

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024_r2

ANNESSO 1

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

1 Verifica strutturale allo scuotimento sismico

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati elaborati per gli spessori previsti per le condotte in esame.

Lo shaking è causato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che, impartendo movimenti alle particelle di suolo, sollecitano la tubazione interrata a deformarsi così come si deforma il terreno circostante.

Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo, che 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, Novak 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali quali: le onde di compressione (onde P o primarie), le onde di taglio (onde S o secondarie) e le 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", edizione 2009.

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

Queste ultime sono state aggiornate nel 2001 dalle ASCE nelle "Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe" e sono ritenute sufficientemente conservative, poiché considerano la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S ed R che massimizzano gli effetti sulla tubazione.

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 3 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

1.1 Dati di Input

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

		DN 300 (12")	DN 150 (6")	DN 100 (4")
Diametro esterno tubazione	mm	323,9	168,3	114,3
Spessore di linea, t_1	mm	7,1	7,1	5,2
Modulo elastico di Young	N/mm ²	206000	206000	206000
Coefficiente di Poisson	adm	0,3	0,3	0,3
Materiale tubazioni	-	EN L 360	EN L 360	EN L 360
Peso specifico tubazioni	kg/m ³	7850	7850	7850
Snervamento acciaio tubo	N/mm ²	360	360	360
Coefficiente dilatazione termica	mm/mm/°C	1.17 E-5	1.17 E-5	1.17 E-5
Spessore curve stampate, t_2	mm	9,5	7,1	5,2
Raggio curve stampate (3DN)	mm	914	457	305
Pressione di progetto	bar	24	24	24
Differenza temperatura ΔT	°C	45	45	45

Tab. 1.1A: Caratteristiche delle tubazioni e condizioni di progetto

Per il terreno circostante i tubi (suolo di reinterro della trincea con cui le tubazioni interagiscono), sono state considerate le seguenti caratteristiche medie:

$H = 1,5$ m
 $\gamma = 18000$ N/m³
 $\phi = 30^\circ$
 $\delta = 18^\circ$
 $K_0 = 0,5$

Altezza minima di copertura
 Peso specifico del terreno di rinterro
 Angolo di attrito interno
 Angolo di attrito tubo-terreno
 Coefficiente di spinta a riposo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Sulla base dei dati relativi alla sismicità storica e strumentale, sono state calcolate le accelerazioni e velocità massime 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, corrispondente ad un periodo di ritorno di 101 anni), che allo Stato Limite di Vita (SLV, corrispondente ad un periodo di ritorno di 949 anni).

Seguendo le indicazioni nelle Guidelines delle ASCE-ALA del 2001, per la condizione di terreno mediamente denso, si è considerata una velocità di propagazione dell'onda sismica nel suolo (c) pari a 2000 m/sec.

Conservativamente, sia lo Stato Limite di Danno che quello Limite di Vita sono stati considerati concomitanti alle condizioni massime di esercizio, nell'ambito di una verifica strutturale di tipo elastico lineare.

									SLD: TR (anni) = 101		SLV: TR (anni) = 949	
Linea principale	DN	De (mm)	Spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	max ΔT (°C)	Curve	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)
1. Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle	300	323,9	7,1	35,04	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 9,5 mm	0,071	0,052	0,142	0,134
Allacciamenti	DN	Di (mm)	spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	max ΔT (°C)	Curve	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)
2. Ricollegamento All.to Comune di Bompensiere	150	154,1	7,1	1.770	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 7,1 mm	0,06	0,044	0,12	0,113
3. Rifacimento Diramazione per Agrigento	150	154,1	7,1	4.045	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 7,1 mm	0,05	0,035	0,104	0,099
4. Rifacimento All.to Laterizi Akragas S.p.A.	100	103,9	5,2	0.110	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 5,2 mm	0,04	0,025	0,083	0,075
5. Rifacimento All.to Comune di Agrigento	100	103,9	5,2	1.240	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 5,2 mm	0,05	0,035	0,104	0,099
6. Rifacimento Collegamento Impianto Riduzione di Joppolo	300	309,7	7,1	0.280	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 9,5 mm	0,053	0,038	0,109	0,103
7. Rifacimento All.to Comune di Aragona	150	154,1	7,1	0.050	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 7,1 mm	0,044	0,028	0,089	0,08
8. Ricollegamento All.to Comune di Comitini	100	103,9	5,2	0.030	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 5,2 mm	0,044	0,029	0,09	0,08
9. Rifacimento All.to M&A Rinnovabili	100	103,9	5,2	0.245	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 5,2 mm	0,059	0,044	0,119	0,112
10. Rifacimento All.to Comune di Campofranco	100	103,9	5,2	0.070	EN L360NB/MB	24	45	R=3DN, spessore 5,2 mm	0,048	0,032	0,096	0,085

Tab. 1.1B: Allacciamenti oggetto di studio e caratteristiche sismiche di progetto

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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 per il materiale del tubo, considerando tutti i carichi "primari" e contemporaneamente agenti (operativi ed esterni).

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 (edizione 2009) 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 "good engineering practice", 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_{cr} , data dalla seguente espressione (ASCE 1984):

$$\varepsilon_{cr} = 0,35 \frac{t}{D - t}$$

1.3 Elemento di Tubazione Rettilineo

Applicare i criteri di verifica proposti nelle Guidelines (ASCE 1984), 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 si deforma 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:

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Nella formula precedente 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:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 7 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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:

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

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 8 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Per ciascuna tubazione (diametro), le massime tensioni sismiche calcolate con le formule precedentemente riportate sono presentate nelle tabelle seguenti tabelle 1.3/A e 1.3/B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno ($a_{g,SLD}$ relativo ad un periodo di ritorno di 101 anni) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ($a_{g,SLV}$ relativo ad un periodo di ritorno di 949 anni).

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress assiale 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)
1. DN 300 (12")	2,65	0,01	5,31	0,00	5,31	0,01	7,97
2. DN 150 (6")	2,25	0,00	4,49	0,00	4,49	0,00	6,74
3. DN 150 (6")	1,79	0,00	3,57	0,00	3,57	0,00	5,36
4. DN 100 (4")	1,28	0,00	2,55	0,00	2,55	0,00	3,83
5. DN 100 (4")	1,79	0,00	3,57	0,00	3,57	0,00	5,36
6. DN 300 (12")	1,94	0,00	3,88	0,00	3,88	0,00	5,83
7. DN 150 (6")	1,43	0,00	2,86	0,00	2,86	0,00	4,29
8. DN 100 (4")	1,48	0,00	2,96	0,00	2,96	0,00	4,44
9. DN 100 (4")	2,25	0,00	4,49	0,00	4,49	0,00	6,74
10. DN 100 (4")	1,63	0,00	3,27	0,00	3,27	0,00	4,90

Tab. 1.3/A: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 9 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress assiale 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)
1. DN 300 (12")	6,84	0,01	13,68	0,00	13,68	0,01	20,54
2. DN 150 (6")	5,77	0,01	11,54	0,00	11,54	0,01	17,31
3. DN 150 (6")	5,05	0,00	10,11	0,00	10,11	0,00	15,17
4. DN 100 (4")	3,83	0,00	7,66	0,00	7,66	0,00	11,49
5. DN 100 (4")	5,05	0,00	10,11	0,00	10,11	0,00	15,17
6. DN 300 (12")	5,26	0,00	10,52	0,00	10,52	0,00	15,79
7. DN 150 (6")	4,08	0,00	8,17	0,00	8,17	0,00	12,26
8. DN 100 (4")	4,08	0,00	8,17	0,00	8,17	0,00	12,26
9. DN 100 (4")	5,72	0,00	11,44	0,00	11,44	0,00	17,16
10. DN 100 (4")	4,34	0,00	8,68	0,00	8,69	0,00	13,02

Tab. 1.3/B: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 10 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Combinando le tensioni di Tab. 1.3/A e 1.3/B secondo i criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti Tab. 1.3/C e 1.3/D sono presentati i risultati delle verifiche a scuotimento sismico (shaking) eseguite per ciascuna tubazione esaminata in corrispondenza del terremoto per lo Stato Limite di Danno e di quello per lo Stato Limite di Vita.

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, nei tratti rettilinei le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate allo scuotimento sismico atteso al terreno.

	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
Tubazione	S_v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_v/SMYS$ (adm)	ε (adm)	ε_{cr} (adm)	$\varepsilon/\varepsilon_{cr}$ (adm)
1. DN 300 (12")	135,23	360	0,38	4,85E-4	1,00E-3	0,49
2. DN 150 (6")	122,45	360	0,34	5,18E-4	1,00E-3	0,52
3. DN 150 (6")	121,10	360	0,34	5,11E-4	1,00E-3	0,51
4. DN 100 (4")	118,83	360	0,33	5,07E-4	1,00E-3	0,51
5. DN 100 (4")	120,34	360	0,33	5,14E-4	1,00E-3	0,51
6. DN 300 (12")	133,02	360	0,37	4,75E-4	1,00E-3	0,47
7. DN 150 (6")	120,05	360	0,33	5,06E-4	1,00E-3	0,51
8. DN 100 (4")	119,43	360	0,33	5,10E-4	1,00E-3	0,51
9. DN 100 (4")	121,69	360	0,34	5,21E-4	1,00E-3	0,52
10. DN 100 (4")	119,89	360	0,33	5,12E-4	1,00E-3	0,51

Tab. 1.3/C: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
Tubazione	S_v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_v/SMYS$ (adm)	ε (adm)	ε_{cr} (adm)	$\varepsilon/\varepsilon_{cr}$ (adm)
1. DN 300 (12")	146,86	360	0,41	5,47E-4	1,0E-3	0,55
2. DN 150 (6")	132,82	360	0,37	5,69E-4	1,0E-3	0,57
3. DN 150 (6")	130,71	360	0,36	5,59E-4	1,0E-3	0,56
4. DN 100 (4")	126,36	360	0,35	5,44E-4	1,0E-3	0,54
5. DN 100 (4")	129,98	360	0,36	5,62E-4	1,0E-3	0,56
6. DN 300 (12")	142,37	360	0,40	5,23E-4	1,0E-3	0,52
7. DN 150 (6")	127,85	360	0,36	5,45E-4	1,0E-3	0,54
8. DN 100 (4")	127,11	360	0,35	5,48E-4	1,0E-3	0,55
9. DN 100 (4")	131,94	360	0,37	5,72E-4	1,0E-3	0,57
10. DN 100 (4")	127,87	360	0,36	5,52E-4	1,0E-3	0,55

Tab. 1.3/D: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Il momento flettente sulla curva è:

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

K_1 è il fattore di intensificazione dello stress:

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

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 la curva di 90°.

In accordo al criterio di verifica riportato al paragrafo 1,2, la deformazione sismica è trasferita all'elemento curvo unitamente agli effetti delle condizioni operative massime in termini di temperatura, pressione e gravità.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 14 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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. 1.4/A e Tab. 1.4/B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno ($a_{g,SLD}$) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ($a_{g,SLV}$).

Tubazione	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
1. DN 300 (12")	4,85E-4	25,6	84,3	28,2	8,99	71,99
2. DN 150 (6")	5,18E-4	23,8	38,9	14,2	10,81	143,14
3. DN 150 (6")	5,11E-4	23,3	38,1	13,9	10,59	140,24
4. DN 100 (4")	5,07E-4	17,3	16,8	5,1	9,41	145,90
5. DN 100 (4")	5,14E-4	17,7	17,2	5,2	9,64	149,35
6. DN 300 (12")	4,75E-4	24,9	81,8	27,4	8,72	69,85
7. DN 150 (6")	5,06E-4	22,9	37,5	13,7	10,42	137,99
8. DN 100 (4")	5,10E-4	17,5	16,9	5,1	9,50	147,28
9. DN 100 (4")	5,21E-4	18,1	17,5	5,3	9,84	152,48
10. DN 100 (4")	5,12E-4	17,6	17,1	5,2	9,57	148,31

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA'	REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO	RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 15 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tubazione	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
1. DN 300 (12")	5,47E-4	30,3	99,6	33,4	10,61	85,02
2. DN 150 (6")	5,69E-4	27,6	45,1	16,5	12,54	166,09
3. DN 150 (6")	5,59E-4	26,8	43,8	16,0	12,18	161,33
4. DN 100 (4")	5,44E-4	19,4	18,8	5,7	10,55	163,44
5. DN 100 (4")	5,62E-4	20,4	19,8	6,0	11,11	172,13
6. DN 300 (12")	5,23E-4	28,4	93,7	31,4	9,99	80,00
7. DN 150 (6")	5,45E-4	25,7	42,1	15,4	11,70	154,96
8. DN 100 (4")	5,48E-4	19,6	19,0	5,8	10,66	165,24
9. DN 100 (4")	5,72E-4	21,0	20,3	6,2	11,42	176,90
10. DN 100 (4")	5,52E-4	19,8	19,2	5,8	10,78	167,04

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 16 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Con i valori in Tab. 1.4/A e in Tab. 1.4/B, sono stati calcolati gli stati tensionali indotti sulle tubazioni in accordo ai contenuti del paragrafo 1.4.

Nelle Tabelle 1.4/C e Tab. 1.4/D, per ciascuna linea esaminata, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali corrispondenti al terremoto per lo Stato Limite di Danno e a quello per lo Stato Limite di Vita.

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate allo scuotimento sismico atteso al terreno

	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
Tubazione	D (mm)	S_v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	$S_v/SMYS$ (adm)
1. DN 300 (12")	323,9	196,09	360	0,54
2. DN 150 (6")	168.3	264,38	360	0,73
3. DN 150 (6")	168.3	261,28	360	0,73
4. DN 100 (4")	114.3	265,58	360	0,74
5. DN 100 (4")	114.3	269,24	360	0,75
6. DN 300 (12")	323.9	193,75	360	0,54
7. DN 150 (6")	168.3	258,88	360	0,72
8. DN 100 (4")	114.3	267,04	360	0,74
9. DN 100 (4")	114.3	272,56	360	0,76
10. DN 100 (4")	114.3	269,14	360	0,74

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 17 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
Tubazione	D (mm)	S _v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	S _v /SMYS (adm)
1. DN 300 (12")	323,9	210,34	360	0,58
2. DN 150 (6")	168.3	288,97	360	0,80
3. DN 150 (6")	168.3	283,87	360	0,79
4. DN 100 (4")	114.3	284,19	360	0,79
5. DN 100 (4")	114.3	293,41	360	0,82
6. DN 300 (12")	323.9	204,85	360	0,57
7. DN 150 (6")	168.3	277,04	360	0,77
8. DN 100 (4")	114.3	286,10	360	0,79
9. DN 100 (4")	114.3	298,48	360	0,83
10. DN 100 (4")	114.3	288.01	360	0,80

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-SIS-E-03024 ANNESSO 1	
	PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 18 di 18	Rev. 1

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

2 Conclusioni

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità delle condotte 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 presentate in Tab. 1.1B per lo Stato Limite di Danno e lo Stato Limite di Vita.

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, si avvicinano i 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.

Si rileva a tale proposito che le tubazioni Snam Rete Gas sono periodicamente controllate dall'interno con apparecchiature automatiche che rilevano qualsiasi variazione di spessore dell'acciaio ed i fenomeni corrosivi eventualmente in atto.