

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b>	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 1 di 22

**Rifacimento metanodotto Ravenna – Chieti**  
**Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto**  
**DN 650 (26"), DP 75 bar**  
**ed opere connesse**

**Progetto di fattibilità tecnica ed economica**

**Annesso C**

**Relazione sismica: verifica strutturale allo scuotimento sismico**

0	Emissione	D'Alberto	Brunetti	Sciosci	Nov. '17
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b>	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 2 di 22

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>22</b>

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b>	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 3 di 22

## 1 **PREMESSA**

Nel presente Annesso al Progetto di fattibilità tecnica ed economica del “Rifacimento metanodotto Ravenna – Chieti, tratto Recanati – San Benedetto del Tronto DN 650 (26”), DP 75 bar ed opere connesse” si fornisce un approfondimento in merito alla compatibilità strutturale delle condotte in acciaio in riferimento alle sollecitazioni indotte da un evento sismico, rimandando alla consultazione del par. 2.3.3, Sez. III, dello Studio di Impatto Ambientale (vedi SPC. LA-E-83010) per i dettagli sulla caratterizzazione della sismicità del territorio in cui l’opera si colloca.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 4 di 22	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2 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.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 5 di 22	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

### Dati di Input

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

**Tab. 2/A: Caratteristiche delle tubazioni e condizioni di progetto**

Modulo elastico di Young, E	N/mm <sup>2</sup>	206000
Coefficiente di Poisson, $\nu$	adm	0,3
Coefficiente dilatazione termica, $\alpha$	mm/mm/°C	1.17 E-5
Peso specifico tubazioni, $\gamma_p$	kg/m <sup>3</sup>	7850
Pressione di progetto, P	bar	75
Differenza temperatura, $\Delta T$	°C	45
Snervamento acciaio tubo, EN L415NB/MB	N/mm <sup>2</sup>	415
Snervamento acciaio tubo, EN L360NB/MB	N/mm <sup>2</sup>	360

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. 2/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 riinterro 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 N/m<sup>3</sup> Peso specifico del terreno di riinterro
- $\delta$  = 21° Angolo di attrito tubo-terreno
- $K_0$  = 0,5 Coefficiente di spinta a riposo

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.

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

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b>	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 6 di 22

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

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Marche		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 7 di 22 Rev. 0

**Tab. 2/B: Allacciamenti oggetto di studio e caratteristiche sismiche di progetto**

Linea principale	DN	De (mm)	Spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	ΔT (°C)	Curve	TR (anni) = 101		TR (anni) = 975	
									a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)
<b>1. Tratto Recanati - San Benedetto del Tronto</b>	<b>650</b>	<b>660.4</b>	<b>11.1</b>	<b>76.70</b>	<b>EN L415NB/MB</b>	<b>75</b>	<b>45</b>	<b>7 DN</b>	<b>0.161</b>	<b>0.118</b>	<b>0.381</b>	<b>0.293</b>
Allacciamenti	DN	Di (mm)	Spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	ΔT (°C)	Curve	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)
2. Rif. Comune di Recanati 2° presa	100	103.9	5.2	0.92	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.138</b>	<b>0.100</b>	<b>0.319</b>	<b>0.245</b>
3. Nuovo Coll. Simonetti Mario	100	103.9	5.2	0.57	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.110</b>	<b>0.072</b>	<b>0.276</b>	<b>0.190</b>
4. Coll. Deriv. per Potenza Picena	200	205.1	7.0	0.17	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.138</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.243</b>
5. Rif. Met. Montelupone Arcalgas 1° presa	100	103.9	5.2	1.09	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.138</b>	<b>0.101</b>	<b>0.318</b>	<b>0.243</b>
6. Coll. Comune di Morrovalle	100	103.9	5.2	0.67	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.138</b>	<b>0.103</b>	<b>0.318</b>	<b>0.243</b>
7. Rif. Deriv. per Civitanova Marche (1° tratto)	100	103.9	5.2	3.00	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.138</b>	<b>0.101</b>	<b>0.318</b>	<b>0.244</b>
8. Rif. AMA Civitanova Marche	100	103.9	5.2	0.01	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.137</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.243</b>
9. Nuovo Coll. SIG Montecosaro	100	103.9	5.2	0.22	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.137</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.244</b>
10. Rif. Gas Plus di Montecosaro	100	103.9	5.2	0.03	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.137</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.244</b>
11. Rif. Top Fondi Spa Montecosaro	100	103.9	5.2	0.35	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.137</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.244</b>
12. Coll. Civitanova Marche 2° presa	150	154.1	7.1	0.06	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.137</b>	<b>0.101</b>	<b>0.318</b>	<b>0.243</b>
13. Coll. Comune di Montesangusto	150	154.1	7.1	0.08	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.137</b>	<b>0.102</b>	<b>0.318</b>	<b>0.243</b>
14. Rif. Comune di S. Elpidio a Mare	150	154.1	7.1	2.31	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.109</b>	<b>0.073</b>	<b>0.275</b>	<b>0.190</b>
15. Coll. Comune di Montegranaro	100	103.9	5.2	0.01	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.109</b>	<b>0.073</b>	<b>0.275</b>	<b>0.190</b>
16. Coll. Beyfin (S. Elpidio a Mare)	100	103.9	5.2	0.10	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.109</b>	<b>0.073</b>	<b>0.275</b>	<b>0.190</b>
17. Coll. Comune di Porto Sant'Elpidio	150	154.1	7.1	0.07	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.109</b>	<b>0.073</b>	<b>0.274</b>	<b>0.189</b>
18. Coll. Pot. Deriv. per Montegiorgio	150	154.1	7.1	0.05	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.134</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.245</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche	<b>SPC. LA-E-83016</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto	Fg. 8 di 22	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 2/B: Allacciamenti oggetto di studio e caratteristiche sismiche di progetto (seguito)**

Allacciamenti	DN	Di (mm)	Spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	ΔT (°C)	Curve	TR (anni) = 101		TR (anni) = 975	
									a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)
19. Coll. temporaneo DN 26" esistente	300	304.9	9.5	0.03	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.134</b>	<b>0.100</b>	<b>0.319</b>	<b>0.245</b>
20. Coll. SGI DN 150 (6")	150	154.1	7.1	0.02	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.134</b>	<b>0.100</b>	<b>0.318</b>	<b>0.245</b>
21. Coll. Deriv. Per Montegiorgio 1° tratto	150	154.1	7.1	0.03	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.107</b>	<b>0.071</b>	<b>0.276</b>	<b>0.192</b>
22. Coll. Fermo 1° presa	100	103.9	5.2	1.41	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.135</b>	<b>0.098</b>	<b>0.357</b>	<b>0.275</b>
23. Rif. Coll. Pozzi ELF S. Giorgio a Mare	250	257.5	7.8	2.64	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.132</b>	<b>0.097</b>	<b>0.316</b>	<b>0.243</b>
24. Coll. CoMeTra (Fermo)	100	103.9	5.2	0.06	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.132</b>	<b>0.097</b>	<b>0.316</b>	<b>0.242</b>
25. Coll. Comune di Campofilone	100	103.9	5.2	0.08	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.131</b>	<b>0.097</b>	<b>0.316</b>	<b>0.244</b>
26. Nuovo Collegamento ENI Campofilone	100	103.9	5.2	0.02	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.104</b>	<b>0.070</b>	<b>0.274</b>	<b>0.191</b>
27. Nuovo Coll. Cent.le AGIP Carassai	150	154.1	7.1	0.08	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.125</b>	<b>0.084</b>	<b>0.330</b>	<b>0.232</b>
28. Coll. Comune di Cupra Marittima	100	103.9	5.2	0.05	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.131</b>	<b>0.098</b>	<b>0.318</b>	<b>0.247</b>
29. Rif. Comune di Grottammare	100	103.9	5.2	1.11	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.105</b>	<b>0.071</b>	<b>0.277</b>	<b>0.195</b>
30. Nuovo Coll. Cent.le AGIP Grottammare	250	257.5	7.8	0.97	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.159</b>	<b>0.120</b>	<b>0.383</b>	<b>0.299</b>
31. Coll. LIS Lavanderia (Grottammare)	100	103.9	5.2	0.14	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.132</b>	<b>0.100</b>	<b>0.320</b>	<b>0.249</b>
32. Coll. Ciarocchi Vivai (San Benedetto del Tronto)	100	103.9	5.2	0.17	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.106</b>	<b>0.072</b>	<b>0.274</b>	<b>0.195</b>
33. Coll. Comune di San Benedetto del Tronto 2° presa	100	103.9	5.2	0.69	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.106</b>	<b>0.073</b>	<b>0.273</b>	<b>0.196</b>
34. Rif. Comune di San Benedetto del Tronto 1° presa	100	103.9	5.2	0.07	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.106</b>	<b>0.073</b>	<b>0.274</b>	<b>0.197</b>
35. Nuovo Coll. Cent.le AGIP San Benedetto del Tronto	250	257.5	7.8	0.52	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.133</b>	<b>0.101</b>	<b>0.354</b>	<b>0.281</b>
36. Coll. Deriv. per Ascoli Piceno 1° tratto DN 200 (8")	200	205.1	7.0	0.74	EN L360NB/MB	75	45	3 DN	<b>0.134</b>	<b>0.102</b>	<b>0.317</b>	<b>0.251</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 9 di 22

### 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:

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

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,  $\sigma_Y$ , (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”, un'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,  $\epsilon$ .

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni d'instabilità possono accadere per una deformazione di compressione,  $\epsilon_{cr}$ , data dalla seguente espressione (ASCE 1984):

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

### 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:

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 10 di 22  Rev. <b>0</b>

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

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

Nella formula precedente  $\vartheta$  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  $\vartheta$ , i valori massimi delle tensioni  $\sigma_a$  e  $\sigma_b$  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  $\vartheta$ , i valori massimi delle tensioni  $\sigma_a$  e  $\sigma_b$  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:

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b>	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 11 di 22

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

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 ciascuna linea (diametro), le massime tensioni sismiche calcolate con le formule sopra riportate sono presentate nelle tabelle seguenti tabelle 2/C e 2/D, 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 975 anni).

Combinando le tensioni delle Tabelle 2/C e 2/D in accordo ai criteri descritti al paragrafo precedente, nelle Tabelle 2/E e 2/F 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 salvaguardia della Vita.

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, nei tratti rettilinei le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Marche		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 12 di 22 Rev. 0

**Tab. 2/C: 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 di Rayleigh R		Stress assiale sismico totale $\sigma_{sism}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
DN 650 (26") <sup>1</sup>	6,02	0,03	12,05	0,01	12,05	0,03	18,11
DN 100 (4") <sup>2</sup>	5,11	0,00	10,21	0,00	10,21	0,00	15,32
DN 100 (4") <sup>3</sup>	3,68	0,00	7,35	0,00	7,35	0,00	11,03
DN 200 (8") <sup>4</sup>	5,11	0,01	10,21	0,00	10,21	0,01	15,33
DN 100 (4") <sup>5</sup>	5,16	0,00	10,31	0,00	10,31	0,00	15,47
DN 100 (4") <sup>6</sup>	5,26	0,00	10,52	0,00	10,52	0,00	15,78
DN 100 (4") <sup>7</sup>	5,16	0,00	10,31	0,00	10,31	0,00	15,47
DN 100 (4") <sup>8</sup>	5,11	0,00	10,21	0,00	10,21	0,00	15,32
DN 100 (4") <sup>9</sup>	5,11	0,00	10,21	0,00	10,21	0,00	15,32
DN 100 (4") <sup>10</sup>	5,11	0,00	10,21	0,00	10,21	0,00	15,32
DN 100 (4") <sup>11</sup>	5,11	0,00	10,21	0,00	10,21	0,00	15,32
DN 150 (6") <sup>12</sup>	5,16	0,01	10,31	0,00	10,31	0,01	15,48
DN 150 (6") <sup>13</sup>	5,21	0,01	10,41	0,00	10,41	0,01	15,63
DN 150 (6") <sup>14</sup>	3,73	0,00	7,45	0,00	7,45	0,00	11,19
DN 100 (4") <sup>15</sup>	3,73	0,00	7,45	0,00	7,45	0,00	11,18
DN 100 (4") <sup>16</sup>	3,73	0,00	7,45	0,00	7,45	0,00	11,18
DN 150 (6") <sup>17</sup>	3,73	0,00	7,45	0,00	7,45	0,00	11,19
DN 150 (6") <sup>18</sup>	5,11	0,01	10,21	0,00	10,21	0,01	15,32
DN 300 (12") <sup>19</sup>	5,11	0,01	10,21	0,00	10,21	0,01	15,33
DN 150 (6") <sup>20</sup>	5,11	0,01	10,21	0,00	10,21	0,01	15,32
DN 150 (6") <sup>21</sup>	3,62	0,00	7,25	0,00	7,25	0,00	10,88
DN 100 (4") <sup>22</sup>	5,00	0,00	10,01	0,00	10,01	0,00	15,01
DN 250 (10") <sup>23</sup>	4,95	0,01	9,90	0,00	9,90	0,01	14,87
DN 100 (4") <sup>24</sup>	4,95	0,00	9,90	0,00	9,90	0,00	14,86
DN 100 (4") <sup>25</sup>	4,59	0,00	9,90	0,00	9,90	0,00	14,86
DN 100 (4") <sup>26</sup>	3,57	0,00	7,15	0,00	7,15	0,00	10,72
DN 150 (6") <sup>27</sup>	4,29	0,01	8,58	0,00	8,58	0,01	12,87
DN 100 (4") <sup>28</sup>	5,00	0,00	10,01	0,00	10,01	0,00	15,01
DN 100 (4") <sup>29</sup>	3,62	0,00	7,25	0,00	7,25	0,00	10,88
DN 250 (10") <sup>30</sup>	6,13	0,01	12,25	0,00	12,25	0,00	18,39
DN 100 (4") <sup>31</sup>	5,11	0,00	10,21	0,00	10,21	0,00	15,32
DN 100 (4") <sup>32</sup>	3,68	0,00	7,35	0,00	7,35	0,00	11,03
DN 100 (4") <sup>33</sup>	3,73	0,00	7,45	0,00	7,45	0,00	11,18
DN 100 (4") <sup>34</sup>	3,73	0,00	7,45	0,00	7,45	0,00	11,18
DN 250 (10") <sup>35</sup>	5,16	0,01	10,31	0,00	10,31	0,01	15,48
DN 200 (8") <sup>36</sup>	5,21	0,01	10,41	0,00	10,41	0,01	15,63

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 13 di 22

**Tab. 2/D: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde di Rayleigh R		Stress assiale sismico totale $\sigma_{sism}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
DN 650 (26") <sup>1</sup>	14,96	0,06	29,92	0,02	29,92	0,06	44,97
DN 100 (4") <sup>2</sup>	12,51	0,01	25,01	0,00	25,01	0,01	37,54
DN 100 (4") <sup>3</sup>	9,70	0,01	19,40	0,00	19,40	0,01	29,11
DN 200 (8") <sup>4</sup>	12,41	0,02	24,81	0,01	24,81	0,02	37,24
DN 100 (4") <sup>5</sup>	12,41	0,01	24,81	0,00	24,81	0,01	37,23
DN 100 (4") <sup>6</sup>	12,41	0,01	24,81	0,00	24,81	0,01	37,23
DN 100 (4") <sup>7</sup>	12,46	0,01	24,91	0,00	24,91	0,01	37,38
DN 100 (4") <sup>8</sup>	12,41	0,01	24,81	0,00	24,81	0,01	37,23
DN 100 (4") <sup>9</sup>	12,46	0,01	24,91	0,00	24,91	0,01	37,38
DN 100 (4") <sup>10</sup>	12,46	0,01	24,91	0,00	24,91	0,01	37,38
DN 100 (4") <sup>11</sup>	12,46	0,01	24,91	0,00	24,91	0,01	37,38
DN 150 (6") <sup>12</sup>	12,41	0,01	24,81	0,01	24,81	0,01	37,24
DN 150 (6") <sup>13</sup>	12,41	0,01	24,81	0,01	24,81	0,01	37,24
DN 150 (6") <sup>14</sup>	9,70	0,01	19,40	0,00	19,40	0,01	29,12
DN 100 (4") <sup>15</sup>	9,70	0,01	19,40	0,00	19,40	0,01	29,11
DN 100 (4") <sup>16</sup>	9,70	0,01	19,40	0,00	19,40	0,01	29,11
DN 150 (6") <sup>17</sup>	9,65	0,01	19,30	0,00	19,30	0,01	28,96
DN 150 (6") <sup>18</sup>	12,51	0,01	25,01	0,01	25,01	0,01	37,54
DN 300 (12") <sup>19</sup>	12,51	0,03	25,01	0,01	25,01	0,03	37,56
DN 150 (6") <sup>20</sup>	12,51	0,01	25,01	0,01	25,01	0,01	37,54
DN 150 (6") <sup>21</sup>	9,80	0,01	19,60	0,00	19,60	0,01	29,42
DN 100 (4") <sup>22</sup>	14,04	0,01	28,08	0,00	28,08	0,01	42,12
DN 250 (10") <sup>23</sup>	12,41	0,02	24,81	0,01	24,81	0,02	37,25
DN 100 (4") <sup>24</sup>	12,35	0,01	24,71	0,00	24,71	0,01	37,08
DN 100 (4") <sup>25</sup>	12,46	0,01	24,91	0,00	24,91	0,01	37,38
DN 100 (4") <sup>26</sup>	9,75	0,01	19,50	0,00	19,50	0,01	29,26
DN 150 (6") <sup>27</sup>	11,84	0,01	23,69	0,01	23,69	0,01	35,55
DN 100 (4") <sup>28</sup>	12,61	0,01	25,22	0,00	25,22	0,01	37,84
DN 100 (4") <sup>29</sup>	9,95	0,01	19,91	0,00	19,91	0,01	29,88
DN 250 (10") <sup>30</sup>	12,56	0,03	30,53	0,01	30,53	0,03	45,83
DN 100 (4") <sup>31</sup>	12,71	0,01	25,42	0,00	25,42	0,01	38,15
DN 100 (4") <sup>32</sup>	9,95	0,01	19,91	0,00	19,91	0,01	29,88
DN 100 (4") <sup>33</sup>	10,01	0,01	20,01	0,00	20,01	0,01	30,03
DN 100 (4") <sup>34</sup>	10,06	0,01	20,11	0,00	20,11	0,01	30,18
DN 250 (10") <sup>35</sup>	14,35	0,02	28,69	0,01	28,69	0,02	43,07
DN 200 (8") <sup>36</sup>	12,81	0,02	25,63	0,01	25,63	0,02	38,47

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 14 di 22

**Tab. 2/E: 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 <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	$S_v/SMYS$ (adm)	$\epsilon$ (adm)	$\epsilon_{cr}$ (adm)	$\epsilon/\epsilon_{cr}$ (adm)
DN 650 (26") <sup>1</sup>	254,50	415	0,61	2,65E-4	1,0E-3	0,26
DN 100 (4") <sup>2</sup>	152,47	360	0,42	4,58E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>3</sup>	148,69	360	0,41	4,37E-4	1,0E-3	0,44
DN 200 (8") <sup>4</sup>	174,40	360	0,48	4,07E-4	1,0E-3	0,41
DN 100 (4") <sup>5</sup>	152,60	360	0,42	4,59E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>6</sup>	152,87	360	0,42	4,60E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>7</sup>	152,60	360	0,42	4,59E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>8</sup>	152,47	360	0,42	4,58E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>9</sup>	152,47	360	0,42	4,58E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>10</sup>	152,47	360	0,42	4,58E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>11</sup>	152,47	360	0,42	4,58E-4	1,0E-3	0,46
DN 150 (6") <sup>12</sup>	156,43	360	0,43	4,49E-4	1,0E-3	0,45
DN 150 (6") <sup>13</sup>	156,56	360	0,43	4,50E-4	1,0E-3	0,45
DN 150 (6") <sup>14</sup>	152,71	360	0,42	4,28E-4	1,0E-3	0,43
DN 100 (4") <sup>15</sup>	148,82	360	0,41	4,38E-4	1,0E-3	0,44
DN 100 (4") <sup>16</sup>	148,82	360	0,41	4,38E-4	1,0E-3	0,44
DN 150 (6") <sup>17</sup>	152,71	360	0,42	4,28E-4	1,0E-3	0,43
DN 150 (6") <sup>18</sup>	156,29	360	0,43	4,48E-4	1,0E-3	0,45
DN 300 (12") <sup>19</sup>	181,51	360	0,50	3,91E-4	1,0E-3	0,39
DN 150 (6") <sup>20</sup>	156,29	360	0,43	4,48E-4	1,0E-3	0,45
DN 150 (6") <sup>21</sup>	152,44	360	0,42	4,27E-4	1,0E-3	0,43
DN 100 (4") <sup>22</sup>	152,20	360	0,42	4,56E-4	1,0E-3	0,46
DN 250 (10") <sup>23</sup>	183,52	360	0,51	3,84E-4	1,0E-3	0,38
DN 100 (4") <sup>24</sup>	152,06	360	0,42	4,56E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>25</sup>	152,06	360	0,42	4,56E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>26</sup>	148,42	360	0,41	4,35E-4	1,0E-3	0,44
DN 150 (6") <sup>27</sup>	154,16	360	0,43	4,36E-4	1,0E-3	0,44
DN 100 (4") <sup>28</sup>	152,20	360	0,42	4,56E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>29</sup>	148,56	360	0,41	4,36E-4	1,0E-3	0,44
DN 250 (10") <sup>30</sup>	186,30	360	0,52	4,01E-4	1,0E-3	0,40
DN 100 (4") <sup>31</sup>	152,47	360	0,42	4,58E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>32</sup>	148,69	360	0,41	4,37E-4	1,0E-3	0,44
DN 100 (4") <sup>33</sup>	148,82	360	0,41	4,38E-4	1,0E-3	0,44
DN 100 (4") <sup>34</sup>	148,82	360	0,41	4,38E-4	1,0E-3	0,44
DN 250 (10") <sup>35</sup>	184,00	360	0,51	3,87E-4	1,0E-3	0,39
DN 200 (8") <sup>36</sup>	174,65	360	0,49	4,08E-4	1,0E-3	0,41

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 15 di 22

**Tab. 2/F: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	$S_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	$S_v/SMYS$ (adm)	$\epsilon$ (adm)	$\epsilon_{cr}$ (adm)	$\epsilon/\epsilon_{cr}$ (adm)
DN 650 (26") <sup>1</sup>	272,75	415	0,66	3,96E-4	1,00E-3	0,40
DN 100 (4") <sup>2</sup>	172,41	360	0,48	5,67E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>3</sup>	164,78	360	0,46	5,25E-4	1,00E-3	0,53
DN 200 (8") <sup>4</sup>	192,64	360	0,54	5,14E-4	1,00E-3	0,51
DN 100 (4") <sup>5</sup>	172,13	360	0,48	5,65E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>6</sup>	172,13	360	0,48	5,65E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>7</sup>	172,27	360	0,48	5,66E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>8</sup>	172,13	360	0,48	5,65E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>9</sup>	172,27	360	0,48	5,66E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>10</sup>	172,27	360	0,48	5,66E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>11</sup>	172,27	360	0,48	5,66E-4	1,00E-3	0,57
DN 150 (6") <sup>12</sup>	175,69	360	0,49	5,56E-4	1,00E-3	0,56
DN 150 (6") <sup>13</sup>	175,69	360	0,49	5,56E-4	1,00E-3	0,56
DN 150 (6") <sup>14</sup>	168,43	360	0,47	5,16E-4	1,00E-3	0,52
DN 100 (4") <sup>15</sup>	164,78	360	0,46	5,25E-4	1,00E-3	0,53
DN 100 (4") <sup>16</sup>	164,78	360	0,46	5,25E-4	1,00E-3	0,53
DN 150 (6") <sup>17</sup>	168,30	360	0,47	5,15E-4	1,00E-3	0,52
DN 150 (6") <sup>18</sup>	175,97	360	0,49	5,57E-4	1,00E-3	0,56
DN 300 (12") <sup>19</sup>	199,58	360	0,55	5,00E-4	1,00E-3	0,50
DN 150 (6") <sup>20</sup>	175,97	360	0,49	5,57E-4	1,00E-3	0,56
DN 150 (6") <sup>21</sup>	168,70	360	0,47	5,17E-4	1,00E-3	0,52
DN 100 (4") <sup>22</sup>	176,60	360	0,49	5,89E-4	1,00E-3	0,59
DN 250 (10") <sup>23</sup>	201,56	360	0,56	4,94E-4	1,00E-3	0,49
DN 100 (4") <sup>24</sup>	171,99	360	0,48	5,64E-4	1,00E-3	0,56
DN 100 (4") <sup>25</sup>	172,27	360	0,48	5,66E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>26</sup>	164,92	360	0,46	5,26E-4	1,00E-3	0,53
DN 150 (6") <sup>27</sup>	174,18	360	0,48	5,48E-4	1,00E-3	0,55
DN 100 (4") <sup>28</sup>	172,69	360	0,48	5,68E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>29</sup>	165,47	360	0,46	5,29E-4	1,00E-3	0,53
DN 250 (10") <sup>30</sup>	208,70	360	0,58	5,36E-4	1,00E-3	0,54
DN 100 (4") <sup>31</sup>	172,97	360	0,48	5,70E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>32</sup>	165,47	360	0,46	5,29E-4	1,00E-3	0,53
DN 100 (4") <sup>33</sup>	165,61	360	0,46	5,30E-4	1,00E-3	0,53
DN 100 (4") <sup>34</sup>	165,74	360	0,46	5,31E-4	1,00E-3	0,53
DN 250 (10") <sup>35</sup>	206,39	360	0,57	5,22E-4	1,00E-3	0,52
DN 200 (8") <sup>36</sup>	193,68	360	0,54	5,20E-4	1,00E-3	0,52

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 16 di 22	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 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):

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

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

dove:

- $A_p$  = area della sezione trasversale del tubo
- $\lambda$  =  $(k_o/4 EI)^{1/4}$
- $k_o$  = modulo di reazione del suolo
- $I$  = momento di inerzia della sezione trasversale del tubo
- $\varepsilon_{max}$  = 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:

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

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:

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

con:

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 17 di 22	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Indicando con  $K_1$  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  $90^\circ$ .

In accordo al criterio di verifica riportato in precedenza, 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 dell'espansione termica, degli effetti dovuti ai carichi sostenuti ed a quelli sismici, per il calcolo di  $S_v$ , sono riportati nelle Tabelle 2/G e 2/H seguenti, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno ( $a_g, SLD$ ) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ( $a_g, SLV$ ).

Con i valori in Tabelle 2/G e 2/H, in accordo ai criteri di verifica descritti, nelle Tabelle 2/I e 2/J sono presentati i risultati dei calcoli degli stati tensionali indotti sulle tubazioni.

Per ciascuna linea esaminata, nelle Tabelle 2/I e 2/J sono riportati i risultati delle verifiche strutturali corrispondenti al terremoto per lo Stato Limite di Danno e a quello per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Marche		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 18 di 22 Rev. 0

**Tab. 2/G: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)**

Tubazione	$\varepsilon$ (adm)	$\Delta$ (mm)	S (kN)	M (kNm)	$\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
DN 650 (26") <sup>1</sup>	2,65E-4	51,9	419,6	125,1	18,53	47,97
DN 100 (4") <sup>2</sup>	4,58E-4	18,7	18,1	5,5	10,18	159,78
DN 100 (4") <sup>3</sup>	4,37E-4	17,6	17,1	5,2	9,58	150,49
DN 200 (8") <sup>4</sup>	4,07E-4	26,4	55,5	17,7	11,91	128,73
DN 100 (4") <sup>5</sup>	4,59E-4	18,8	18,2	5,5	10,20	160,11
DN 100 (4") <sup>6</sup>	4,60E-4	18,8	18,3	5,5	10,24	160,78
DN 100 (4") <sup>7</sup>	4,59E-4	18,8	18,2	5,5	10,20	160,11
DN 100 (4") <sup>8</sup>	4,58E-4	18,7	18,1	5,5	10,18	159,78
DN 100 (4") <sup>9</sup>	4,58E-4	18,7	18,1	5,5	10,18	159,78
DN 100 (4") <sup>10</sup>	4,58E-4	18,7	18,1	5,5	10,18	159,78
DN 100 (4") <sup>11</sup>	4,58E-4	18,7	18,1	5,5	10,18	159,78
DN 150 (6") <sup>12</sup>	4,49E-4	25,0	40,8	14,9	11,35	152,11
DN 150 (6") <sup>13</sup>	4,50E-4	25,0	40,9	15,0	11,37	152,42
DN 150 (6") <sup>14</sup>	4,28E-4	23,5	38,5	14,1	10,70	143,45
DN 100 (4") <sup>15</sup>	4,38E-4	17,7	17,1	5,2	9,61	150,82
DN 100 (4") <sup>16</sup>	4,38E-4	17,7	17,1	5,2	9,61	150,82
DN 150 (6") <sup>17</sup>	4,28E-4	23,5	38,5	14,1	10,70	143,45
DN 150 (6") <sup>18</sup>	4,48E-4	24,9	40,7	14,9	11,32	151,80
DN 300 (12") <sup>19</sup>	3,91E-4	34,8	123,9	47,0	13,20	121,39
DN 150 (6") <sup>20</sup>	4,48E-4	24,9	40,7	14,9	11,32	151,80
DN 150 (6") <sup>21</sup>	4,27E-4	23,4	38,3	14,0	10,65	142,84
DN 100 (4") <sup>22</sup>	4,56E-4	18,6	18,1	5,5	10,31	159,11
DN 250 (10") <sup>23</sup>	3,84E-4	29,7	81,7	26,7	12,57	121,12
DN 100 (4") <sup>24</sup>	4,56E-4	18,6	18,0	5,5	10,11	158,77
DN 100 (4") <sup>25</sup>	4,56E-4	18,6	18,0	5,5	10,11	158,77
DN 100 (4") <sup>26</sup>	4,35E-4	17,6	17,0	5,2	9,54	149,84
DN 150 (6") <sup>27</sup>	4,36E-4	24,1	39,4	14,4	10,95	146,83
DN 100 (4") <sup>28</sup>	4,56E-4	18,6	18,1	5,5	10,13	159,11
DN 100 (4") <sup>29</sup>	4,36E-4	17,6	17,0	5,2	9,56	150,16
DN 250 (10") <sup>30</sup>	4,01E-4	31,0	85,4	27,9	13,14	126,54
DN 100 (4") <sup>31</sup>	4,58E-4	18,7	18,1	5,5	10,18	159,78
DN 100 (4") <sup>32</sup>	4,37E-4	17,6	17,1	5,2	9,58	150,49
DN 100 (4") <sup>33</sup>	4,38E-4	17,7	17,1	5,2	9,61	150,82
DN 100 (4") <sup>34</sup>	4,38E-4	17,7	17,1	5,2	9,61	150,82
DN 250 (10") <sup>35</sup>	3,87E-4	29,9	82,4	26,9	12,67	122,06
DN 200 (8") <sup>36</sup>	4,08E-4	26,6	55,8	17,7	11,96	129,24

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 19 di 22

**Tab. 2/H: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**

Tubazione	$\varepsilon$ (adm)	$\Delta$ (mm)	S (kN)	M (kNm)	$\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
DN 650 (26") <sup>1</sup>	3,96E-4	68,1	550,1	164,0	24,29	62,88
DN 100 (4") <sup>2</sup>	5,67E-4	24,7	24,0	7,3	13,45	211,16
DN 100 (4") <sup>3</sup>	5,25E-4	22,4	21,7	6,6	12,17	191,04
DN 200 (8") <sup>4</sup>	5,14E-4	34,3	72,0	22,9	15,43	166,82
DN 100 (4") <sup>5</sup>	5,65E-4	24,6	23,9	7,2	13,40	210,41
DN 100 (4") <sup>6</sup>	5,65E-4	24,6	23,9	7,2	13,40	210,41
DN 100 (4") <sup>7</sup>	5,66E-4	24,7	23,9	7,3	13,42	210,79
DN 100 (4") <sup>8</sup>	5,65E-4	24,6	23,9	7,2	13,40	210,41
DN 100 (4") <sup>9</sup>	5,66E-4	24,7	23,9	7,3	13,40	210,79
DN 100 (4") <sup>10</sup>	5,66E-4	24,7	23,9	7,3	13,42	210,79
DN 100 (4") <sup>11</sup>	5,66E-4	24,7	23,9	7,3	13,42	210,79
DN 150 (6") <sup>12</sup>	5,56E-4	32,6	53,3	19,5	14,83	198,88
DN 150 (6") <sup>13</sup>	5,56E-4	32,6	53,3	19,5	14,83	198,88
DN 150 (6") <sup>14</sup>	5,16E-4	29,7	48,5	17,8	13,49	180,89
DN 100 (4") <sup>15</sup>	5,25E-4	22,4	21,7	6,6	12,17	191,04
DN 100 (4") <sup>16</sup>	5,25E-4	22,4	21,7	6,6	12,17	191,04
DN 150 (6") <sup>17</sup>	5,15E-4	29,6	48,4	17,7	13,47	180,55
DN 150 (6") <sup>18</sup>	5,57E-4	32,7	53,5	19,6	14,89	199,57
DN 300 (12") <sup>19</sup>	5,00E-4	45,0	160,1	60,8	17,06	156,91
DN 150 (6") <sup>20</sup>	5,57E-4	32,7	53,5	19,6	14,89	199,57
DN 150 (6") <sup>21</sup>	5,17E-4	29,8	48,7	17,8	13,54	181,55
DN 100 (4") <sup>22</sup>	5,89E-4	26,1	25,3	7,7	14,17	222,45
DN 250 (10") <sup>23</sup>	4,94E-4	38,5	105,9	34,5	16,29	156,94
DN 100 (4") <sup>24</sup>	5,64E-4	24,6	23,8	7,2	13,38	210,04
DN 100 (4") <sup>25</sup>	5,66E-4	24,7	23,9	7,3	13,42	210,79
DN 100 (4") <sup>26</sup>	5,26E-4	22,4	21,7	6,6	12,19	191,40
DN 150 (6") <sup>27</sup>	5,48E-4	32,0	52,3	19,2	14,55	195,09
DN 100 (4") <sup>28</sup>	5,68E-4	24,8	24,1	7,3	13,50	211,90
DN 100 (4") <sup>29</sup>	5,29E-4	22,6	21,9	6,6	12,28	192,84
DN 250 (10") <sup>30</sup>	5,36E-4	42,0	115,8	37,8	17,81	171,54
DN 100 (4") <sup>31</sup>	5,70E-4	24,9	24,1	7,3	13,54	212,65
DN 100 (4") <sup>32</sup>	5,29E-4	22,6	21,9	6,6	12,28	192,83
DN 100 (4") <sup>33</sup>	5,30E-4	22,6	21,9	6,6	12,30	193,19
DN 100 (4") <sup>34</sup>	5,31E-4	22,7	22,0	6,7	12,33	193,56
DN 250 (10") <sup>35</sup>	5,22E-4	40,9	112,6	36,7	17,32	166,80
DN 200 (8") <sup>36</sup>	5,20E-4	34,7	72,9	23,2	15,64	169,06

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Marche		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 20 di 22 Rev. 0

**Tab. 2/I: 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 <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub> /SMYS (adm)
DN 650 (26") <sup>1</sup>	660,4	260,69	415	0,63
DN 100 (4") <sup>2</sup>	114,3	287,41	360	0,80
DN 100 (4") <sup>3</sup>	114,3	277,86	360	0,77
DN 200 (8") <sup>4</sup>	219,1	269,06	360	0,75
DN 100 (4") <sup>5</sup>	114,3	287,76	360	0,80
DN 100 (4") <sup>6</sup>	114,3	288,45	360	0,80
DN 100 (4") <sup>7</sup>	114,3	287,76	360	0,80
DN 100 (4") <sup>8</sup>	114,3	287,41	360	0,80
DN 100 (4") <sup>9</sup>	114,3	287,41	360	0,80
DN 100 (4") <sup>10</sup>	114,3	287,41	360	0,80
DN 100 (4") <sup>11</sup>	114,3	287,41	360	0,80
DN 150 (6") <sup>12</sup>	168,3	282,60	360	0,79
DN 150 (6") <sup>13</sup>	168,3	282,93	360	0,79
DN 150 (6") <sup>14</sup>	168,3	273,66	360	0,76
DN 100 (4") <sup>15</sup>	114,3	278,19	360	0,77
DN 100 (4") <sup>16</sup>	114,3	278,19	360	0,77
DN 150 (6") <sup>17</sup>	168,3	273,66	360	0,76
DN 150 (6") <sup>18</sup>	168,3	282,28	360	0,78
DN 300 (12") <sup>19</sup>	323,4	267,11	415	0,74
DN 150 (6") <sup>20</sup>	168,3	282,28	360	0,78
DN 150 (6") <sup>21</sup>	168,3	273,03	360	0,76
DN 100 (4") <sup>22</sup>	114,3	286,72	360	0,80
DN 250 (10") <sup>23</sup>	273,1	267,55	360	0,74
DN 100 (4") <sup>24</sup>	114,3	286,38	360	0,80
DN 100 (4") <sup>25</sup>	114,3	286,38	360	0,80
DN 100 (4") <sup>26</sup>	114,3	277,18	360	0,77
DN 150 (6") <sup>27</sup>	168,3	277,15	360	0,77
DN 100 (4") <sup>28</sup>	114,3	286,72	360	0,80
DN 100 (4") <sup>29</sup>	114,3	277,52	360	0,77
DN 250 (10") <sup>30</sup>	273,1	272,97	360	0,76
DN 100 (4") <sup>31</sup>	114,3	287,41	360	0,80
DN 100 (4") <sup>32</sup>	114,3	277,86	360	0,77
DN 100 (4") <sup>33</sup>	114,3	278,19	360	0,77
DN 100 (4") <sup>34</sup>	114,3	278,19	360	0,77
DN 250 (10") <sup>35</sup>	273,1	268,48	360	0,75
DN 200 (8") <sup>36</sup>	219,1	269,57	360	0,75

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Marche		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 21 di 22 Rev. 0

**Tab. 2/J: Risultati delle verifiche per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	S <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub> /SMYS (adm)
DN 650 (26") <sup>1</sup>	660,4	275,00	415	0,66
DN 100 (4") <sup>2</sup>	114,3	340,62	360	0,95
DN 100 (4") <sup>3</sup>	114,3	319,73	360	0,89
DN 200 (8") <sup>4</sup>	219,1	307,99	360	0,86
DN 100 (4") <sup>5</sup>	114,3	339,85	360	0,94
DN 100 (4") <sup>6</sup>	114,3	339,85	360	0,94
DN 100 (4") <sup>7</sup>	114,3	340,24	360	0,95
DN 100 (4") <sup>8</sup>	114,3	339,85	360	0,94
DN 100 (4") <sup>9</sup>	114,3	340,24	360	0,95
DN 100 (4") <sup>10</sup>	114,3	340,24	360	0,95
DN 100 (4") <sup>11</sup>	114,3	340,24	360	0,95
DN 150 (6") <sup>12</sup>	168,3	331,24	360	0,92
DN 150 (6") <sup>13</sup>	168,3	331,24	360	0,92
DN 150 (6") <sup>14</sup>	168,3	312,47	360	0,87
DN 100 (4") <sup>15</sup>	114,3	319,73	360	0,89
DN 100 (4") <sup>16</sup>	114,3	319,73	360	0,89
DN 150 (6") <sup>17</sup>	168,3	312,12	360	0,87
DN 150 (6") <sup>18</sup>	168,3	331,96	360	0,92
DN 300 (12") <sup>19</sup>	323,4	303,39	360	0,84
DN 150 (6") <sup>20</sup>	168,3	331,96	360	0,92
DN 150 (6") <sup>21</sup>	168,3	313,16	360	0,87
DN 100 (4") <sup>22</sup>	114,3	352,38	360	0,98
DN 250 (10") <sup>23</sup>	273,1	303,80	360	0,84
DN 100 (4") <sup>24</sup>	114,3	339,46	360	0,94
DN 100 (4") <sup>25</sup>	114,3	340,24	360	0,95
DN 100 (4") <sup>26</sup>	114,3	320,10	360	0,89
DN 150 (6") <sup>27</sup>	168,3	327,29	360	0,91
DN 100 (4") <sup>28</sup>	114,3	341,40	360	0,95
DN 100 (4") <sup>29</sup>	114,3	321,59	360	0,89
DN 250 (10") <sup>30</sup>	273,1	318,81	360	0,89
DN 100 (4") <sup>31</sup>	114,3	342,18	360	0,95
DN 100 (4") <sup>32</sup>	114,3	321,59	360	0,89
DN 100 (4") <sup>33</sup>	114,3	321,97	360	0,89
DN 100 (4") <sup>34</sup>	114,3	322,34	360	0,89
DN 250 (10") <sup>35</sup>	273,1	313,92	360	0,87
DN 200 (8") <sup>36</sup>	219,1	310,30	360	0,86

 <b>SNAM RETE GAS</b>	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023068</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto Recanati – San Benedetto del Tronto		Fg. 22 di 22	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3 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 Tabella 2.3.3/J per lo Stato Limite di Danno e lo Stato Limite di Vita.

I risultati delle analisi presentate, riguardanti elementi di tubazione rettilinei e curvi, hanno 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.