta a riposo

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

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

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

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

con:

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

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:

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

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 12 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

### 3.4.1 Applicazione del criterio di verifica

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

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

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

- “unrestrained pipeline”
- “restrained pipeline”

#### “Unrestrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.6) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

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

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

dove:

$$\sigma_{\text{H}} = PD/2t$$

#### “Restrained Pipeline”

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

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

con:  $\sigma_{\text{LT}} = -v \cdot \sigma_{\text{H}} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\text{Curva}}^{\text{SISMA}}$

dove:

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

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:

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

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

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 13 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

### 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 250) si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata:

**Categoria suolo: E**

**Angolo di attrito: 25°**

**Peso di volume: 17.5 kN/m<sup>3</sup>**

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

### 3.5 **Valutazione relativa agli spostamenti indotti da eventuali faglie**

Qualora non sia possibile evitare che il tracciato attraversi o passi nelle vicinanze di faglie tettonicamente attive, bisogna effettuare degli approfondimenti per risalire alle caratteristiche strutturali e geometriche delle strutture tettoniche. In particolar modo per le faglie capaci si può fare riferimento al database del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) che contiene la raccolta di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Nel database sono riportate le principali faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Il database delle faglie capaci è uno strumento fondamentale per:

- analisi di pericolosità ambientale e sismica
- comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio
- pianificazione territoriale
- gestione delle emergenze di Protezione Civile.

Può essere inoltre di supporto alla ricerca scientifica nell'ambito dell'analisi dei processi geodinamici.

Nella fattispecie per le opere facenti parte del Declassamento Mestre-Trieste, tratto Gonars-Trieste, si mostrano nelle immagini seguenti degli stralci delle faglie capaci riferite al database ITHACA (Figura 3.5.1) attraversate dal metanodotto in progetto.

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 14 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121



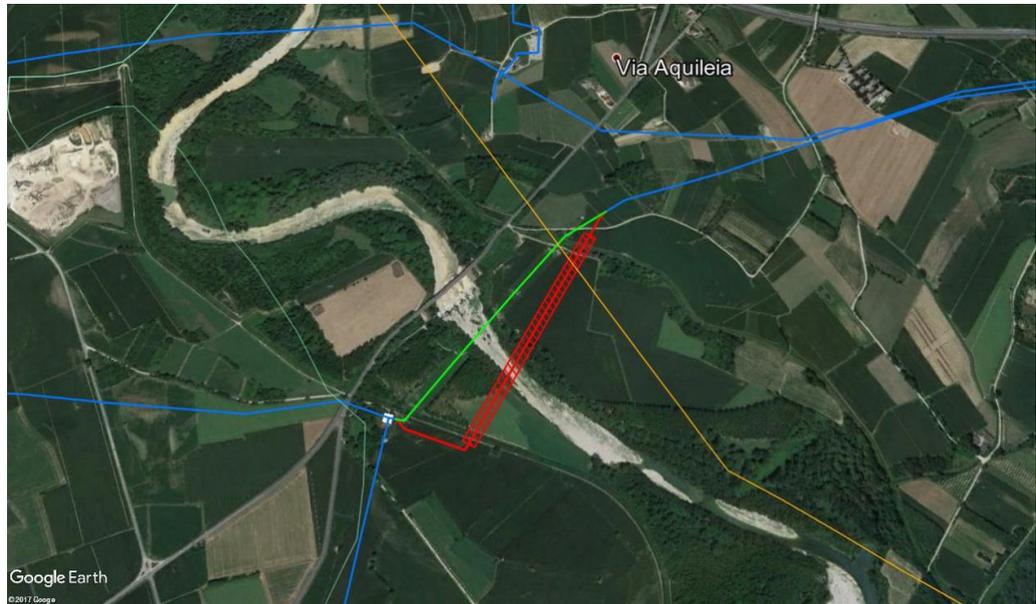
**Figura 3.5.1** *Visione generale delle faglie capaci (in arancione) del metanodotto in oggetto (in blu tracciato esistente, in verde tratti da dismettere, in rosso tratti in progetto)*

Secondo il database ITHACA, il tracciato in progetto attraversa faglie capaci almeno in tre differenti località:

- in comune di Villesse nei pressi del Fiume Torre (attraversamento di fiume in trenchless – Figura 3.5.2)
- in comune di Udine nei pressi della Località Produttiva (met. Derivazione Manzano-Buttrio – Figura 3.5.3)
- in comune di Premariacco (met. Derivazione per Cividale – Figura 3.5.4).

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 15 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121



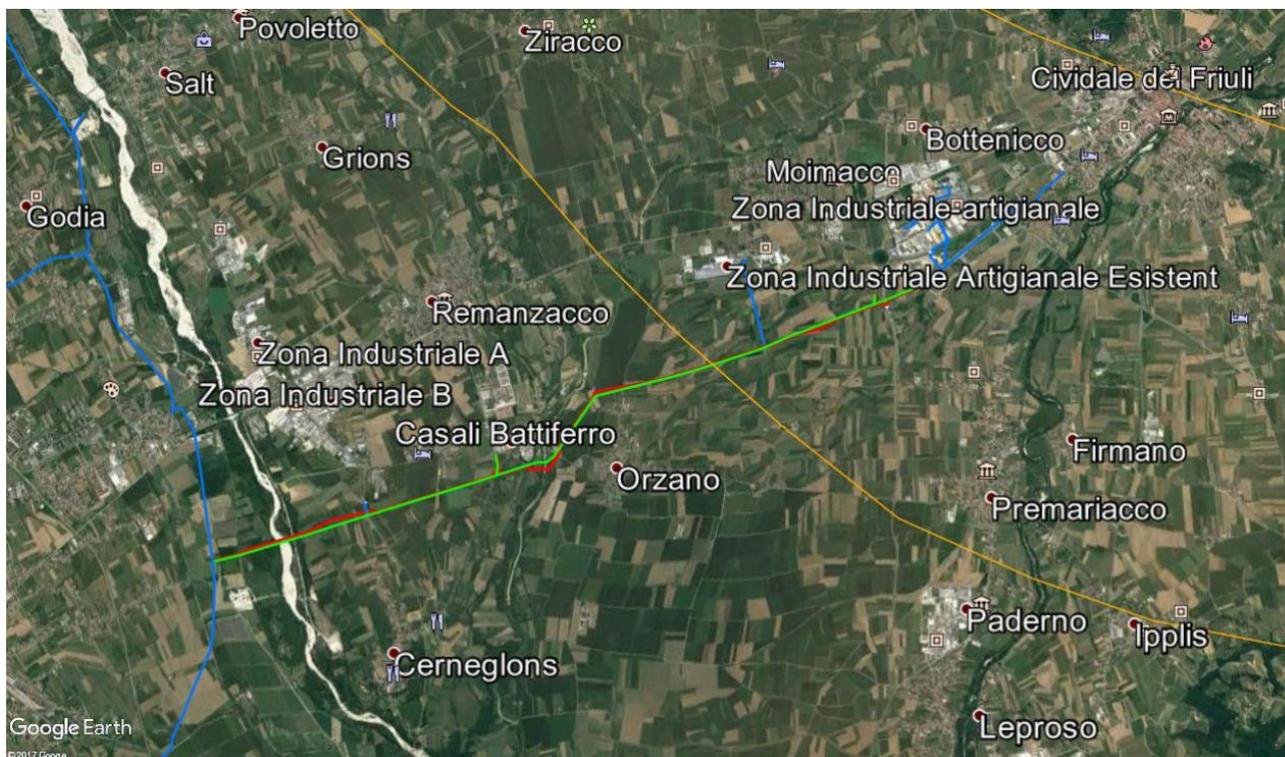
**Figura 3.5.2 Stralcio variante del Fiume Torre in comune di Villesse, attraversamento in Trenchless**



**Figura 3.5.3 Stralcio met. Derivazione Manzano Buttrio**

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 16 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121



**Figura 3.5.4 Stralcio Met. Derivazione per Cividale**

Si ritiene comunque utile segnalare che per quanto aggiornate e accurate possano essere le localizzazioni delle faglie capaci del database ITHACA saranno necessarie nelle fasi successive studi approfonditi con microzonazione (probabilmente fino al terzo livello) non facenti parte di questa fase progettuale ai fini di approfondire le reali aree interessate e se possibile le tipologie di scorrimento (faglia trascorrente, inversa o diretta).

In letteratura sono disponibili diversi modelli per il calcolo della deformazione e delle corrispondenti sollecitazioni conseguenti a significativi spostamenti permanenti del terreno. I modelli comunemente disponibili considerano la capacità del materiale di deformarsi in campo plastico, senza arrivare alla rottura. All'uopo, si evidenzia la necessità, ove possibile, di garantire un adeguato andamento planimetrico della tubazione in corrispondenza della faglia, in modo da assicurare la presenza di sollecitazioni di trazione (e, in misura minore, di flessione), ed evitare la possibilità che si possano invece avere compressioni nel materiale, in considerazione della molto minore capacità delle condotte di resistere a tale tipo di sollecitazione. In ogni caso, le sollecitazioni di compressione devono essere limitate a valori che garantiscono un adeguato coefficiente di sicurezza nei confronti dell'instabilità al carico di punta.

In mancanza di indicazioni di dettaglio derivanti da studi specifici per il sito, il calcolo della dislocazione media del suolo potrà essere effettuato mediante le relazioni empiriche suggerite da Wells e Coppersmith (1994).

Queste sono:

$$\log \Delta_S = 0.90M - 6.32 \quad \text{nel caso di faglia trascorrente}$$

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 17 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. FTM: 17157-00-RT-E-5121

$\log \Delta_N = 0.63M - 4.45$  nel caso di faglia diretta

$\log \Delta_R = 0.08M - 0.74$  nel caso di faglia inversa

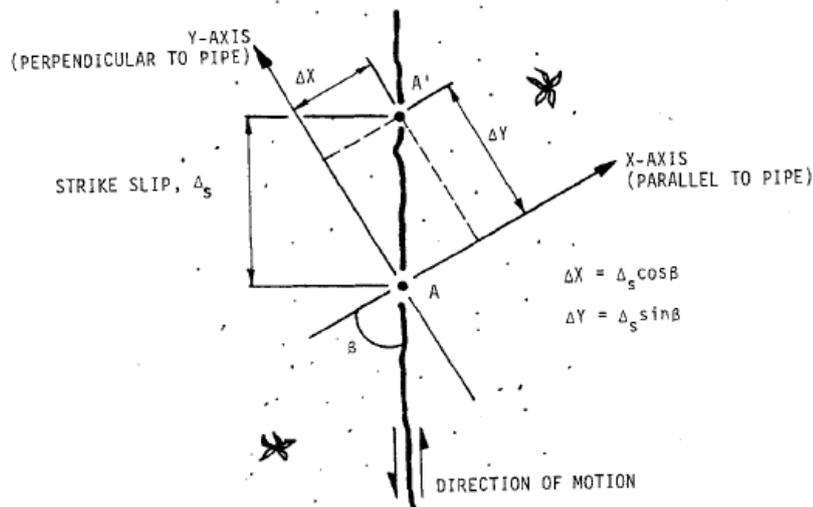
mentre, nel caso in cui non siano note le caratteristiche della faglia, viene consigliato l'impiego della relazione:

$\log \Delta = 0.69M - 4.80$

avendo indicato con  $M$  la magnitudo attesa del sisma e con  $\Delta$  la dislocazione della faglia, espressa in metri.

In seguito alla deformazione permanente del terreno conseguente al movimento della faglia, si avrà una deformazione della tubazione, con una variazione della sua lunghezza legata, oltre che allo spostamento indotto dalla faglia, alla posizione della tubazione rispetto alla linea di scorrimento.

Nel caso di una faglia trascorrente, caratterizzata dal solo spostamento orizzontale delle masse rocciose  $\Delta_S$  (ovvero con piano di scorrimento verticale), la componente verticale dello spostamento relativo della tubazione è nulla, mentre quelle orizzontali  $\Delta X$  e  $\Delta Y$  possono essere calcolate considerando un sistema di riferimento avente origine nel punto di intersezione tra la condotta e la faglia, l'asse delle ascisse coincidente con l'asse della tubazione e l'asse delle ordinate ad esso ortogonale (Fig. 3.5.5).



**Figura 3.5.5 - Spostamento relativo nel caso di faglia trascorrente (ASCE, 1984).**

Pertanto, detto  $\beta$  l'angolo compreso tra l'asse della condotta e la linea di scorrimento, risulta:

$$\Delta X = \Delta_S \cos \beta$$

$$\Delta Y = \Delta_S \sin \beta$$

Ovviamente, lo spostamento relativo in direzione longitudinale produce deformazioni assiali, mentre spostamenti relativi trasversali danno luogo a deformazioni sia assiali che flessionali.

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 18 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

Viceversa, nel caso di faglie dirette, vi saranno in generale tutte le componenti dello spostamento relativo. Detto  $\Delta_N$  lo spostamento della faglia, le componenti  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  saranno date da (Fig. 3.5.6):

$$\Delta X = \Delta_N \cos\psi \sin\beta$$

$$\Delta Y = \Delta_N \cos\psi \cos\beta$$

$$\Delta Z = \Delta_N \sin\psi$$

essendo  $\psi$  l'angolo del piano di scorrimento rispetto all'orizzontale.

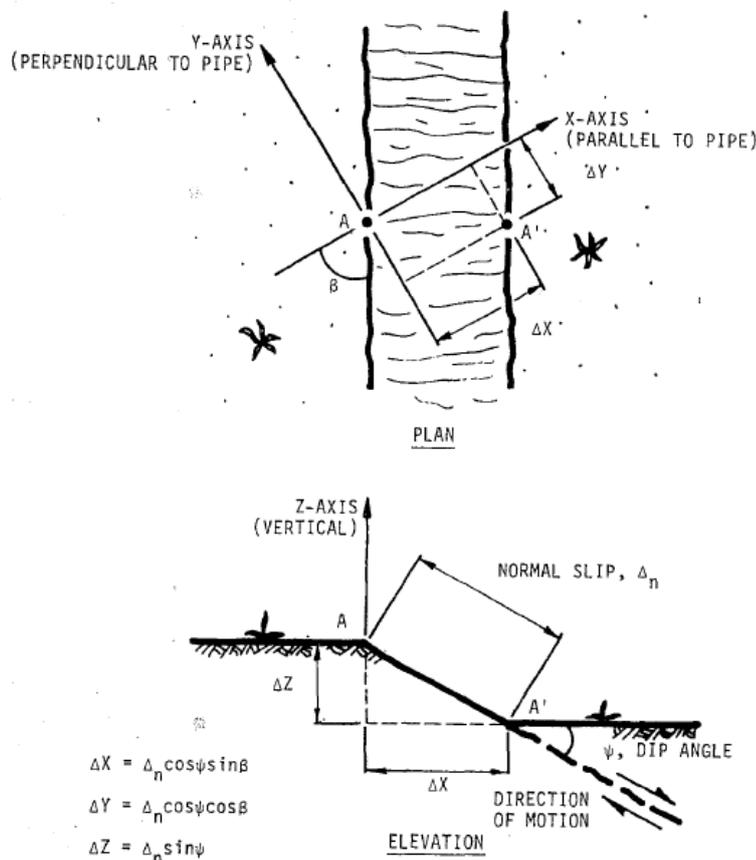


Figura 3.5.6 - Spostamento relativo nel caso di faglia normale (ASCE, 1984).

In generale, nel caso in cui le sollecitazioni risultino elevate, il tubo dovrà reclutare anche le sue capacità plastiche, e l'allungamento viene calcolato considerando separatamente il contributo elastico e quello plastico. Per la verifica infine la deformazione deve essere tale da non causare il completo snervamento del materiale, per cui risultano accettabili valori compresi tra il 2% e il 5%.

Rimandando alle fasi successive di progetto gli studi di microzonazione sismica per l'individuazione delle eventuali zone suscettibili di instabilità, si indicano di seguito le misure progettuali di mitigazione e protezione di valore generale e cautelativo. Per ridurre le tensioni nel tubo è necessario creare le condizioni adatte di scavo e rinterro, dando la minor copertura possibile al tubo e con uno scavo i cui angoli di parete siano ampi, ma soprattutto

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 19 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

con un rinterro in materiale granulare sciolto senza ciottoli o massi, con lo strato più superficiale di copertura (30 cm) in terreno di scavo. Ulteriore misura di controllo delle tensioni è che tale rinterro debba riempire lo scavo della trincea in cui posa il tubo per una distanza considerevole (almeno 50 m su ogni lato della faglia secondo l'EN 1998-4). Uno strato in materiale geotessile può essere utilizzato tra il terreno naturale ed il riempimento per impedire che si possano mischiare le parti fini di terreno naturale con quelle del materiale di riempimento granulare.

Uno spessore maggiorato della parete del tubo aumenta inoltre la capacità tensionale contro gli spostamenti di faglia. Secondo l'EN 1998-4 tale maggiorazione di spessore va prevista per almeno gli stessi 50 m su ogni lato della faglia di cui sopra.

La lunghezza entro cui gli effetti dello spostamento di faglia sono percepiti dal tubo in realtà dipende inoltre da eventuali sistemi di ancoraggio presenti nel tracciato della tubazione (come ad esempio tie-in, curve, gomiti, cambi di suolo di copertura, ecc.) in assenza dei quali, la lunghezza di ancoraggio effettiva (secondo il PRCI 2004) vale:

$$L_{ancoraggio} = \frac{\sigma_a \pi D t}{t_u}$$

con “ $D$ ” il diametro esterno del tubo, “ $t$ ” il suo spessore di parete, “ $\sigma_a$ ” la tensione sul tubo per effetto dello spostamento di faglia e “ $t_u$ ” la resistenza ultima di attrito.

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 20 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. FTM: 17157-00-RT-E-5121

## 4 RISULTATI DEL CALCOLO

### 4.1 Dati in ingresso

Vita Nominale  $V_N \geq 100$  anni

Classe d'Uso IV

Coefficiente d'Uso  $C_U = 2$

Periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U = 200$  anni

Stato Limite SLV  $\rightarrow P_{VR} = 10\% \rightarrow T_R = 1898$  anni

Latitudine (WGS84):  $46.079669^\circ$

Longitudine (WGS84):  $13.390246^\circ$

$a_g =$	0.401	$g =$	3.936	$m/s^2$
$g =$	9.816		$m/s^2$	
$T_C^* =$	0.364		s	
$F_O =$	2.408		-	
sottosuolo =	E		-	
topografia =	T1		-	
$D_e =$	273.10		mm	
$t =$	7.80		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		$^\circ C$	
$P =$	64	bar =	6.4	$N/mm^2$
$t_c =$	7.80		mm	
$k_W =$	10		$N/mm^2$	
$\varphi =$	25	deg =	0.436332313	rad
rivestimento =	polyethylene		-	
$H =$	1.5		m	
$r_0 =$	762		mm	
$\gamma_t =$	17.5		$kN/m^3$	

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 21 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

## 4.2 Verifica Tratto rettilineo

### CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2008

$S_T =$	1.00	-
$S_S =$	1	-
$C_C =$	1.723369662	-
$S =$	1	-
$T_C =$	0.626869205	s
$a_{max} =$	3.94	m/s <sup>2</sup>
$v_g =$	0.395	m/s

### CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon_{SISMA} = v_g/C = 0.395/2000 = 0.00019737 \quad -$$

### CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{SISMA} = 41.45 \quad \text{N/mm}^2$$

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

$\sigma_{\Delta T} =$	113.40	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H =$	112.04	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{LO} =$	97.47	N/mm <sup>2</sup> "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{LT} =$	121.24	N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma_{COMB} =$	116.91	N/mm <sup>2</sup> "RESTRAINED PIPELINE"

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

$F_{LO} =$	0.27	< 0.75	<b>VERIFICATO</b>
$F_{LT} =$	0.34	< 0.90	<b>VERIFICATO</b>
$F_{COMBO} =$	0.32	< 1.00	<b>VERIFICATO</b>
$\varepsilon / \varepsilon_{cr} =$	0.05	< 1.00	<b>VERIFICATO</b>

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 22 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. FTM: 17157-00-RT-E-5121

### 4.3 Verifica Tratto in curva

#### CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO ASCE 1984

$$\delta = 0.6 \times \varphi = 15 \quad \text{deg} = 0.261799388 \text{ rad}$$

$$K_0 = 1 - \sin\varphi = 0.577381738 -$$

$$H_t = 1636.55 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{MAX} = 0.0001974 -$$

$$I = 4003020000 \text{ mm}^4$$

$$A_p = 144500 \text{ mm}^2$$

$$\lambda = 0.000233525 \text{ mm}^{-1}$$

$$W_p = 0.566 \text{ kN/m}$$

$$t_u = 5.344418222 \text{ kN/m} = \text{N/mm}$$

$$K^* = 0.197811518 -$$

$$L' = 62629.57129 \text{ mm}$$

$$K_1 = 1.881433874 -$$

$$\Delta = 10.69767174 \text{ mm}$$

$$S = 310095.2337 \text{ N}$$

$$M = 347061378.6 \text{ N*mm}$$

#### CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$$\sigma^S_{SISMA} = 2.145987776 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^M_{SISMA} = 22.27405004 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{Curva}_{SISMA} = 24.42003782 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_H = 112.04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 80.44 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 104.21 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

#### VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LA B31.8

$$F_{LO} = 0.22 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.29 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/17157</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	<b>SPC. 00-RT-E-5121</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> <b>Met. MESTRE-TRIESTE tratto Gonars-Trieste</b> <b>Interventi per il declassamento a 24 bar ed opere</b> <b>connesse</b>	Pagina 23 di 23	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. TFM: 17157-00-RT-E-5121

## 5 CONCLUSIONI

Le verifiche eseguite consentono di garantire la conformità della progettazione del gasdotto ai criteri delle linee guida sismiche per condotte interrate (Rif. [3], [4] e [5]) ed alle NTC 2008.

Secondo il database ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) che contiene la raccolta di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, il tracciato in progetto attraversa faglie capaci almeno in tre differenti località, ovvero in comune di Villesse nei pressi del Fiume Torre (attraversamento di fiume in TOC), in comune di Udine nei pressi della Località Produttiva (sul metanodotto Rifacimento Derivazione Manzano-Buttrio, DN 250 (10")) ed in comune di Premariacco (sul metanodotto Rifacimento Derivazione per Cividale, DN 250 (10")). Si ritiene utile segnalare che per quanto aggiornate e accurate possano essere le localizzazioni delle faglie capaci del database ITHACA saranno necessarie nelle fasi successive di progetto studi approfonditi con microzonazione (fino al terzo livello).

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

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