

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

ANNESSO 1

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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 interrato in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati elaborati per tutti i diametri e 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.

Pur non essendo contemporanee, conservativamente tutte le onde sono considerate contemporaneamente agenti unitamente all'esercizio massimo previsto per le condotte

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, e ne massimizzano gli effetti sulla tubazione trascurando (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno che ridurrebbe le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta.

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 3 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

1.1 Dati di Input

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche e operative comuni alle tubazioni analizzate:

Modulo elastico di Young, E	N/mm ²	201440 (*)
Coefficiente di Poisson, ν	adm	0,3
Coefficiente dilatazione termica, α	mm/mm/°C	1,12 E-5 (*)
Peso specifico tubazioni, γ_p	kg/m ³	7850
Pressione di progetto, P	bar	75
Differenza temperatura, ΔT	°C	45
Snervamento acciaio tubo, EN L415NB/MB	N/mm ²	415
Snervamento acciaio tubo, EN L360NB/MB	N/mm ²	360

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

Nota (*): *il modulo di Young e il coefficiente di dilatazione termica sono stati valutati per la temperatura utilizzata in accordo alle normative applicabili*

Le caratteristiche geometriche delle tubazioni (diametro, spessore e raggio delle curve stampate), unitamente alla rispettiva caratterizzazione sismica per i periodi di ritorno corrispondenti allo stato limite di danno (SLD) e a quello di vita (SLV), sono mostrate in Tab. 1.1/B.

Conservativamente, tutti i tubi sono stati considerati nelle verifiche a prescindere dalle effettive lunghezze dei tratti che, a volte, presumibilmente non risultano sufficienti per trasferire al tubo le deformazioni provocate dal sisma sul terreno.

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	Altezza minima di copertura
$\gamma_s = 18000 \text{ N/m}^3$	Peso specifico del terreno di reinterro
$\delta = 18^\circ$	Angolo di attrito tubo-terreno
$K_0 = 0,5$	Coefficiente di spinta a risposo

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Sulla base dei dati relativi alla sismicità storica e strumentale, sono state calcolate le massime accelerazioni e le massime velocità attese al suolo (a_{max} e v_{max}) lungo il tracciato della tubazione a seguito dell'evento sismico corrispondente sia allo Stato Limite di Danno (SLD, per un periodo di ritorno di 101 anni), che allo Stato Limite di Vita (SLV, per un periodo di ritorno di 949 anni).

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

Linea principale	DN	De (mm)	Spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	ΔT_{op} (°C) [1]	Curve	TR (anni) = 101		TR (anni) = 949	
									a_{max} (g)	v_{max} (m/s)	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)
Met. Livorno Piombino	750	762	14,3	84,24	EN L415NB/MB	75	45	7 DN	0,135	0,088	0,301	0,209
Allacciamenti	DN	Di (mm)	spess. (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	ΔT_{op} (°C) [1]	Curve	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)	a_{max} (g)	v_{max} (m/s)
Ricollegamento All. Rosen Rosignano	400	384,2	11,1	0,785	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,098	0,064	0,281	0,161
Variante inserimento PIDI su met. Rosen Rosignano	400	384,2	11,1	0,080	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,094	0,062	0,221	0,154
Nuova Der. All. Rosen Rosignano	250	257,5	7,8	0,820	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,094	0,062	0,221	0,154
Rif. All. Solvay Rosignano	150	154,1	7,1	0,065	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,094	0,062	0,221	0,154
Rif. All. Solvay chimica Rosignano	150	154,1	7,1	0,055	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,094	0,062	0,221	0,154
Rif. All. Comune di Rosignano	100	103,9	5,2	0,025	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,094	0,062	0,221	0,154
Rif. All. Tirrenomet.	100	103,9	5,2	0,770	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	0,094	0,062	0,221	0,154

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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:

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 7 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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":

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

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

Combinando le tensioni di Tab. 1.3/A e Tab. 1.3/B secondo i criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti (si vedano Tab. 1.3/C e Tab. 1.3/D) sono presentati i risultati delle verifiche a scuotimento sismico (shaking) eseguite per ciascuna linea 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 8 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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)	
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	4,43	0,03	8,86	0,01	8,86	0,03	13,33
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	3,22	0,01	6,45	0,01	6,45	0,01	9,68
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	3,12	0,01	6,24	0,01	6,24	0,01	9,38
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	3,12	0,01	6,24	0,01	6,24	0,01	9,38
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	3,12	0,01	6,24	0,01	6,24	0,01	9,38

Tab. 1.3/A: 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 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)	
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	10,53	0,06	21,05	0,02	21,05	0,06	31,66
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	8,11	0,03	16,22	0,01	16,22	0,03	24,37
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	7,76	0,01	15,51	0,01	15,51	0,01	23,29
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	7,76	0,01	15,51	0,01	15,51	0,01	23,29
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	7,76	0,01	15,51	0,01	15,51	0,01	23,29

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 9 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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 _{cr} (adm)	ε/ε _{cr} (adm)
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	232,20	415	0,56	2,73E-4	1,00E-3	0,27
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	182,67	360	0,51	3,48E-4	1,00E-3	0,35
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	178,15	360	0,49	3,55E-4	1,00E-3	0,36
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	149,94	360	0,42	4,18E-4	1,00E-3	0,42
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	146,02	360	0,41	4,28E-4	1,00E-3	0,43

Tab. 1.3/C: 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 _{cr} (adm)	ε/ε _{cr} (adm)
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	244,80	415	0,59	3,64E-4	1,00E-3	0,36
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	194,05	360	0,54	4,20E-4	1,00E-3	0,42
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	189,07	360	0,53	4,24E-4	1,00E-3	0,42
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	162,03	360	0,49	4,87E-4	1,00E-3	0,49
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	158,30	360	0,44	4,97E-4	1,00E-3	0,50

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 10 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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),

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

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

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:

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

K_1 è il fattore di intensificazione dello stress:

$$K_1 = \frac{2}{3K^*} \left\{ 3 \left[\frac{6}{5 + 6 \left(t_{r_0} / R^2 \right)^2} \right] \right\}^{-1/2}$$

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 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.

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

Con i valori delle tabelle 1.4/A e 1.4/B, in accordo ai criteri descritti al paragrafo 1.2, in Tab. 1.4/C e Tab. 1.4/D sono presentati i risultati dei calcoli degli stati tensionali indotti sulle tubazioni.

Per ciascuna delle linee esaminate, nelle tabelle 1.4/C e 1.4/D 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Tubazione	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	7,41E-4	64,4	662,4	253,5	19,72	51,47
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	6,61E-4	42,3	201,7	81,8	14,63	113,50
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	6,53E-4	31,1	85,30	27,60	13,13	123,90
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	6,11E-4	25,8	42,10	15,30	11,70	153,90
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	6,05E-4	19,4	18,80	5,70	10,52	162,19

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

Tubazione	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	8,32E-4	78,6	808,6	309,4	24,07	62,83
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	7,34E-4	50,6	241,0	97,7	17,48	135,62
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	7,22E-4	37,0	101,3	32,8	15,59	147,18
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	6,80E-4	31,1	50,6	18,4	14,07	185,11
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	6,74E-4	23,5	22,6	6,8	12,70	195,83

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/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	S _v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	S _v /SMYS (adm)
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	762,0	248,48	415	0,60
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	406,40	263,58	360	0,73
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	273,05	269,29	360	0,75
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	168,27	283,32	360	0,79
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	114,3	288,74	360	0,80

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

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	S _v (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	S _v /SMYS (adm)
DN 750 (30"/spess.14.3 mm)	762,0	259,98	415	0,63
DN 400 (16"/spess.11.1 mm)	406,40	286,08	360	0,79
DN 250 (10"/spess.7.8 mm)	273,05	292,84	360	0,81
DN 150 (6"/spess.7.1 mm)	168,27	315,77	360	0,88
DN 100 (4"/spess.5.2 mm)	114,3	323,57	360	0,90

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA	REL-SIS-E-030024	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 14 di 14	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-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 nella tabella 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 sono periodicamente controllate dall'interno con apparecchiature automatiche che rilevano qualsiasi variazione di spessore dell'acciaio ed i fenomeni corrosivi eventualmente in atto.