

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 1 di 14	Rev. 0

APPENDICE 1

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 2 di 14	Rev. 0

1 Verifica strutturale allo scuotimento sismico

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

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

Le verifiche sismiche oggetto di questo rapporto sono state eseguite facendo riferimento ai paragrafi 7.4.1.2 e 7.4.1.3 e all'allegato E della norma EN 1594 "Gas Supply Systems – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements".

La metodologia di calcolo e di verifica applicata è congruente con le indicazioni della norma EN 1594 che, nell'annex E con Ref. [2], richiama la "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" delle ASCE, 1984. Quest'ultima è ritenuta sufficientemente conservativa, poiché:

- considera la simultaneità delle azioni (con i relativi effetti massimi) delle onde primarie P, secondarie S e superficiali R;
- verifica l'evento sismico congiuntamente all'operatività massima della condotta;
- trascura (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubazione e terreno che, normalmente, riduce le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta.

L'interazione tubazione-terreno è invece inevitabilmente considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

La "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" del 1984 è stata aggiornata dalle ASCE nel 2001/05 con la "Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe".

Quest'ultima appare meno conservativa della precedente non contemplando più la concomitanza degli effetti sismici, la verifica degli elementi curvi e la verifica congiunta con l'operatività del sistema.

Ciononostante, essendo rimasta inalterata la struttura di calcolo per le singole sollecitazioni sismiche e volendosi mantenere la conservatività delle verifiche eseguite in passato, dell'ultima revisione delle ASCE si è accolta solamente l'indicazione relativa alla velocità di propagazione dell'onda sismica nel suolo, c , che è passata da 915 m/sec a 2000 m/sec.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 3 di 14	Rev. 0

1.1 Dati di Input

Sulla base dei dati relativi alla sismicità storica e strumentale, sono state calcolate le massime accelerazioni e le massime velocità al suolo, a_g e v_g , lungo il tracciato della tubazione a seguito dell'evento sismico corrispondente sia allo Stato Limite di Danno (SLD) che allo Stato Limite di Vita (SLV).

Per il metanodotto in progetto è stato considerato un coefficiente d'uso 2 (opera strategica) ed una vita nominale di 100 anni.

Per ciascuna condotta verranno definiti i seguenti parametri:

$a_{g,SLD}$ = massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno

$v_{g,SLD}$ = velocità massima del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno

$a_{g,SLV}$ = massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita

$v_{g,SLV}$ = velocità massima del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita

Nelle tabelle che seguono i parametri definiti sopra vengono riportati per ciascuna condotta ($g = 981 \text{ cm/sec}^2$ è l'accelerazione di gravità).

Tabella 1.1A: Var. Pot. All. Com. di Soliera DN 200 (8")

$a_{g,SLD}$		$v_{g,SLD}$		$a_{g,SLV}$		$v_{g,SLV}$	
[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]	[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]
0,1680	164,8	0,116	11,6	0,3512	344,5	0,2510	25,1

Tabella 1.1B: All. Granarolo DN 100 (4")

$a_{g,SLD}$		$v_{g,SLD}$		$a_{g,SLV}$		$v_{g,SLV}$	
[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]	[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]
0,1650	161,9	0,113	11,3	0,3499	343,3	0,2498	25,0

Tabella 1.1C: Var. Ins. nuovo PIDA su 4340071 DN 200 (8")

$a_{g,SLD}$		$v_{g,SLD}$		$a_{g,SLV}$		$v_{g,SLV}$	
[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]	[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]
0,1650	161,9	0,113	11,3	0,3500	343,4	0,2500	25,0

Conservativamente, sia lo Stato Limite di Danno (SLD) che quello Limite di Vita (SLV) sono stati considerati in una verifica di tipo elastico. Seguendo le indicazioni nelle ultime Guidelines delle ASCE, per un terreno mediamente denso, è stata considerata una velocità di propagazione dell'onda sismica nel suolo, c , pari a 2000 m/sec.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 4 di 14	Rev. 0

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche e meccaniche delle condotte analizzate:

Tabella 1.1G: Caratteristiche delle tubazioni e condizioni di progetto

	DN 200 (8")	DN 100 (4")
Diametro esterno tubazione (mm)	219,1	114,3
Spessore di linea t ₁ (mm)	7,0	5,2
Modulo di elasticità di Young (N/mm ²)	206000	206000
Coefficiente di Poisson (adm)	0,3	0,3
Snervamento del materiale tubazione (N/mm ²)	360	360
Peso specifico del materiale tubazione (N/m ³)	78500	78500
Spessore curve stampate t ₂ (mm)	7,0	5,2
Raggio curve stampate 3DN (mm)	610	305
Pressione di progetto (bar)	75	75
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio (°C)	30	30

Per il terreno circostante i tubi (suolo di reinterro trincea nei confronti del quale si realizza l'interazione tubo-terreno), sono state considerate le seguenti caratteristiche medie:

H	=	1,5 m	Altezza minima di copertura
γ	=	18000 N/m ³	Peso specifico del terreno di rinterro
φ	=	30°	Angolo di attrito interno del terreno
δ	=	18°	Angolo di attrito tubo-terreno
K ₀	=	0,5	Coefficiente di pressione laterale

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 5 di 14	Rev. 0

1.2 Criterio di Verifica

Con riferimento al paragrafo 7.4.1.2 della norma EN 1594, la tensione totale risultante sulla tubazione è calcolata col criterio di Von Mises, in campo elastico-lineare per il materiale del tubo, considerando tutti i carichi (operativi ed esterni) "primari" e contemporaneamente agenti.

La tensione equivalente totale, S_V , è determinata secondo la formula di seguito riportata

$$S_V = [S_L^2 - S_L S_H + S_H^2]^{1/2}$$

dove:

S_H è la tensione circonferenziale (hoop stress) dovuta alla pressione interna del tubo.
 S_L è lo stress longitudinale totale risultante dalla sommatoria delle tensioni dovute all'espansione termica impedita, agli effetti longitudinali dovuti alla pressione interna al tubo, al carico occasionale rappresentato dall'evento sismico.

In accordo al paragrafo 7.4.1.3 della norma EN 1594, la suddetta tensione equivalente totale è confrontata col 100% dello snervamento minimo del materiale della tubazione, σ_Y , (in gergo anglosassone SMYS = Specified Minimum Yield Stress).

$$S_V = [S_L^2 - S_L S_H + S_H^2]^{1/2} \leq \sigma_Y = \text{SMYS}$$

Infine, basandosi sulla "buona ingegneria", una ulteriore analisi è eseguita per verificare l'insorgere di fenomeni di instabilità locale di parete nel caso in cui risulti una deformazione longitudinale di compressione, ε .

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni di instabilità possono accadere per una deformazione di compressione, ε_a , pari a 0,1% = 0,001 (ASCE 2001/2005):

$$\varepsilon \leq \varepsilon_a = 0,001$$

1.3 Elemento di Tubazione Rettilineo

L'applicazione dei criteri di verifica proposti nelle Guidelines delle ASCE, ovvero trascurare l'interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei, fornisce valori conservativi circa lo stato tensionale indotto sulla tubazione.

L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi come il suolo circostante a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende pressoché indipendente il risultato delle tensioni indotte dallo spessore del tubo.

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l'asse della condotta, sono rispettivamente:

$$\sigma_{a,S} = \pm E \frac{V}{C} \sin\vartheta \cos\vartheta$$

$$\sigma_{b,S} = \pm E R \frac{a}{C^2} \cos^3\vartheta$$

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 6 di 14	Rev. 0

ϑ è l'angolo di incidenza tra l'asse della tubazione e la direzione di propagazione del movimento sismico.

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_a e σ_b si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 45^\circ$ e $\vartheta = 0^\circ$:

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

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

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di compressione P, sono rispettivamente:

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

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

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_a e σ_b si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 0^\circ$ e $\vartheta = 35^\circ 16'$:

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

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

Le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R, sono rispettivamente:

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

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

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

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

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

La massima tensione longitudinale dovuta all'evento sismico risulta quindi:

$$\sigma_{sism} = \sigma_a + \sigma_b$$

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 7 di 14	Rev. 0

Nelle porzioni di tubazione rettilinea, l'espansione termica impedita dall'attrito tubo-terreno genera una tensione di compressione:

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

Lontano dalle curve, l'effetto longitudinale di trazione dovuto alla pressione interna, è dato dalla seguente:

$$\sigma_{P,v} = \nu \frac{P D}{2 t} = 0,3 \frac{P D}{2 t}$$

Negli elementi curvi, l'effetto longitudinale dovuto alla pressione interna, è dato dal "tiro di fondo":

$$\sigma_{PS} = \frac{P D}{4 t} = 0,5 \frac{P D}{2 t}$$

Per ciascun diametro, le massime tensioni sismiche calcolate con le formule sopra riportate sono presentate nelle tabelle seguenti 1.3B e 1.3C, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno ($a_{g,SLD}$ e $V_{g,SLD}$) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ($a_{g,SLV}$ e $V_{g,SLV}$) nelle condizioni più gravose, riportate nella Tabella 1.3A sottostante:

Tabella 1.3A: Condizioni più gravose riferite allo Stato Limite di Danno ed allo Stato Limite di Vita

Tubazione	$a_{g,SLD}$		$V_{g,SLD}$		$a_{g,SLV}$		$V_{g,SLV}$	
	[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]	[g]	[cm/s ²]	[cm/sec]	[m/s]
DN 200 (8")	0,1680	164,8	0,116	11,6	0,3512	344,5	0,2510	25,1
DN 100 (4")	0,1650	161,9	0,113	11,3	0,3499	343,4	0,2498	25,0

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 8 di 14	Rev. 0

Tabella 1.3B: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress longitudinale sismico totale
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,R}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,R}$ (N/mm ²)	σ_{sism} (N/mm ²)
DN 200 (8")	5,97	0,01	11,95	0,00	11,95	0,01	17,94
DN 100 (4")	5,82	0,00	11,64	0,00	11,65	0,00	17,47

Tabella 1.3C: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress longitudinale sismico totale
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,R}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,R}$ (N/mm ²)	σ_{sism} (N/mm ²)
DN 200 (8")	12,93	0,02	25,85	0,01	25,85	0,02	38,81
DN 100 (4")	12,86	0,01	25,73	0,00	25,73	0,01	38,61

Combinando le tensioni di Tab. 1.3B e 1.3C in accordo ai criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti (Tab. 1.3D e Tab. 1.3E) sono presentati i risultati delle verifiche eseguite per ciascuna linea esaminata in corrispondenza del terremoto allo Stato Limite di Danno e di quello allo Stato Limite di Vita.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 9 di 14	Rev. 0

Tabella 1.3D: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	S_v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_v/SMYS$ (adm)	ε (adm)	ε_a (adm)	$\varepsilon/\varepsilon_a$ (adm)
DN 200 (8")	152,53	360	0,42	2,67E-4	1,00E-3	0,27
DN 100 (4")	128,01	360	0,36	3,16E-4	1,00E-3	0,32

Tabella 1.3E: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	S_v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_v/SMYS$ (adm)	ε (adm)	ε_a (adm)	$\varepsilon/\varepsilon_a$ (adm)
DN 200 (8")	168,66	360	0,47	3,68E-4	1,00E-3	0,37
DN 100 (4")	146,04	360	0,41	4,18E-4	1,00E-3	0,42

Risultando soddisfatte tutte le verifiche previste, nei tratti rettilinei le tubazioni possono ritenersi positivamente verificate.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 10 di 14	Rev. 0

1.4 Elemento di Tubazione Curvo

Nell'analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l'interazione tra tubo e terreno è inevitabilmente presa in considerazione. Assumendo il movimento dell'onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si indica con L' la lunghezza di scorrimento della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito t_u (ASCE 1984).

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

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

dove:

- A_p = area della sezione trasversale del tubo
 λ = $(k_o/4EI)^{1/4}$
 k_o = modulo di reazione del suolo
 I = momento di inerzia della sezione trasversale del tubo
 ε_{\max} = massima deformazione del terreno
 K_o = coefficiente di pressione del suolo a riposo

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

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

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

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

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

con:

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

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 11 di 14	Rev. 0

Il momento flettente sulla curva è:

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

K_1 è il fattore di intensificazione dello stress:

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

La tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S, si calcola con la seguente:

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

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

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

Nelle successive tabelle sono riportati i valori ottenuti seguendo la sopra riportata procedura di calcolo per le curve di 90°.

In accordo al criterio di verifica riportato al paragrafo 1.2, la deformazione sismica è trasferita all'elemento curvo unitamente agli effetti di termica, pressione e gravità.

Per ciascuna linea (diametro), lo spostamento e le sollecitazioni interne risultanti dalla combinazione della espansione termica, degli effetti dovuti ai carichi sostenuti ed a quelli sismici, per il calcolo di S_v , sono riportati nelle tabelle seguenti Tab. 14A e Tab. 14B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno ($a_{g,SLD}$ e $v_{g,SLD}$) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ($a_{g,SLV}$ e $v_{g,SLV}$) nelle condizioni più gravose, riportate nella tabella 1.3A.

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 12 di 14	Rev. 0

Tabella 1.4A: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Massima deformazione del terreno	Massimo spostamento curva	Massima forza assiale	Massimo momento flettente	Massima tensione assiale	Massima tensione flettente
	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
DN 200 (8")	6,04E-04	19,90	41,91	13,36	8,99	96,20
DN 100 (4")	7,74E-04	13,60	13,25	4,03	7,42	115,50

Tabella 1.4B: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Massima deformazione del terreno	Massimo spostamento curva	Massima forza assiale	Massimo momento flettente	Massima tensione assiale	Massima tensione flettente
	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
DN 200 (8")	7,88E-04	27,09	57,05	18,19	12,23	130,95
DN 100 (4")	1,01E-03	19,06	18,53	5,64	10,40	161,83

Con i valori di Tab. 1.4A e Tab. 1.4B in accordo ai criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti (Tab. 1.4C e Tab. 1.4D) sono state eseguite le verifiche degli stati tensionali indotti in accordo ai contenuti del paragrafo 1.2.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 13 di 14	Rev. 0

In Tab. 1.4C e 1.4D, per ciascuna linea esaminata, sono presentati i risultati delle verifiche strutturali corrispondenti al terremoto per lo Stato Limite di Danno e a quello per lo Stato Limite di Vita nelle condizioni più gravose.

Tabella 1.4C: Risultati delle verifiche per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Diametro esterno	Spessore	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	t (mm)	S_V (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_V/SMYS$ (adm)
DN 200 (8")	219,1	7,0	209,38	360	0,58
DN 100 (4")	114,3	5,2	213,07	360	0,59

Tabella 1.4D: Risultati delle verifiche per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Diametro esterno	Spessore	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	t (mm)	S_V (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_V/SMYS$ (adm)
DN 200 (8")	219,1	7,0	243,30	360	0,68
DN 100 (4")	114,3	5,2	260,06	360	0,72

Risultando soddisfatte tutte le verifiche previste, le tubazioni possono ritenersi positivamente verificate anche nei tratti curvi.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	All.to a SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 14 di 14	Rev. 0

2 Conclusioni

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità delle condotta di gas in progetto ai requisiti del D.M., della norma EN 1594 (e quindi ai criteri delle linee guida sismiche nelle "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" delle ASCE, richiamate nella Ref, [2] dell'annex E, ed alla relativa revisione ultima), nei confronti del movimento del suolo (scuotimento o shaking) provocato da un evento sismico e caratterizzato da picchi di accelerazione massima del terreno $a_{g,SLD}$ e $a_{g,SLV}$ assunti secondo quanto riportato nella tabella da 1.3A.

I risultati delle analisi presentate ai paragrafi 1.3 e 1.4 hanno infatti evidenziato l' idoneità dello spessore della tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l'evento sismico.

Dai risultati si evince pure che in nessun caso, per effetto dello shaking, i valori di sollecitazione ottenuti si avvicinano ai valori di resistenza a rottura dell'acciaio costituente le condotte in progetto, che sotto questo aspetto possono essere considerate assolutamente sicure.

D'altra parte, per questo fenomeno, in letteratura tecnica internazionale non sono riportati casi di rottura di tubazioni integre e in acciaio, saldate e controllate con le tecniche attualmente disponibili.