

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 1 di 32	Rev. 1

Metanodotti:

PIEVE DI SOLIGO – SAN POLO DI PIAVE - SALGAREDA

**Variante Vazzola Salgareda DN 300 (12") DP 75 bar - L = 17+ 193 km
(C.T. 20156)**

**Variante da A.I. n.915 San Polo a S.S. n.13 Pontebbana in Com. di
Conegliano DN 300 (12") DP 75 bar - L= 10+223 km (C.T. VAR. 9110680)**

**Variante da S.P. n.38 Com. di Susegana a PIDI stoccaggio Edison
(escluso) DN 300 (12") DP 75 bar- L= 2+842 km km (C.T. VAR. 9110690)**

**Variante da Impianto PIDI stoccaggio Edison (incluso) a PIDI
6250032/1.1 in Com. di Pieve di Soligo DN 300 (12") DP 75 bar –
L= 4+031 km (C.T. VAR. 9110696)**

E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

1	Emissione per Appalto	Righi M.	Polloni	Luminari	30/11/2018
0	Emissione	Righi M.	Polloni	Luminari	30/11/2017
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 2 di 32	Rev. 1

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Scopo del documento	3
1.2	Normativa di riferimento	4
1.3	Documenti di riferimento	4
2	DATI DI CALCOLO	5
2.1	Parametri geotecnici.....	5
2.2	Azione sismica di riferimento	5
2.3	Condizioni di progetto	9
2.4	Parametri geometrici - meccanici.....	9
3	VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	11
3.1	Criterio di verifica	14
3.2	Metodologia di calcolo tratto rettilineo	15
3.2.1	Massima deformazione indotta dalle onde sismiche	15
3.2.2	Applicazione del criterio di verifica	18
3.3	Metodologia di calcolo per la curva	20
3.3.1	Applicazione del criterio di verifica	21
4	SINTESI DEI RISULTATI	23
5	APPENDICE 1	24
5.1	DN 300 (12") DP 75 bar	24
5.2	DN 200 (8") DP 75 bar	27
5.3	DN 100 (4") DP 75 bar	30

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 3 di 32	Rev. 1

1 INTRODUZIONE

1.1 Scopo del documento

La presente relazione, redatta su incarico di Snam Rete Gas S.p.A., è relativa allo studio di pericolosità allo scuotimento sismico della tubazione del metanodotto Snam Rete Gas "Rifacimento Metanodotto Pieve di Soligo - San Polo di Piave - Salgareda", DN 300 (12"), DP 75 bar, suddiviso in:

- 1° Tratto da Area Impianto n. 915 di S. Polo di Piave a Salgareda
- 2° Tratto da Area Impianto n. 915 di S. Polo di Piave a Pieve di Soligo.

Il tracciato del metanodotto attraversa aree ad elevata sismicità, con importanti strutture sismogenetiche, come riferito nella specifica relazione di pericolosità sismica (v. Rel. COMIS NR/16091 LSC-201).

Oltre alla pericolosità per la condotta derivante da eventuali fenomeni sismoindotti (instabilità di versante, liquefazione, cedimenti, spostamenti di faglie capaci), come esaminato nella suddetta relazione, si rende necessario verificare la resistenza della tubazione alle azioni esercitate dallo scuotimento del terreno in cui la condotta è posata, in caso di evento sismico.

Nella presente relazione si espongono pertanto le verifiche effettuate tramite il confronto tra le sollecitazioni indotte sulla condotta dallo scuotimento sismico, calcolate in accordo con le "Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe" (Rif.[4]), e con le "Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines" (Rif.[5]) e le tensioni ammissibili calcolate sulla base della normativa internazionale di riferimento (Rif.[1]), separatamente per il caso di metanodotto rettilineo e in curva.

Tali verifiche sono state condotte utilizzando come input sismico di progetto i valori di massima accelerazione attesa al suolo per $T_r = 949$ anni, competente alla verifica agli stati limite SLV, in accordo con le NTC 2018 (Rif. [9]).

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 4 di 32	Rev. 1

1.2 Normativa di riferimento

- [1] ASME B31.8 – 2010 Gas Transmission and Distribution Piping Systems
- [2] NTC 2008 D.M. Infrastrutture 14/01/2008 (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
- [9] NTC 2018 D.M. Infrastrutture e trasporti 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

1.3 Documenti di riferimento

COMIS NR/16091 LSC-200: Relazione Geologica

COMIS NR/16091 LSC-201: Relazione di Pericolosità Sismica

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 5 di 32	Rev. 1

2 DATI DI CALCOLO

2.1 Parametri geotecnici

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva, si sono utilizzati i seguenti valori geotecnici:

Categoria di sottosuolo	B-C
Angolo di attrito	30°
Peso specifico	19 KN/m ³
Modulo di reazione laterale	10 N/mm ²

La definizione della categoria di sottosuolo lungo il tracciato è stata effettuata tramite numerose prove geofisiche che hanno evidenziato la presenza di suoli categoria B e C. In merito ai valori dei parametri geotecnici, essendo presenti lungo il tracciato prevalentemente terreni di origine alluvionale, buona parte granulari e in parte anche coesivi, si sono scelti valori che si ritiene possano rappresentare una situazione media.

2.2 Azione sismica di riferimento

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni". In analogia con il programma fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, la definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in tre fasi:

- Fase 1: Individuazione della pericolosità del sito
- Fase 2: Scelta delle strategie di progettazione
- Fase 3: Determinazione dell'azione di progetto

Si ripercorrono, dunque, le tre fasi per determinare innanzi tutto i parametri spettrali di riferimento a_g , F_0 e T_C^* e poi le forme spettrali per la struttura in esame.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 6 di 32	Rev. 1

FASE 1

Individuazione della pericolosità del sito.

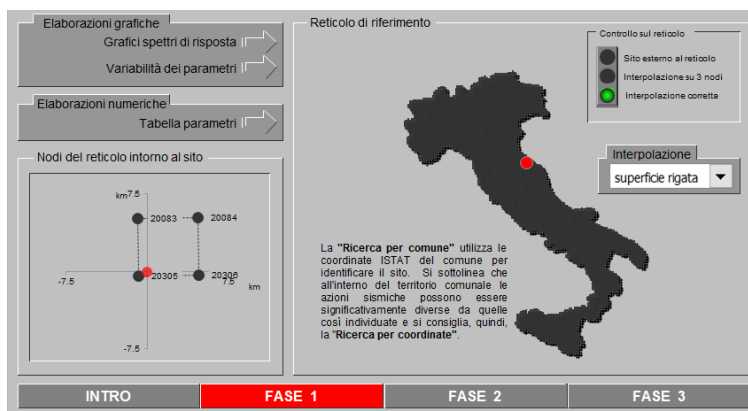


Figura 2-1: Spettri di risposta ver. 1.03

FASE 2

In riferimento al D.M. 14/01/2008 l'opera viene analizzata con le seguenti caratteristiche:

Classe d'uso	IV	-
Vita nominale V_N	50	anni
Coefficiente d'uso C_U	2	-
Periodo di riferimento V_R	100	anni

Noto il periodo di riferimento V_R si determinano i periodi di ritorno T_R in base alla probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{VR} associata ad ogni stato limite:

Stati limite		P_{VR} : Probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	TR = 60
Stato limite di esercizio: danno	SLD	TR = 101
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	TR = 949
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	TR = 1950

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 7 di 32	Rev. 1

FASE 3

Determinazione dell'azione di progetto corrispondente allo stato limite considerato, in questo caso lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Il valore utilizzato per il calcolo e la verifica delle tubazioni che si deformano analogamente al terreno, corrisponde al parametro sismico PGA (Peak Ground Acceleration), ossia il valore di accelerazione massima del suolo misurata nel corso di un terremoto o attesa in un determinato sito. Tale valore è una grandezza di significato analogo ad a_g , ma che tiene conto dell'influenza degli eventuali effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alle caratteristiche del sottosuolo o alla topografia.

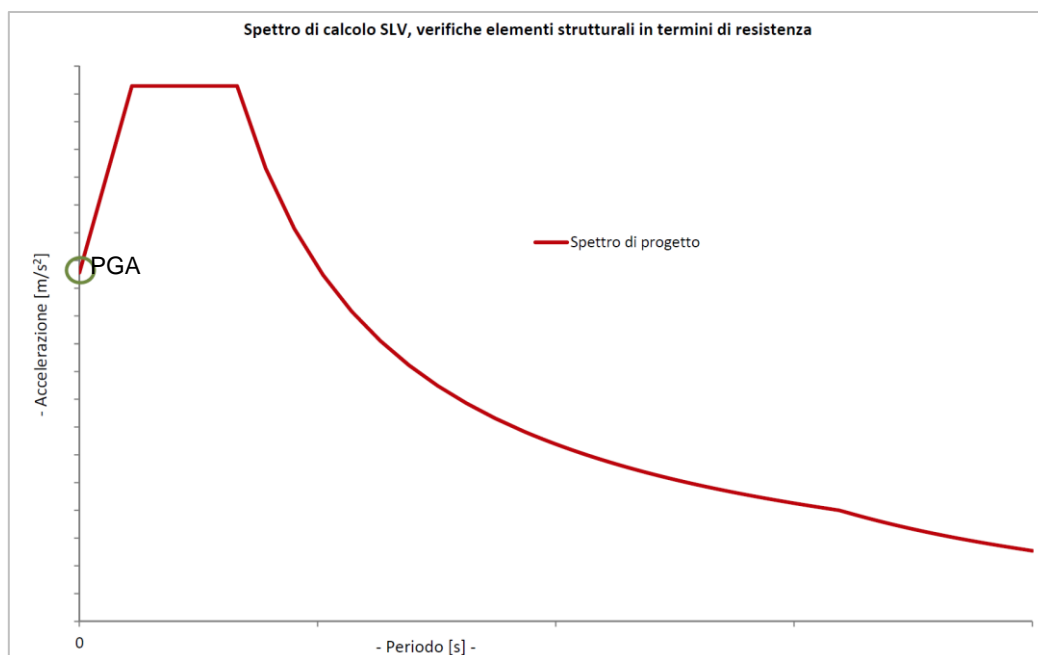


Figura 2-2: Spettro elastico per lo SLV

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 8 di 32	Rev. 1

Di seguito vengono elencati i vari tratti del metanodotto in oggetto e i rispettivi allacciamenti. Per ogni tratto viene mostrato il diametro nominale, la pressione di progetto, il comune in cui insiste la condotta e la relativa accelerazione di picco determinata in funzione delle caratteristiche del terreno.

Tracciato	Tubazione	DN	bar	Comuni interessati	a _g	Categoria di sottosuolo	PGA	PGA massima
1° Tratto	da Area Impianto N.915 di S.Polo di Piave a Salgareda	300	75	Vazzola	0,258	B	0,2954	0,2954
				San Polo di Piave	0,222	B	0,2613	
				Ormelle	0,206	B	0,2453	
				Ponte di Piave	0,164	C	0,2376	
				Salgareda	0,146	C	0,2200	
2° Tratto	da Area Impianto N. 915 di S.Polo di Piave a Pieve di Soligo	300	75	Vazzola	0,258	B	0,2954	0,3563
				Mareno di Piave	0,271	B	0,3100	
				Santa Lucia di Piave	0,285	B	0,3201	
				Conegliano	0,304	B	0,3362	
				Susegana	0,299	B	0,3322	
				Refrontolo	0,329	B	0,3563	
				San Pietro di Feletto	0,328	B	0,3555	
Pieve di Soligo	0,323	B	0,3517					
Allacciamenti 1° tratto	Allacciamento Comune di Cimadolmo	100	75	San Polo di Piave	0,222	B	0,2613	0,2613
	Ricoll.to All. AVIR San Polo di Piave			San Polo di Piave	0,222	B	0,2613	
	Ricoll.to Der. per Ormelle			San Polo di Piave	0,222	B	0,2613	
	Allacciamento Yousave di Ormelle (tratto iniziale)			Ormelle	0,206	B	0,2453	
	Ricoll.to Allacc.to Com. di Ponte di Piave			Ponte di Piave	0,164	C	0,2376	
Allacciamenti 2° tratto	Ricoll.to Allacc.to Autotrazione Pol Vazzola	100	75	Vazzola	0,258	B	0,2954	0,3555
	Allacciamento Comune di Mareno di Piave			Mareno di Piave	0,271	B	0,3100	
	Ricoll.to Derivazione per Ponte della Priula			Santa Lucia di Piave	0,285	B	0,3201	
	Allacciamento Comune di Santa Lucia di Piave			Santa Lucia di Piave	0,285	B	0,3201	
	Allacciamento Filanda GERA			Santa Lucia di Piave	0,285	B	0,3201	
	Ricoll.to Allacc.to ZANUSSI di Susegana			Conegliano	0,304	B	0,3362	
	Allacciamento METANTREVISO			Susegana	0,299	B	0,3322	
	Allacciamento STAR			San Pietro di Feletto	0,328	B	0,3555	
	Allacciamento EDISON GAS			San Pietro di Feletto	0,328	B	0,3555	

Poiché tutti i metanodotti, a parità di diametro, hanno la stessa pressione di progetto (75 bar), il calcolo viene effettuato per i tre diametri utilizzati DN300, DN200 e DN100 considerando la PGA massima dei comuni attraversati.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 9 di 32	Rev. 1

Verifiche			
Diametro nominale [mm]	Pressione di progetto [bar]	Comune	PGA [g]
DN 300	75	Refrontolo	0,356
DN 200	75	San Pietro di Feletto	0,356
DN 100	75	San Pietro di Feletto	0,356

2.3 Condizioni di progetto

Di seguito si riportano la pressione e la differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio utilizzate per la verifica in concomitanza allo scuotimento sismico della condotta in oggetto:

ΔT	45°C
ΔP	75 bar

2.4 Parametri geometrici - meccanici

Di seguito si riportano i dati relativi alle condotte utilizzate per il metanodotto in oggetto.

DN	300 (12")
Materiale	EN L360 NB/MB
Spessore in linea	9,5 mm
Spessore in curva	9,5 mm
Raggio di curvatura (3DN)	914 mm

DN	200 (8")
Materiale	EN L360 NB/MB
Spessore in linea	7,0 mm
Spessore in curva	7,0 mm
Raggio di curvatura (3DN)	610 mm

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 10 di 32	Rev. 1

DN	100 (4")
Materiale	EN L360 NB/MB
Spessore in linea	5,2 mm
Spessore in curva	5,2 mm
Raggio di curvatura (3DN)	305 mm

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 11 di 32	Rev. 1

3 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

Il presente capitolo comprende 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.

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 primarie);
- onde di volume di taglio (onde S o secondarie);
- onde superficiali R (onde di Rayleigh).
- onde superficiali L (onde di Love).

Nei tratti di tubazione rettilinea le onde primarie P (onde di compressione) sono le onde di volume più veloci e determinano le massime sollecitazioni assiali di contrazione e dilatazione durante la prima parte del moto. Le onde secondarie S (onde di taglio) sono responsabili delle massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto; di fatto imprimono alla roccia e al terreno circostante deformazioni trasversali alla direzione normale in cui viaggia e hanno un potenziale di danneggiamento maggiore rispetto alle onde P. I fenomeni descritti non avvengono tuttavia contemporaneamente.

Le onde superficiali R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda, lungo un'ellisse giacente nel piano perpendicolare alla superficie di discontinuità e contenente la direzione di propagazione. La loro energia decade esponenzialmente con la profondità.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 12 di 32	Rev. 1

Le onde L hanno le medesime caratteristiche del moto dell'onda S che non possiede alcuna componente verticale e generano moti del suolo sul piano orizzontale parallelo alla superficie terrestre e ortogonali alla direzione di propagazione dell'onda. Anche l'energia di tali onde decade esponenzialmente con la profondità.

Dal momento che i metanodotti sono, generalmente, posti a limitata profondità dal piano campagna (1÷3 m), sono da ritenersi interessanti sia le onde di volume che quelle di superficie. Tra le onde di volume, le onde di tipo S portano più energia e generano maggiori spostamenti di terreno rispetto alle onde P. Per le onde di superficie invece si considerano solo le onde R, in quanto inducono tensioni longitudinali significativamente maggiori rispetto alle tensioni flessionali indotte dalle onde L.

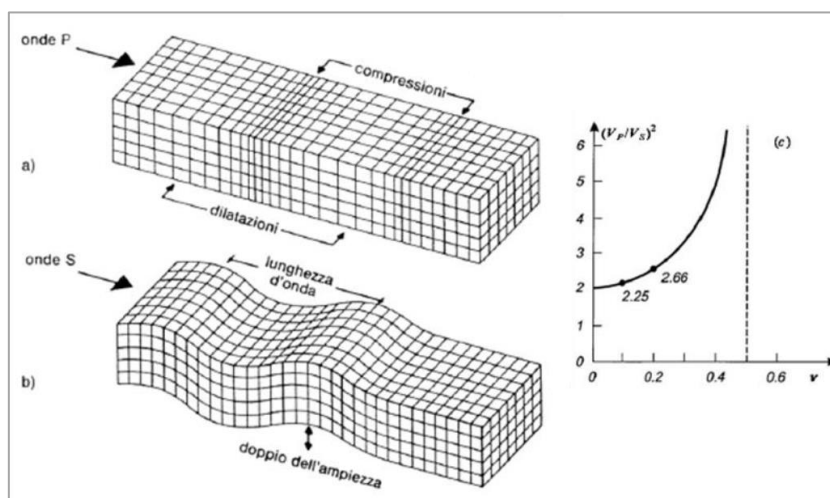


Figura 3-1: Rappresentazione grafica delle deformazioni generate dal passaggio dei diversi tipi di onde elastiche propagantisi nella stessa direzione: (a) onda longitudinale; (b) onda trasversale. (c) Dipendenza del rapporto fra velocità di propagazione dal coefficiente di Poisson (Faccioli, 2005)

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 13 di 32	Rev. 1

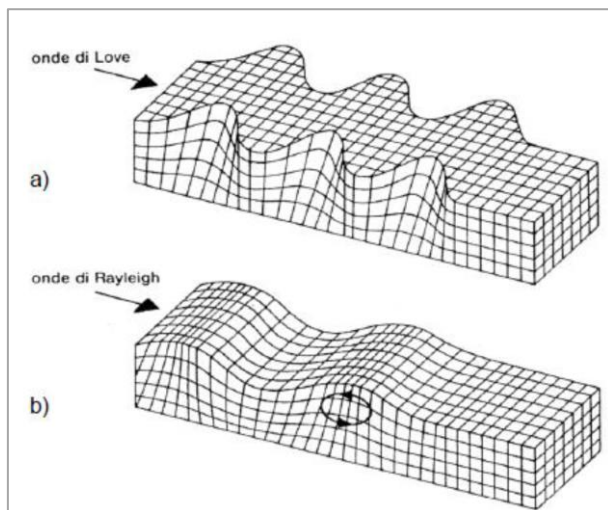


Figura 3-2: Rappresentazione grafica delle deformazioni generate dal passaggio dei diversi tipi di onde elastiche propagantisi nella stessa direzione: (a) onda di superficie tipo Love; (b) onda di superficie tipo Rayleigh

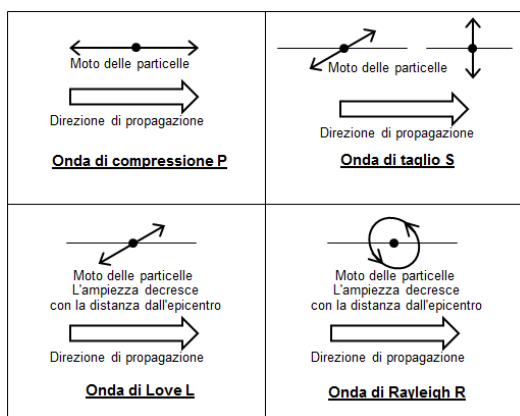


Figura 3-3: Moto delle particelle di terreno per i vari tipi di onde sismiche

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrate, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le indicazioni della Normativa sismica Americana Rif. [4] e Rif. [3].

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 14 di 32	Rev. 1

Seguendo le indicazioni delle ultime normative ALA ASCE FEMA 2005 "Guidelines for the Design of Buried Steel pipe [4], si assume una velocità di propagazione dell'onda sismica "C, pari a 2000 m/s.

3.1 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap.3.2) e tratto in curva (cap.3.3). 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]):

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

Secondo la teoria di Fourier, l'onda sismica in movimento può essere scomposta in una sommatoria di onde sinusoidali semplici e considerare la condotta investita dalle seguenti onde:

- onde primarie di volume P
- onde secondarie di volume S
- onde superficiali R

Gli effetti sulla condotta provocati dalle onde sismiche sono variabili in funzione dell'angolo di incidenza tra la direzione della propagazione sismica e l'asse della tubazione. Pertanto a favore di sicurezza, vengono considerati gli angoli che comportano la massimizzazione delle deformazioni.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 15 di 32	Rev. 1

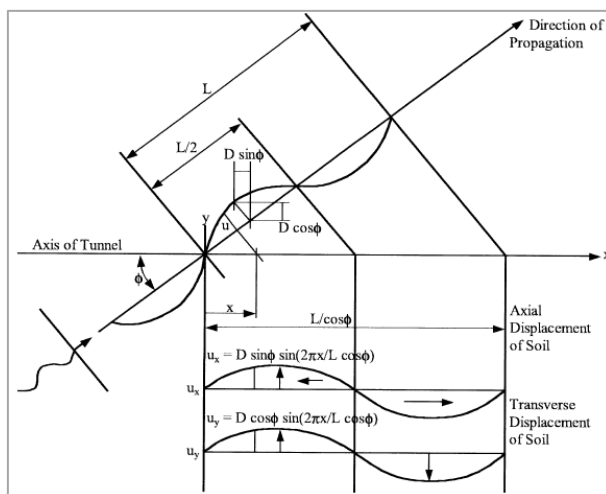


Figura 3-4: Geometria di un'onda S sinusoidale obliqua all'asse della condotta

3.2 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

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

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

3.2.1 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;

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 16 di 32	Rev. 1

- α_ε coefficiente di deformazione, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

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

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

dove:

- a massima accelerazione del terreno;
- c velocità di propagazione dell'onda;
- α_k coefficiente di curvatura, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

Nel caso delle onde S, la direzione di propagazione è ortogonale al moto delle particelle solide come mostrato in figura 3-5.

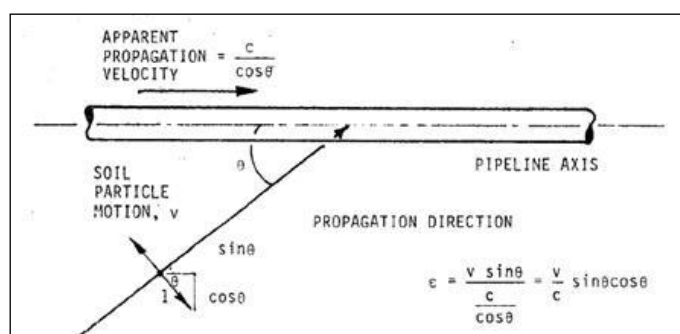


Figura 3-5. Effetto longitudinale delle onde di taglio sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

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

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

Le onde P invece inducono nel suolo movimenti nella medesima direzione di quella di propagazione come mostrato in figura 3-6.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 17 di 32	Rev. 1

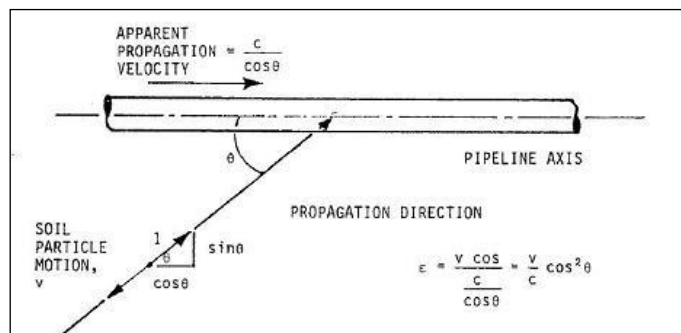


Figura 3-6 Effetto longitudinale delle onde di compressione sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

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

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

Le onde di superficie hanno generalmente una componente sia perpendicolare che parallela alla direzione di propagazione dell'onda; si considera il caso conservativo nella direzione corrispondente all'asse della tubazione.

Analogamente alle onde P, per le onde superficiali di Rayleigh (onde R) si considera un angolo θ pari a 0° .

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

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 18 di 32	Rev. 1

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

Figura 3-7 Massima deformazione sismica (Ground strain coefficients)

3.2.2 Applicazione del criterio di verifica

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

$$\sigma_{\varepsilon,sisma} = (\sigma_{\varepsilon,sisma}^S + \sigma_{\varepsilon,sisma}^P + \sigma_{\varepsilon,sisma}^R)^{1/2}$$

$$\sigma_{k,sisma} = (\sigma_{k,sisma}^S + \sigma_{k,sisma}^P + \sigma_{k,sisma}^R)^{1/2}$$

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

$$\sigma_{sisma} = \sigma_{\varepsilon,sisma} + \sigma_{k,sisma}$$

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

- "Unrestrained pipe"
- "Restrained pipe"

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 19 di 32	Rev. 1

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:

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

Restrained Pipeline

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

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

con:

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

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

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

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

con:

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 20 di 32	Rev. 1

3.3 Metodologia di calcolo per la 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:

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3k_w} \left(\sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{\max} k_w}{2t_u \lambda}} - 1 \right)$$

$$t_u = \frac{\pi D}{2} \gamma_t H (1 + k_0) \text{tg} \delta + W_p \text{tg} \delta$$

dove:

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

con:

- ε_{\max} massima deformazione del terreno
- k_w modulo di reazione laterale
- I momento d'inerzia della sezione
- K_0 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:

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 21 di 32	Rev. 1

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:

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

3.3.1 Applicazione del criterio di verifica

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

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

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

- “unrestrained pipeline”
- “restrained pipeline”

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 22 di 32	Rev. 1

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:

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

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

In riferimento alla norma ASME B31.8, paragrafo 833.4 punto (f), sul tratto in curva non si esegue il controllo sulla combinazione delle tensioni poiché tale verifica è prescritta esclusivamente per porzioni rettilinee di tubazione.

Restrained Pipeline

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

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

con:

$$\sigma_{LT} = \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{Curva_{SISMA}}$$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

e

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 23 di 32	Rev. 1

4 SINTESI DEI RISULTATI

Di seguito si riassumono i risultati delle verifiche sulle tubazioni in progetto, secondo i criteri precedentemente specificati. Per maggiori informazioni fare riferimento all'Appendice 1 allegata a questo documento.

METANODOTTO	Tratto rettilineo		Tratto curvilineo	
DN 300 (12")	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,35 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,21 < 0,75 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,28 < 0,90 Verificato		$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,41 < 1,00 Verificato		
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,09 < 1,00 Verificato		
DN 200 (8")	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,27 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,20 < 0,7 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,32 < 0,90 Verificato		$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,32 < 1,00 Verificato		
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,05 < 1,00 Verificato		
DN 100 (4")	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,23 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,16 < 0,7 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,35 < 0,90 Verificato		$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,31 < 1,00 Verificato		
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,03 < 1,00 Verificato		

Come è possibile osservare dai risultati della tabella, tutti i valori delle verifiche risultano ampiamente sotto i limiti di resistenza dell'acciaio utilizzato con un fattore di sicurezza ben maggiore di quanto prescritto dalla norma ASME B31.8.

Le verifiche evidenziano inoltre l'idoneità degli spessori delle tubazioni nel farsi carico delle sollecitazioni trasmesse dall'oscillazione del terreno durante l'evento sismico.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 24 di 32	Rev. 1

5 APPENDICE 1

5.1 DN 300 (12") DP 75 bar

DATI DI INGRESSO			
Input sismici			
Vita nominale	VN	50	anni
Classe d'uso	-	IV	
Coefficiente d'uso	C _U	2	-
Periodo di riferimento	V _R	100	anni
Stato limite	-	SLV	
Probabilità di superamento	P _{VR}	10%	
Periodo di ritorno	T _R	949	anni
Latitudine	(WGS84)	45,925	°
Longitudine	(WGS84)	12,210	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,329	g = 3,229 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,344	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,406	-
Categoria sottosuolo	-	B	-
Categoria topografica	-	T1	-
Input geometrici - meccanici - sollecitazioni			
Diametro nominale	D _N	300	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	> Tipo 1
Diametro esterno tubazione	D _e	324	mm
Spessore tubazione	t	7,10	mm
Diametro interno tubazione	D _i	309,7	mm
Accorciamento critico	ε _{CR} =0,35-t/(D-t)	0,0078	- (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E	205000	N/mm ²
Modulo di Poisson	ν	0,3	-
Tensione di snervamento	σ _y	360,00	N/mm ²
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α	0,000012	1/°C
Peso specifico acciaio	γ _p	78,5	KN/m ³
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C	2000	m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT	45	°C
Pressione di esercizio	P	75	bar = 7,5 N/mm ²
Modulo di reazione laterale	K _w	10	N/mm ²
Angolo di attrito	φ	30	° = 0,524 radianti
Rivestimento	-	Polietilene	-
Profondità di posa	H	1,5	m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ _t	19	KN/m ³ = 1,9E-05 N/mm ³

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 25 di 32	Rev. 1

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,083	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,083	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,468	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	3,497	m/s ² (7.2.5 NTC 18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,262	m/s (3.2.3.3 NTC 18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00006552	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00013104	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00013104	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000087	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000034	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000087	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	13,43	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	26,86	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	26,86	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S)^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P + \sigma_{\epsilon, sisma}^R)^{1/2}$	40,30	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,03	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,011	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,03	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S)^2 + \sigma_{k, sisma}^P + \sigma_{k, sisma}^R)^{1/2}$	0,04	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	40,34	N/mm ²
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ² (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla presione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	171,07	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	125,87	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -V \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	99,72	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	148,83	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000726	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,35	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,28	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamento	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,41	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,09	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 26 di 32	Rev. 1

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta=0,6\phi$	18	$^{\circ} = 0,31 \text{ rad}$
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0=1-\sin\phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max}=W/C$	0,00013104	
Momento di inerzia	$I=\pi(D_{c,e}^4-D_{c,i}^4)/64$	115986440	mm^4
Diametro interno	$D_{c,i}$	305	mm
Spessore tubazione	t_c	9,5	mm
Diametro esterno	$D_{c,e}$	323,9	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	9379	mm^2
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00056944	mm^{-1}
Peso lineare del tubo	W_p	0,55	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	7,24	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	r_03	914	mm
Raggio della tubazione	R	161,95	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,20461	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,827	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	31402,44	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	2,06	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	20,37	KN
Momento flettente della curva	M	3980,12	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	2,17	N/mm^2
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	10,15	N/mm^2
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	12,32	N/mm^2
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T}=\alpha\cdot\Delta T\cdot E$	110,70	N/mm^2
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H=P\cdot D/2t$	127,86	N/mm^2
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5\cdot\sigma_H+\sigma_{e,sisma}$	76,25	N/mm^2
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v\sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	84,67	N/mm^2
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,21	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,24	< 0,90 Verificato

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 27 di 32	Rev. 1

5.2 DN 200 (8") DP 75 bar

DATI DI INGRESSO			
Input sismici			
Vita nominale	VN	50	anni
Classe d'uso	-	IV	
Coefficiente d'uso	C _U	2	-
Periodo di riferimento	V _R	100	anni
Stato limite	-	SLV	
Probabilità di superamento	P _{VR}	10%	
Periodo di ritorno	T _R	949	anni
Latitudine	(WGS84)	45,933	°
Longitudine	(WGS84)	12,250	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,328	·g = 3,220 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,344	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,404	-
Categoria sottosuolo	-	B	-
Categoria topografica	-	T1	-
Input geometrici - meccanici - sollecitazioni			
Diametro nominale	D _N	200	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	Tipo 1
Diametro esterno tubazione	D _e	219	mm
Spessore tubazione	t	7,00	mm
Diametro interno tubazione	D _i	205,1	mm
Accorciamento critico	ε _{CR} =0,35·t/(D-t)	0,0116	- (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E	205000	N/mm ²
Modulo di Poisson	ν	0,3	-
Tensione di snervamento	σ _y	360,00	N/mm ²
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α	0,000012	1/°C
Peso specifico acciaio	γ _p	78,5	KN/m ³
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C	2000	m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT	45	°C
Pressione di esercizio	P	75	bar = 7,5 N/mm ²
Modulo di reazione laterale	K _w	10	N/mm ²
Angolo di attrito	φ	30	° = 0,524 radianti
Rivestimento	-	Polietilene	-
Profondità di posa	H	1,5	m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ _t	19	KN/m ³ = 1,9E-05 N/mm ³

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 28 di 32	Rev. 1

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,084	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,084	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,469	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	3,492	m/s ² (7.2.5 NTC 18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,262	m/s (3.2.3.3 NTC 18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00006546	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00013092	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00013092	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000087	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000034	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000087	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	13,42	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	26,84	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	26,84	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S)^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P + \sigma_{\epsilon, sisma}^R)^{1/2}$	40,26	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,02	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,008	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,02	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S)^2 + \sigma_{k, sisma}^P + \sigma_{k, sisma}^R)^{1/2}$	0,03	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	40,29	N/mm ²
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ² (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla presione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	117,38	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	98,97	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -V \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	115,77	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	116,58	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000569	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,27	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,32	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamento	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,32	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,05	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 29 di 32	Rev. 1

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta=0,6\phi$	18	$^{\circ} = 0,31 \text{ rad}$
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0=1-\sin\phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max}=W/C$	0,00013092	
Momento di inerzia	$I=\pi(D_{c,e}^4-D_{c,i}^4)/64$	26244149	mm^4
Diametro interno	$D_{c,i}$	205	mm
Spessore tubazione	t_c	7	mm
Diametro esterno	$D_{c,e}$	219,1	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	4662	mm^2
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00082564	mm^{-1}
Peso lineare del tubo	W_p	0,37	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	4,90	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	r_03	610	mm
Raggio della tubazione	R	109,55	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,21869	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,724	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	23030,94	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	1,51	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	10,38	KN
Momento flettente della curva	M	1527,89	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	2,23	N/mm^2
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	11,00	N/mm^2
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	13,23	N/mm^2
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T}=\alpha\cdot\Delta T\cdot E$	110,70	N/mm^2
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H=P\cdot D/2t$	117,38	N/mm^2
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5\cdot\sigma_H+\sigma_{\epsilon,sisma}$	71,91	N/mm^2
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v\sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	88,71	N/mm^2
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,20	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,25	< 0,90 Verificato

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 30 di 32	Rev. 1

5.3 DN 100 (4") DP 75 bar

DATI DI INGRESSO			
Input sismici			
Vita nominale	VN	50	anni
Classe d'uso	-	IV	
Coefficiente d'uso	C _U	2	-
Periodo di riferimento	V _R	100	anni
Stato limite	-	SLV	
Probabilità di superamento	P _{VR}	10%	
Periodo di ritorno	T _R	949	anni
Latitudine	(WGS84)	45,933	°
Longitudine	(WGS84)	12,250	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,328	g = 3,220 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,344	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,404	-
Categoria sottosuolo	-	B	-
Categoria topografica	-	T1	-
Input geometrici - meccanici - sollecitazioni			
Diametro nominale	D _N	100	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	Tipo 1
Diametro esterno tubazione	D _e	114	mm
Spessore tubazione	t	5,20	mm
Diametro interno tubazione	D _i	103,9	mm
Accorciamento critico	ε _{CR} =0,35·t/(D-t)	0,0167	- (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E	205000	N/mm ²
Modulo di Poisson	ν	0,3	-
Tensione di snervamento	σ _y	360,00	N/mm ²
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α	0,000012	1/°C
Peso specifico acciaio	γ _p	78,5	KN/m ³
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C	2000	m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT	45	°C
Pressione di esercizio	P	75	bar = 7,5 N/mm ²
Modulo di reazione laterale	K _W	10	N/mm ²
Angolo di attrito	φ	30	° = 0,524 radianti
Rivestimento	-	Polietilene	-
Profondità di posa	H	1,5	m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ _t	19	KN/m ³ = 1,9E-05 N/mm ³

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 31 di 32	Rev. 1

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,084	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,084	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,469	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	3,492	m/s ² (7.2.5 NTC 18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,262	m/s (3.2.3.3 NTC 18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00006546	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00013092	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00013092	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000087	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000034	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000087	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	13,42	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	26,84	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	26,84	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S)^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P + \sigma_{\epsilon, sisma}^R)^{1/2}$	40,26	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,01	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,004	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,01	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S)^2 + \sigma_{k, sisma}^P + \sigma_{k, sisma}^R)^{1/2}$	0,01	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	40,27	N/mm ²
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ² (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	82,43	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	81,49	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -V \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	126,24	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	111,02	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000542	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,23	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,35	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamento	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,31	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,03	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/16091	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE VENETO	LSC-203	
	PROGETTO Rif. Met. Pieve Di Soligo-San Polo di Piave-Salgareda DN 300 (12") - DP 75 bar ed opere connesse	Pagina 32 di 32	Rev. 1

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta = 0,6 \cdot \phi$	18	° = 0,31 rad
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0 = 1 - \sin \phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max} = v/c$	0,00013092	
Momento di inerzia	$I = \pi(D_{c,e}^4 - D_{c,i}^4)/64$	2656457	mm ⁴
Diametro interno	$D_{c,i}$	104	mm
Spessore tubazione	t_c	5,2	mm
Diametro esterno	$D_{c,e}$	114,3	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	1781	mm ²
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda = (K_w/4EI)^{1/4}$	0,00146376	mm ⁻¹
Peso lineare del tubo	W_p	1,04	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	2,83	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	r_{03}	305	mm
Raggio della tubazione	R	57,15	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,29850	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,333	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	15259,08	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	0,99	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	4,09	KN
Momento flettente della curva	M	490,84	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S = s/A_p$	2,30	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M = K_1 M D / 2I$	14,08	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	16,38	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ²
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	82,43	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{L0} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{e, sisma}$	57,59	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -v \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	102,35	N/mm ²
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{L0} = \sigma_{L0} / \sigma_y$	0,16	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,28	< 0,90 Verificato