

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

Metanodotti:

RIF. MET. CAMPODARSEGO – CASTELFRANCO V.TO
(1^TRATTO CAMPODARSEGO – RESANA)
DN 300(12") – DP 24 bar

RIF. MET. CAMPODARSEGO – CASTELFRANCO V.TO
(2^TRATTO RESANA – CASTELFRANCO V.TO)
DN 300(12")/200(8") – DP 75 bar

E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



0	30.11.17	Emissione	Righi M.	Polloni	Luminari
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Scopo del documento	3
1.2	Normativa di riferimento	5
1.3	Documenti di riferimento	5
2	DATI DI CALCOLO	6
2.1	Parametri geotecnici	6
2.2	Azione sismica di riferimento	6
2.3	Condizioni di progetto.....	10
2.4	Parametri geometrici - meccanici.....	10
3	VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	12
3.1	Criterio di verifica	15
3.2	Metodologia di calcolo tratto rettilineo	16
3.2.1	Massima deformazione indotta dalle onde sismiche	16
3.2.2	Applicazione del criterio di verifica	19
3.3	Metodologia di calcolo per la curva	20
3.3.1	Applicazione del criterio di verifica.....	22
4	SINTESI DEI RISULTATI	24
5	APPENDICE 1	25
5.1	DN 300 (12") DP 75 bar.....	25
5.2	DN 200 (8") DP 75 bar.....	28
5.3	DN 150 (6") DP 24 bar.....	31
5.4	DN 100 (4") DP 75 bar.....	34
5.5	DN 100 (4") DP 24 bar.....	37

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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 per il rifacimento del metanodotto esistente CAMPODARSEGO – CASTELFRANCO V.TO DN 150 (6") - MOP 64 bar e degli allacciamenti ad esso collegati, con relativa messa fuori esercizio della condotta e degli impianti esistenti.

Il tracciato del metanodotto in progetto attraversa il territorio della Provincia di Padova e della Provincia di Treviso. Le linee in progetto sono suddivise in funzione della DP (Pressione di progetto), nei seguenti due tratti, ciascuno contenente una o più condotte principali ed i relativi allacciamenti e ricollegamenti:

1. Rif. Met. Campodarsego-Castelfranco (1 Tratto Campodarsego-Resana DP 24 bar e opere connesse), comprendente:
 - *Der. Campodarsego – Resana DN 300 (12") DP 24 bar*, della lunghezza di 17,838 km, ha inizio nel territorio del comune di Campodarsego (PD) e termina in comune di Resana (TV), attraversando i comuni di Borgoricco, Camposampiero e Loreggia; la lunghezza complessiva, comprendente gli allacciamenti ed i ricollegamenti è di 23,549 km.
2. Rif. Met. Campodarsego-Castelfranco (2 Tratto Resana-Castelfranco DP 75 bar e opere connesse), comprendente:
 - *Derivazione per Resana DN 300 (12") DP 75 bar*, della lunghezza di 3,330 km, ha inizio in comune di Castelfranco Veneto (TV) per terminare in comuna di Resana (TV).
 - *Derivazione per Castelfranco V.to DN 200 (8") DP 75 bar*, della lunghezza di 2,375 km, che si sviluppa interamente in comune di Castelfranco Veneto (TV); la lunghezza complessiva, comprendente gli allacciamenti ed i ricollegamenti è di 2,510 km.
 - *Derivazione per Piombino Dese DN 200 (8") DP 75 bar*, della lunghezza di 3,730 km, ha inizio in comune di Resana (TV) per terminare in comune di Piombino Dese (PD) ; la lunghezza complessiva, comprendente gli allacciamenti ed i ricollegamenti è di 4,070 km.

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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/16025 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 2008 (Rif. [2]).

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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

1.3 Documenti di riferimento

COMIS NR/16025 LSC-200: Relazione Geologica
COMIS NR/16025 LSC-201: Relazione di Pericolosità Sismica
COMIS NR/16025 LSC-202: Relazione Geotecnica
COMIS NR/16025 LSC-203: Rapporto Indagini Geognostiche e Geofisiche

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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.

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

FASE 1

Individuazione della pericolosità del sito.

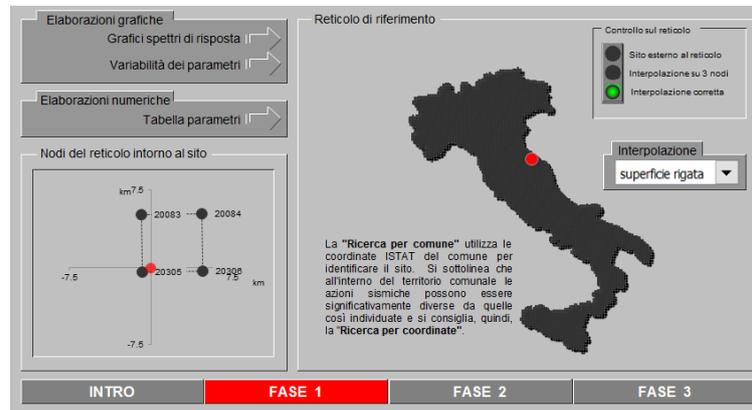


Figura 2-1: Spettri di risposta ver. 1.03

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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.

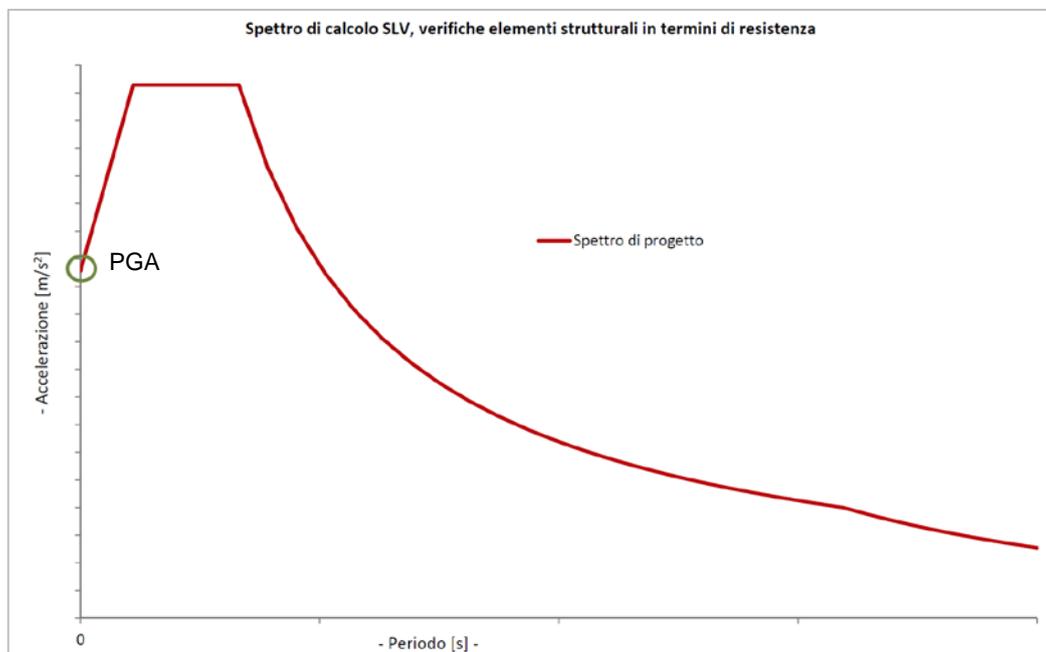


Figura 2-2: Spettro elastico per lo SLV

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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	Metanodotto	DN	bar	Comuni interessati	a _g	Categoria di sottosuolo	PGA	PGA massima
Tratto Campodarsego- Castelfranco V.	Der. Campodarsego-Resana	300	24	Campodarsego	0,140	C	0,208	0,266
				Borgoricco	0,153	C	0,225	
				Camposampiero	0,172	C	0,249	
				Loreggia	0,186	C	0,266	
				Resana	0,209	B	0,250	
	All. Carraro S.p.A.	100	24	Campodarsego	0,140	C	0,208	0,266
	All. Comune di Borgoricco	100	24	Borgoricco	0,153	C	0,225	
	All. Comune di Loreggia 1^ presa	100	24	Loreggia	0,186	C	0,266	
	All. Comune di Loreggia 2^ presa	100	24	Loreggia	0,186	C	0,266	
	All. Fonderia Anselmi Srl	150	24	Camposampiero	0,172	C	0,249	0,266
	All. Comune di Camposampiero	150	24	Camposampiero	0,172	C	0,249	
	All. Cartiera di Carbonera SpA	150	24	Camposampiero	0,172	C	0,249	
Ricoll. All. Comune di Villa del Conte 2^ pr	150	24	Loreggia	0,186	C	0,266		
Tratto Resana- Castelfranco Veneto	Der. per Resana	300	75	Castelfranco Veneto	0,233	B	0,274	0,274
	Derivazione per Piombino Dese	200	75	Resana	0,209	B	0,250	0,274
				Castelfranco Veneto	0,233	B	0,274	
	Der. per Castelfranco V.to	200	75	Resana	0,209	B	0,250	0,274
	Ricoll. All. Bianchi Luigi di Resana	100	75	Resana	0,209	B	0,250	
	All. Effe Tre Murano Srl	100	75	Resana	0,209	B	0,250	
	Ricoll. All. Comune di Resana	100	75	Resana	0,209	B	0,250	
	All. Comune di Piombino Dese	100	75	Resana	0,209	B	0,250	
				Piombino Dese	0,189	C	0,269	
	All. Comune di Castelfranco V.to 1^ presa	100	75	Castelfranco Veneto	0,233	B	0,274	
All. Berco S.p.A.	100	75	Castelfranco Veneto	0,233	B	0,274		
All. Simmel Difesa	100	75	Castelfranco Veneto	0,233	B	0,274		

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

Il calcolo viene effettuato per i diametri utilizzati DN300, DN200, DN 150 e DN100 combinando le pressione di progetto massima e la PGA massima dei comuni attraversati.

Verifiche			
Diametro nominale [mm]	Pressione di progetto [bar]	Comune	PGA [g]
DN 300	75	Castelfranco Veneto	0,274
DN 200	75	Castelfranco Veneto	0,274
DN 150	24	Loreggia	0,266
DN 100	24	Loreggia	0,266
DN 100	75	Castelfranco Veneto	0,274

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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

DN	150 (6")
Materiale	EN L360 NB/MB
Spessore in linea	7,1 mm
Spessore in curva	7,1 mm
Raggio di curvatura (3DN)	457 mm

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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.

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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.

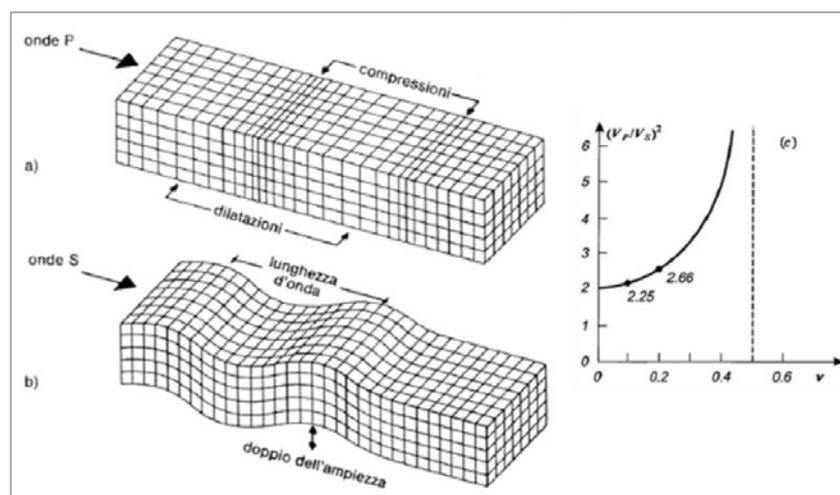


Figura 3-1: Rappresentazione grafica delle deformazioni generate dal passaggio dei diversi tipi di onde elastiche propagantisi nella stessa direzione: (a) onda longitudinale; (b) onda trasversale. (c) Dipendenza del rapporto fra velocità di propagazione dal coefficiente di Poisson (Faccioli, 2005)

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

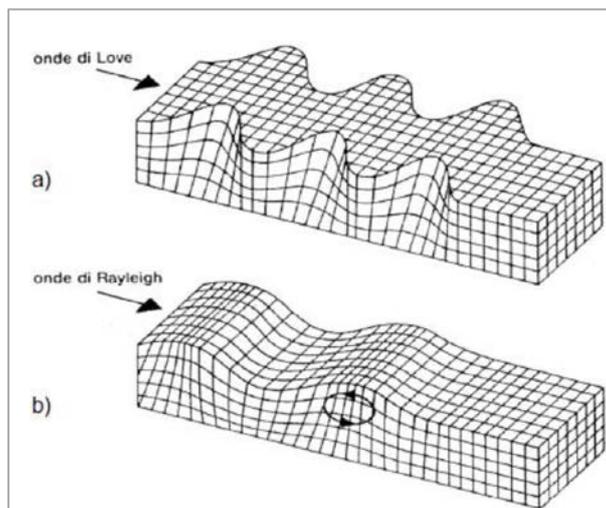


Figura 3-2: Rappresentazione grafica delle deformazioni generate dal passaggio dei diversi tipi di onde elastiche propagantisi nella stessa direzione: (a) onda di superficie tipo Love; (b) onda di superficie tipo Rayleigh

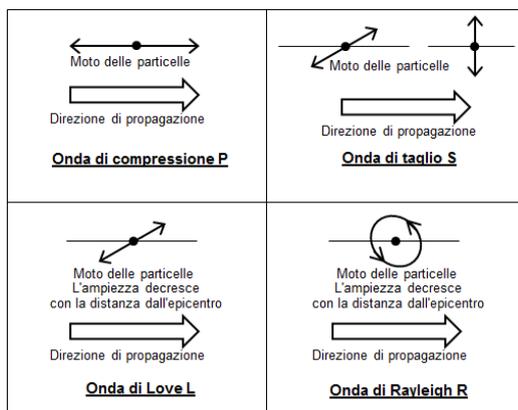


Figura 3-3: Moto delle particelle di terreno per i vari tipi di onde sismiche

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrato, 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.

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

di sicurezza, vengono considerati gli angoli che comportano la massimizzazione delle deformazioni.

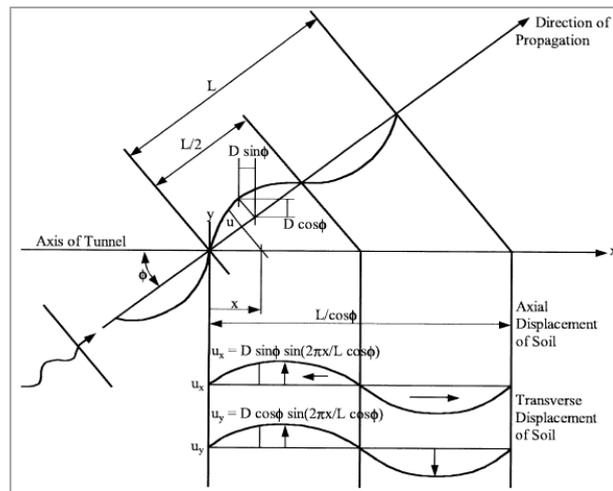


Figura 3-4: Geometria di un'onda S sinusoidale obliqua all'asse della condotta

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:

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

dove:

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

La massima curvatura della condotta è espressa dalla formula seguente (Rif.[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.

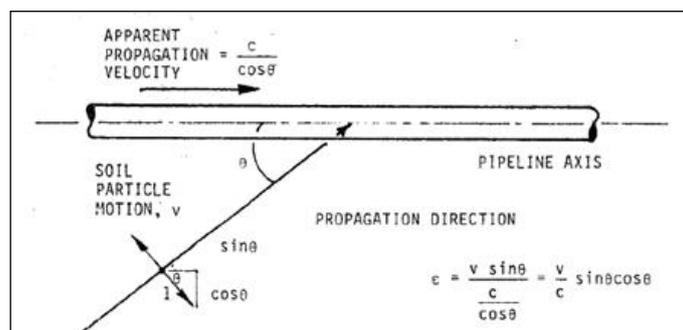


Figura 3-5. Effetto longitudinale delle onde di taglio sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

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° :

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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

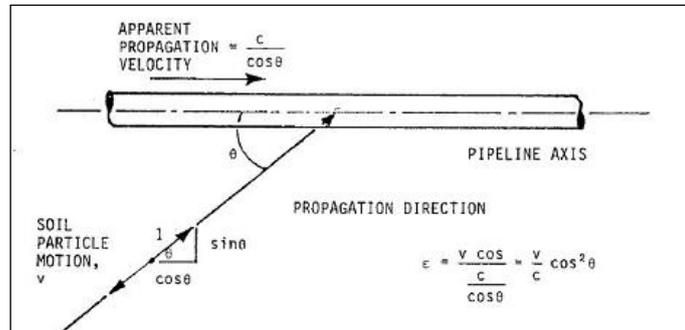


Figura 3-6 Effetto longitudinale delle onde di compressione sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

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:

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

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° .

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

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.

Tipo Onda	Massima deformazione	Fattori
-----------	----------------------	---------

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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"

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:

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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:

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

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:

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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

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:

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

con:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12(\operatorname{tr}_0/R^2)^2}$$

Il momento flettente sulla curva è:

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

Il fattore di intensificazione dello stress:

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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

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”

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:

$$\sigma_{LO} = 0.5\sigma_H + \sigma_{CurvaSISMA}$$

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.

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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:

$$\sigma_{LT} = \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\text{Curva}_{\text{SISMA}}}$$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

e

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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
 SNAM RETE GAS	 COMIS consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,32 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,20 < 0,75 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,25 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,41 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,22 < 0,90 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,09 < 1,00 Verificato		
DN 200 (8") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,25 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,18 < 0,7 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,29 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,31 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,23 < 0,9 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,05 < 1,00 Verificato		
DN 150 (6") 24 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,10 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,05 < 0,7 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,34 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,31 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,30 < 0,9 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,04 < 1,00 Verificato		
DN 100 (4") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,25 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,18 < 0,7 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,29 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,31 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,23 < 0,9 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,05 < 1,00 Verificato		
DN 100 (4") 24 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,13 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y=$	0,07 < 0,7 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,37 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_y=$	0,34 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y=$	0,32 < 0,9 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,04 < 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.

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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)	45,677	°
Longitudine	(WGS84)	11,927	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,233	-g = 2,284 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,329	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,405	-
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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

VERIFICA TRATTO RETTILINEO

Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2008

Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,176	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,176	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,452	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	2,686	m/s ² (7.2.5.1 NTC 08)
Velocità orizzontale del terreno	$v_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,194	m/s (3.2.3.3 NTC 08)

Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo

Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{s,isma}^S = v_g / 2C$	0,00004861	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{s,isma}^P = v_g / C$	0,00009722	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{s,isma}^R = v_g / C$	0,00009722	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{s,isma}^S = PGA / C^2$	0,00000067	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{s,isma}^P = PGA / (2 \cdot 6 \cdot C^2)$	0,00000026	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{s,isma}^R = PGA / C^2$	0,00000067	m ⁻¹ (ASCE 1984)

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo

Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon,isma}^S = E \cdot \epsilon_{s,isma}^S$	9,96	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon,isma}^P = E \cdot \epsilon_{s,isma}^P$	19,93	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon,isma}^R = E \cdot \epsilon_{s,isma}^R$	19,93	N/mm ²
Involuppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon,isma} = (\sigma_{\epsilon,isma}^S)^2 + (\sigma_{\epsilon,isma}^P)^2 + (\sigma_{\epsilon,isma}^R)^2)^{1/2}$	29,89	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k,isma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{s,isma}^S$	0,02	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k,isma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{s,isma}^P$	0,01	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k,isma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{s,isma}^R$	0,02	N/mm ²
Involuppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k,isma} = (\sigma_{k,isma}^S)^2 + (\sigma_{k,isma}^P)^2 + (\sigma_{k,isma}^R)^2)^{1/2}$	0,03	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{s,isma} = \sigma_{\epsilon,isma} + \sigma_{k,isma}$	29,93	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	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	171,07	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon,isma}$	115,46	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{s,isma}$	89,30	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	148,20	N/mm ²

Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984

Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000723	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,32	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,25	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,41	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,09	< 1 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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	$\epsilon_{max}=\sqrt{c}$	0,00009722			
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	115986440	mm ⁴		
Diametro interno	Dc_i	305	mm		
Spessore tubazione	t_c	9,5	mm		
Diametro esterno	Dc_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	$r03$	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'	23853,90	mm		
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	1,16	mm		
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	11,49	KN		
Momento flettente della curva	M	2245,68	KNmm		

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	1,23	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	5,73	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	6,95	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	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H+\sigma_{e,sisma}$	70,88	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	79,30	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	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,22	< 0,90 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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)	45,677	°
Longitudine	(WGS84)	11,927	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,233	g = 2,284 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,329	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,405	-
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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

VERIFICA TRATTO RETTILINEO

Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2008

Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,176	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,176	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,452	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	2,686	m/s ² (7.2.5.1 NTC 08)
Velocità orizzontale del terreno	$v_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,194	m/s (3.2.3.3 NTC 08)

Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo

Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{s,isma}^S = v_g / 2C$	0,00004861	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{s,isma}^P = v_g / C$	0,00009722	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{s,isma}^R = v_g / C$	0,00009722	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{s,isma}^S = PGA / C^2$	0,00000067	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{s,isma}^P = PGA / (2 \cdot 6 \cdot C^2)$	0,00000026	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{s,isma}^R = PGA / C^2$	0,00000067	m ⁻¹ (ASCE 1984)

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo

Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon,isma}^S = E \cdot \epsilon_{s,isma}^S$	9,96	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon,isma}^P = E \cdot \epsilon_{s,isma}^P$	19,93	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon,isma}^R = E \cdot \epsilon_{s,isma}^R$	19,93	N/mm ²
Iniluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon,isma} = (\sigma_{\epsilon,isma}^S)^2 + \sigma_{\epsilon,isma}^P + \sigma_{\epsilon,isma}^R)^{1/2}$	29,89	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k,isma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{s,isma}^S$	0,02	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k,isma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{s,isma}^P$	0,01	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k,isma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{s,isma}^R$	0,02	N/mm ²
Iniluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k,isma} = (\sigma_{k,isma}^S)^2 + \sigma_{k,isma}^P + \sigma_{k,isma}^R)^{1/2}$	0,02	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{s,isma} = \sigma_{\epsilon,isma} + \sigma_{k,isma}$	29,92	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	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	117,38	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{L0} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon,isma}$	88,60	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{s,isma}$	105,40	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	111,87	N/mm ²

Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984

Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000546	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{L0} = \sigma_{L0} / \sigma_y$	0,25	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,29	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,31	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,05	< 1 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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	$\epsilon_{max}=\sqrt{c}$	0,00009722			
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	26244149	mm ⁴		
Diametro interno	Dc_i	205	mm		
Spessore tubazione	t_c	7	mm		
Diametro esterno	Dc_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	$r03$	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'	17516,01	mm		
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	0,85	mm		
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	5,88	KN		
Momento flettente della curva	M	864,51	KNmm		

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	1,26	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	6,22	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	7,48	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	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{e,sisma}$	66,17	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	82,97	N/mm ²

Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,18	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,23	< 0,90 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

5.3 DN 150 (6") DP 24 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)	45,595	°
Longitudine	(WGS84)	11,946	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,186	·g = 1,821 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,331	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,437	-
Categoria sottosuolo	-	C	-
Categoria topografica	-	T1	-

Input geometrici - meccanici - sollecitazioni

Diametro nominale	D _N	150	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	Tipo 1
Diametro esterno tubazione	D _e	168	mm
Spessore tubazione	t	7,10	mm
Diametro interno tubazione	D _i	154,1	mm
Accorciamento critico	ε _{CR} =0,35·t/(D-t)	0,0154	- (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	24	bar = 2,4 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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

VERIFICA TRATTO RETTILINEO

Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2008

Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,428	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,428	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,331	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	2,602	m/s ² (7.2.5.1 NTC 08)
Velocità orizzontale del terreno	$v_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,138	m/s (3.2.3.3 NTC 08)

Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo

Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{\text{sisma}}^S = v_g / 2C$	0,00003449	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{\text{sisma}}^P = v_g / C$	0,00006898	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{\text{sisma}}^R = v_g / C$	0,00006898	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{\text{sisma}}^S = PGA / C^2$	0,00000065	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{\text{sisma}}^P = PGA / (2 \cdot 6 \cdot C^2)$	0,00000025	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{\text{sisma}}^R = PGA / C^2$	0,00000065	m ⁻¹ (ASCE 1984)

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo

Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^S = E \cdot \epsilon_{\text{sisma}}^S$	7,07	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^P = E \cdot \epsilon_{\text{sisma}}^P$	14,14	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^R = E \cdot \epsilon_{\text{sisma}}^R$	14,14	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, \text{sisma}} = (\sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^S{}^2 + \sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^P{}^2 + \sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^R{}^2)^{1/2}$	21,21	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, \text{sisma}}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{\text{sisma}}^S$	0,01	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, \text{sisma}}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{\text{sisma}}^P$	0,00	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, \text{sisma}}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{\text{sisma}}^R$	0,01	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, \text{sisma}} = (\sigma_{k, \text{sisma}}^S{}^2 + \sigma_{k, \text{sisma}}^P{}^2 + \sigma_{k, \text{sisma}}^R{}^2)^{1/2}$	0,02	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{\text{sisma}} = \sigma_{\epsilon, \text{sisma}} + \sigma_{k, \text{sisma}}$	21,23	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	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	28,45	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{L0} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, \text{sisma}}$	35,45	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\text{sisma}}$	123,39	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{\text{COMB}} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	111,92	N/mm ²

Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984

Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{\text{COMB}} / E$	0,000546	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{L0} = \sigma_{L0} / \sigma_y$	0,10	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,34	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{\text{COMBO}} = \sigma_{\text{COMBO}} / \sigma_y$	0,31	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,04	< 1 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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	$\epsilon_{max}=\nu/C$	0,00006898			
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	11695931	mm ⁴		
Diametro interno	Dc_i	154	mm		
Spessore tubazione	t_c	7,1	mm		
Diametro esterno	Dc_e	168,3	mm		
Area sezione trasversale del tubo	A_p	3594	mm ²		
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00101050	mm ⁻¹		
Peso lineare del tubo	W_p	0,28	KN/m		
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	3,76	N/mm		
Curvatura	-	3 diametri			
Raggio della curva prefabbricata	r_{03}	457	mm		
Raggio della tubazione	R	84,15	mm		
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,28112	-		
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,398	-		
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	12696,29	mm		
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	0,44	mm		
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	2,58	KN		
Momento flettente della curva	M	414,52	KNmm		

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	0,72	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	4,17	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	4,89	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	$\sigma_H=P \cdot D/2t$	28,45	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H+\sigma_{\epsilon,sisma}$	19,11	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=\nu \cdot \sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	107,06	N/mm ²

Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,05	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,30	< 0,90 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

5.4 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)	45,677	°
Longitudine	(WGS84)	11,927	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,233	·g = 2,284 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,329	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,405	-
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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

VERIFICA TRATTO RETTILINEO

Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2008

Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,176	-
Coefficiente di amplificazione	$S = S_S \cdot S_T$	1,176	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,452	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA = a_g \cdot S$	2,686	m/s ² (7.2.5.1 NTC 08)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g = 0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,194	m/s (3.2.3.3 NTC 08)

Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo

Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{s, sisma}^S = V_g / 2C$	0,00004861	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{s, sisma}^P = V_g / C$	0,00009722	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{s, sisma}^R = V_g / C$	0,00009722	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{s, sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000067	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{s, sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000026	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{s, sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000067	m ⁻¹ (ASCE 1984)

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo

Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{s, sisma}^S$	9,96	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{s, sisma}^P$	19,93	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{s, sisma}^R$	19,93	N/mm ²
Involuppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^R^2)^{1/2}$	29,89	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{s, sisma}^S$	0,01	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{s, sisma}^P$	0,00	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{s, sisma}^R$	0,01	N/mm ²
Involuppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S^2 + \sigma_{k, sisma}^P^2 + \sigma_{k, sisma}^R^2)^{1/2}$	0,01	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	29,91	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	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	71,12	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -V \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	115,88	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	103,30	N/mm ²

Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984

Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000504	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,20	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,32	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,29	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,03	< 1 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

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	$\epsilon_{max}=V/C$	0,00009722			
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	2656457	mm ⁴		
Diametro interno	Dc_i	104	mm		
Spessore tubazione	t_c	5,2	mm		
Diametro esterno	Dc_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	$r03$	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'	11600,00	mm		
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	0,56	mm		
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	2,32	KN		
Momento flettente della curva	M	278,22	KNmm		

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	1,30	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	7,98	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	9,28	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	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H+\sigma_{\epsilon,sisma}$	50,50	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-V \cdot \sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	95,25	N/mm ²

Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8

Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,14	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,26	< 0,90 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

5.5 DN 100 (4") DP 24 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)	45,595	°
Longitudine	(WGS84)	11,946	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a _g	0,186	·g = 1,821 m/s ²
Accelerazione	g	9,81	m/s ²
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T _C *	0,331	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F _O	2,437	-
Categoria sottosuolo	-	C	
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	24	bar = 2,4 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

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	NR/16025	
		LSC-203	

VERIFICA TRATTO RETTILINEO
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2008

Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000	-
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,428	-
Coefficiente di amplificazione	$S=S_S \cdot S_T$	1,428	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,501	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot S$	2,602	m/s ² (7.2.5.1 NTC 08)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$	0,209	m/s (3.2.3.3 NTC 08)

Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo

Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{s, sisma}^S = V_g / 2C$	0,00005214	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{s, sisma}^P = V_g / C$	0,00010428	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{s, sisma}^R = V_g / C$	0,00010428	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{s, sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000065	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{s, sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000025	m ⁻¹ (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{s, sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000065	m ⁻¹ (ASCE 1984)

Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo

Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{s, sisma}^S$	10,69	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{s, sisma}^P$	21,38	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{s, sisma}^R$	21,38	N/mm ²
Involuppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^R^2)^{1/2}$	32,07	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{s, sisma}^S$	0,01	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{s, sisma}^P$	0,00	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{s, sisma}^R$	0,01	N/mm ²
Involuppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S^2 + \sigma_{k, sisma}^P^2 + \sigma_{k, sisma}^R^2)^{1/2}$	0,01	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{s, sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	32,08	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	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	26,38	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	45,26	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{s, sisma}$	134,86	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	123,80	N/mm ²

Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984

Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000604	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,13	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,37	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,34	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,04	< 1 Verificato

COMMITTENTE	PROGETTISTA	COMMESSA	C.T.
	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	NR/16025	
		LSC-203	

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	$\epsilon_{max}=v/c$	0,00010428	
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	$r03$	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'	12379,67	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	0,64	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	2,65	KN
Momento flettente della curva	M	318,22	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	1,49	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	9,13	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	10,62	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	$\sigma_H=P \cdot D/2t$	26,38	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{L0}=0,5 \cdot \sigma_H+\sigma_{\epsilon,sisma}$	23,81	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	113,40	N/mm ²
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{L0}=\sigma_{L0}/\sigma_y$	0,07	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,32	< 0,90 Verificato