

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TechnipFMC</b>	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 1 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

**RIFACIMENTO METANODOTTO  
 SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI,  
 DN 750 (30”) DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE**

**VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO**



0	Emissione	L.FANTERA	P.RUSSO S.SCANDALE	V.FORLIVESI G.GIOVANNINI	27/07/2020
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

Documento di proprietà Snam Rete Gas. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TechnipFMC</b>	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b> -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 2 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO .....</b>	<b>5</b>
	<b>3.1 VERIFICA STRUTTURALE SULLA CONDOTTA.....</b>	<b>5</b>
	<b>3.2 DATI DI INPUT.....</b>	<b>6</b>
	<b>3.3 CALCOLO DELLE TENSIONI SULLA CONDOTTA E VERIFICA.....</b>	<b>10</b>
	Elemento di tubazione rettilineo .....	10
	Elemento di tubazione curvo.....	13
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>16</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 3 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione si riferisce alle verifiche strutturali di scuotimento sismico relative alla linea principale del progetto “Rif. Met. Sansepolcro – Terranuova Bracciolini DN 750 (30”) - DP 75 bar ed opere connesse”. In Tabella 1 sono riassunte le caratteristiche principali del gasdotto in progetto.

*Tabella 1 Linea Principale Metanodotto Larino-Chieti*

Diametro nominale DN	Pressione di progetto [bar]	Spessore minimo [mm]	Materiale	Lunghezza [km]	Regioni attraversate
750 (30")	75	14,3	EN L415MB	45.621	Toscana

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo il tracciato tra i comuni attraversati, calcolato in accordo a quanto previsto dalle nuove norme tecniche NTC 2018. Le sollecitazioni sono calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle “Guidelines For The Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline Systems” (ASCE, 1984).

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TechnipFMC</b>	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 4 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- NTC2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- ASCE 1984 – Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline System;
- ALA ASCE FEMA 2005 - Guidelines for The Design Of Buried Steel Pipe;
- UNI EN 1594 “Gas Supply Systems – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements”.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b>  REGIONE TOSCANA	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 5 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

### 3 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

#### 3.1 Verifica strutturale sulla condotta

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi della tubazione in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati elaborati per il previsto spessore della condotta DN 750 (30”).

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

Secondo le indicazioni di studi presentati nella Letteratura tecnica Internazionale, l'azione di contenimento del terreno circostante il tubo permette di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione tipici delle strutture in elevazione (Hindy, Novak 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali [ASCE Guidelines] costituito dalle onde di compressione (onde P o primarie), dalle onde di taglio (onde S o secondarie) e dalle 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.

In rispetto al D.M. del 17 aprile 2008, le verifiche sismiche 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 verifica applicata è congruente con le indicazioni della EN 1594 che, nell'annex E richiama le "GUIDELINES FOR THE SEISMIC DESIGN OF OIL AND GAS PIPELINE SYSTEMS" delle ASCE.

Queste ultime sono ritenute sufficientemente conservative poiché considerano la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S e R, trascurando inoltre (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno che riduce le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta. L'interazione tubo-terreno è invece considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (2018).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 6 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

### 3.2 Dati di input

Sulla base dei dati relativi all'analisi di pericolosità dell'intero tracciato si è stimata la massima accelerazione orizzontale,  $a_g$ , del terreno a seguito dell'evento sismico di progetto.

È stata considerata una vita nominale  $V_n = 50$  anni ed una classe d'uso IV (coefficiente d'uso  $c_u = 2$ ).

Per la determinazione dei parametri sismici si fa riferimento a un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 949 anni, calcolato in riferimento allo stato limite ultimo SLV, ovvero con una probabilità di superamento  $P_{VR}$  pari al 10%.

In Tabella 2 sono riportati i valori di  $a_g/g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  calcolati lungo tutto il tracciato della linea. Tali valori sono stati ricavati prendendo a riferimento i punti in cui sono state eseguite le prove geofisiche MASW (Doc. No RE-GEO-004) e comunque considerando un passo non superiore ai 5.5 km. Questa considerazione è dovuta al fatto che i valori di tali parametri sismici sono ottenuti come interpolazione dei valori fissati nei singoli punti di una maglia quadrata di dimensioni pari a 5.5 km. L'utilità di prendere a riferimento i punti in cui sono state eseguite le prove MASW è quella di conoscere la categoria di sottosuolo a cui far riferimento per la determinazione dei parametri sismici. La categoria di sottosuolo e la categoria topografica di ciascun punto sono altresì riportate in Tabella 2.

In Tabella 3 sono quindi riassunti i dati dell'azione sismica necessari per la verifica a scuotimento. Per i tre parametri  $a_g/g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  sono scelti i valori massimi ottenuti dalla Tabella 2 e per la categoria di sottosuolo e per quella topografica sono scelti quelli che massimizzano l'azione sismica. Seguendo le indicazioni delle Guidelines (ASCE 1984), per un terreno mediamente denso è stata considerata una velocità apparente delle onde Sismiche nel suolo pari circa 900m/sec.

In Tabella 4 e in Tabella 5 sono riassunte le caratteristiche geometriche e dei materiali utilizzati per le tubazioni in esame, rispettivamente per i tratti rettili e per quelli curvi. Le caratteristiche del terreno di riempimento della trincea, nei confronti del quale si realizza l'interazione tubo-terreno sono riportate in Tabella 6. Si considera lo spessore minimo di ricoprimento  $H$  pari a 1.5 m: è possibile dimostrare, infatti, che all'aumentare dell'altezza del terreno al di sopra del tubo si riducono le tensioni indotte su di esso dal sisma.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 7 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

Tabella 2 Parametri sismici valutati per  $T_r = 949$  anni

Punto	Pk	Long	Lat	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]	Categoria di sottosuolo	Categoria topografica
inizio tracciato	0+000	12.09435006	43.57900014	0.2815	2.3931	0.3081	C	T1
MASW1	4+500	12.05502942	43.55126158	0.2680	2.4040	0.3058	C	T1
MASW2	7+000	12.02760377	43.54809402	0.2590	2.4040	0.3056	B	T1
MASW3	10+000	11.9941907	43.54205105	0.2460	2.4010	0.3064	B	T3
MASW4	12+000	11.97536178	43.53941971	0.2392	2.3985	0.3069	B	T3
MASW5	12+500	11.96954376	43.53761203	0.2368	2.3987	0.3070	B	T3
MASW6	14+000	11.96210732	43.52840747	0.2322	2.4011	0.3069	B	T3
MASW7	17+000	11.92737144	43.52062795	0.2195	2.4045	0.3073	B	T1
MASW8	22+500	11.86945526	43.51786179	0.2038	2.4091	0.3069	B	T1
MASW9	23+500	11.85641757	43.51900677	0.2009	2.4098	0.3069	B	T1
MASW10	27+000	11.82241466	43.51057751	0.1928	2.4167	0.3049	C	T1
MASW11	28+500	11.80968538	43.51946453	0.1905	2.4162	0.3067	B	T1
MASW12	29+000	11.80413578	43.52333738	0.1895	2.4163	0.3074	B	T1
MASW13	33+000	11.76719385	43.5321046	0.1818	2.4226	0.3084	B	T1
MASW14	38+500	11.71628657	43.55231801	0.1732	2.4202	0.3113	B	T1
MASW15	39+500	11.70475453	43.5484024	0.1710	2.4210	0.3110	B	T1
MASW16	40+000	11.70055219	43.54781331	0.1702	2.4211	0.3110	B	T1
MASW17	40+500	11.69251207	43.54574919	0.1690	2.4211	0.3107	B	T1
MASW18	41+500	11.68366288	43.54776407	0.1681	2.4197	0.3107	C	T1
MASW19	43+500	11.66877258	43.5548611	0.1666	2.4165	0.3111	B	T1
fine tracciato	45+000	11.64304444	43.55926389	0.1640	2.4121	0.3109	B	T1

<b>Max</b>	<b>0.2815</b>	<b>2.4226</b>	<b>0.3113</b>	<b>C</b>	<b>T3</b>
------------	---------------	---------------	---------------	----------	-----------

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 8 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

Tabella 3 Dati sismici per verifica scuotimento sismico

Dati sismici			
	Variabili	unità	
Accelerazione orizzontale massima del sito	$a_g/g$		<b>0.281</b>
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	$F_0$		<b>2.423</b>
Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	$T_c^*$	sec	<b>0.311</b>
Periodo fondamentale corrispondente al tratto dello spettro a velocità costante	$T_c$	sec	0.48
Categoria Sottosuolo	$C_S$		C
Categoria Topografica	$C_T$		T3
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S$		1.291
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T$		1.200
Massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto SLV	$a_{max}$	$m/s^2$	4.277
Massima Accelerazione Normalizzata rispetto alla gravità	$a_{max}/g$		<b>0.436</b>
Massima velocità del terreno attesa per il terremoto SLV	$v_g$	m/s	0.329
Velocità Apparente onde Sismiche	C	m/s	<b>900</b>

Tabella 4 Dati geometrici tubi rettilinei DN750

Dati Geometrici tubi rettilinei			
	Variabili	unità	
Materiale tubazione			<b>L415MB</b>
Diametro Nominale	DN		<b>750</b>
Diametro Interno	$D_i$	mm	733.40
Spessore tubo di linea	t	mm	<b>14.30</b>
Diametro Esterno	$D_e$	mm	762.00
Pressione interna di progetto	P	bar	<b>75</b>
Variazione di temperatura	$\Delta T$	°C	<b>45</b>
Modulo elastico	E	Mpa	<b>205000</b>
Coefficiente di Poisson	$\nu$		<b>0.3</b>
Tensione Snervamento Materiale Tubazione	$\sigma_y$	Mpa	<b>415</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 9 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

Tabella 5 Dati geometrici tubi curvi DN750

Dati Geometrici tubi curvi			
	Variabili	unità	
Materiale tubazione			<b>L415MB</b>
Diametro Nominale	DN		<b>750</b>
Diametro Interno	Di	mm	<b>733.4</b>
Spessore tubo delle curve	t	mm	<b>14.3</b>
Diametro Esterno	De	mm	<b>762.00</b>
Pressione interna di progetto	P	bar	<b>75</b>
Variazione di temperatura	$\Delta T$	°C	<b>45</b>
Modulo elastico	E	Mpa	<b>205000</b>
Coefficiente di Poisson	$\nu$		<b>0.3</b>
Tensione Snervamento Materia Tubazione	$\sigma_y$	Mpa	<b>415</b>
Momento d'inerzia della sezione trasversale del tubo	I	mm <sup>4</sup>	<b>2348215265</b>
Area della sezione trasversale del tubo	$A_p$	mm <sup>2</sup>	<b>33590</b>
Raggio curve 7DN	$r_o$	mm	<b>5250.0</b>
Raggio tubazione	R	mm	<b>381.0</b>

Tabella 6 Dati terreno di rinterro trincea

Dati Terreno			
	Variabili	unità	
Altezza minima di ricoprimento	H	m	<b>1.5</b>
Peso specifico del terreno di rinterro	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	<b>18</b>
Modulo di reazione del suolo	$k_o$	Mpa	<b>25</b>
Angolo di attrito terreno	$\phi'$	°	<b>30.00</b>
Angolo di attrito terreno tubo (2/3 $\phi'$ )	$\delta$	°	<b>20.00</b>
coefficiente di pressione del suolo a riposo	$K_o$		<b>0.50</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 10 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

### 3.3 Calcolo delle tensioni sulla condotta e verifica

#### Elemento di tubazione rettilineo

Per la verifica dei tratti rettilinei della tubazione si applicano i criteri di verifica proposti nelle Guidelines (ASCE 1984), ovvero si trascura l'interazione tubo-terreno così da ottenere valori conservativi dello stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi come il suolo circostante a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende pressoché indipendente il risultato delle tensioni indotte dallo spessore del tubo. In Tabella 7 sono riassunte le tensioni dovute al sisma calcolate per la tubazione rettilinea.

Le tensioni assiali  $\sigma_{a,S}$  e di flessione  $\sigma_{b,S}$  indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l'asse della condotta, sono pari rispettivamente

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

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

dove E è il modulo elastico dell'acciaio, R il raggio esterno del tubo, v la massima velocità e a la massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto (SLV), C la velocità apparente delle onde sismiche e  $\theta$  l'angolo di incidenza tra l'asse della tubazione e la direzione di propagazione del moto sismico. I valori massimi delle tensioni  $\sigma_{a,S}$  e  $\sigma_{b,S}$  si ottengono rispettivamente per  $\theta = 45^\circ$  e  $\theta = 0^\circ$  per cui risulta

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

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

con D pari al diametro esterno del tubo.

Le tensioni assiali  $\sigma_{a,P}$  e di flessione  $\sigma_{b,P}$  indotte dalle onde di compressione P, sono pari rispettivamente a

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

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

e attingono al loro valore massimo rispettivamente per  $\theta = 0^\circ$  e  $\theta = 35^\circ 16'$ , per cui risulta

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 11 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

Analogamente, le massime tensioni assiali  $\sigma_{a,R}$  e di flessione  $\sigma_{b,R}$  indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R risultano pari a

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

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

Le 6 componenti di tensione così calcolate, 3 assiali e 3 flessionali, sono quindi conservativamente combinate utilizzando il metodo della radice quadrata della somma dei quadrati (Square Route Square Sum method, SRSS) secondo il quale

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

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

e la somma di  $\sigma_a$  e di  $\sigma_b$  restituisce, infine, la massima tensione longitudinale dovuta all'evento sismico  $\sigma_{sism,L}$ .

La tensione equivalente con sisma  $\sigma_{vS}$  è determinata combinando alla tensione sismica longitudinale massima  $\sigma_{sism,L}$  (-) le tensioni di compressione dovute all'espansione termica impedita  $\sigma_{\Delta t,L}$  (-) e le tensioni legati alla pressione interna del tubo nelle due componenti longitudinali  $\sigma_{p,L}$  di compressione (-) e circonferenziali  $\sigma_{p,C}$  di trazione (+). La tensione equivalente con sisma  $\sigma_{vS}$  è quindi calcolata secondo la formula

$$\sigma_{vS} = \sqrt{(\sigma_{\Delta t,L} + \sigma_{p,L} + \sigma_{sism,L})^2 - (\sigma_{\Delta t,L} + \sigma_{p,L} + \sigma_{sism,L}) \cdot \sigma_{p,C} + \sigma_{p,C}^2}$$

in cui

$$\sigma_{\Delta t,L} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

con  $\alpha$  pari a 0.000012 [1/C°]

$$\sigma_{p,L} = \nu \frac{P \cdot D}{2t}$$

dove P è la pressione interna del tubo e t il suo spessore e  $\nu$  il coefficiente di Poisson

$$\sigma_{p,C} = \frac{P \cdot D}{2t}$$

In accordo al paragrafo 7.4.1.3 della Norma EN 1594 (edizione 2009) la suddetta tensione equivalente  $\sigma_{vS}$  è confrontata con il 100% della tensione di snervamento  $\sigma_y$  del materiale della tubazione. Si definisce quindi il fattore di utilizzazione F pari al rapporto tra  $\sigma_{vS}$  e  $\sigma_y$ : la verifica a scuotimento sismico risulta soddisfatta se tale fattore F risulta inferiore all'unità.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 12 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

Basandosi sulla “good engineering practice”, si verifica inoltre la distanza rispetto all’insorgere di fenomeni instabilità locali di parete nel caso in cui si abbia una deformazione longitudinale di compressione  $\varepsilon$ . Nel caso specifico, la deformazione massima  $\varepsilon_{VS}$  dovuta alla tensione equivalente con sisma  $\sigma_{VS}$  è messa a confronto con la deformazione di compressione critica  $\varepsilon_{cr}$  in corrispondenza della quale si verificano fenomeni di instabilità locale e definita come

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

La verifica è soddisfatta per  $\varepsilon_{VS} < \varepsilon_{cr}$ .

Tabella 7 Elemento di tubazione rettilineo DN 750

<b>Tensioni dovute al sisma</b>			
Tensioni assiali Onde di Taglio	$\sigma_{aS}$	Mpa	-37.45
Tensioni flessionali Onde di Taglio	$\sigma_{bS}$	Mpa	-0.41
Tensioni assiali Onde di Pressione	$\sigma_{aP}$	Mpa	-74.90
Tensioni flessionali Onde di Pressione	$\sigma_{bP}$	Mpa	-0.16
Tensioni assiali Onde Superficiali di Rayleigh R	$\sigma_{aR}$	Mpa	-74.90
Tensioni flessionali Onde di Superficiali di Rayleigh R	$\sigma_{bR}$	Mpa	-0.41
Tensioni assiali	$\sigma_a$	Mpa	-112.35
Tensioni flessionali	$\sigma_b$	Mpa	-0.60
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	<b>Mpa</b>	<b>-112.95</b>
<b>Analisi tensionale</b>			
Tensione compressione espansione termica impediata	$\sigma_{\Delta t,L}$	Mpa	-110.70
Tensione trazione dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,L}$	Mpa	59.95
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	199.83
<b>Tensione equivalente con sisma</b>	$\sigma_{VS}$	<b>Mpa</b>	<b>315.34</b>
fattore utilizzazione	<b>F</b>		0.76
<b>Verifica Instabilità</b>			
Deformazione Massima	$\varepsilon_{VS}$		0.0015
Deformazione Critica	$\varepsilon_{cr}$		0.0070
tasso di lavoro	<b>F</b>		0.22

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI" DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 13 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

### Elemento di tubazione curvo

In Tabella 8 sono riportati tutti i dati necessari alla verifica allo scuotimento dei tratti curvi della tubazione. Contrariamente al caso di tubo rettilineo, nell'analisi dello stato tensionale causato dall'azione sismica terremoto sugli elementi curvi della condotta l'interazione tra tubo e terreno non può essere trascurata.

Il moto sismico è assunto parallelo a uno dei tratti rettilinei della curva. Con  $L'$  è indicata la lunghezza di scorrimento della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito  $t_u$  (ASCE 1984).  $L'$  e  $t_u$  sono definite come

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

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

dove  $A_p$  indica l'area della sezione trasversale della tubazione,  $k_o$  il modulo di reazione del terreno,  $\varepsilon_{\max}$  la massima deformazione del terreno,  $\delta$  l'angolo d'attrito tubo-terreno, mentre il parametro  $\lambda$  è definito come

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_o}{4EI}}$$

con  $I$  pari al momento d'inerzia della sezione trasversale tubo e  $K_o$  al coefficiente di spinta a riposo del terreno.

Si definisce quindi lo spostamento  $\Delta$  sulla curva dovuto allo scorrimento della stessa nel terreno, definito come

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

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

La tensione assiale  $\sigma_a$  e la tensione di flessione  $\sigma_b$  sulla curva dovute rispettivamente alla forza  $S$  al momento flettente  $M$  sono pari a

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 14 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

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

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

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

con

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

e il momento flettente sulla curva è invece dato da

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

$K_1$  è il fattore di intensificazione dello stress, con espressione

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

La verifica quindi segue i criteri riportati precedentemente per il caso di tubo rettilineo. La deformazione sismica è trasferita all'elemento curvo unitamente agli effetti della pressione interna, temperatura e gravità. Negli elementi curvi la tensione longitudinale di trazione dovuto alla pressione interna  $\sigma_{p,s}$  è dato dall' espressione

$$\sigma_{p,s} = \frac{P \cdot D}{4t}$$

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 15 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

Tabella 8 Elemento di tubazione curvo DN 750

Elaborazione			
	$\lambda$	1/mm	0.0003
Deformazione Max del terreno	$\epsilon_{max}$		0.0004
Lunghezza di scorrimento della tubazione	L'	mm	97158
Forza d'attrito	$t_u$	N/mm	18.6
Spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento nel terreno	$\Delta$	mm	27.6
	K*		0.3
Forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale	S	kN	1080.85
Momento flettente sulla curva	M	kNm	173.36
Fattore di intensificazione dello stress	K1		1.27
Tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S	$\sigma_{aS}$	Mpa	<b>32.18</b>
Tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M	$\sigma_{oS}$	Mpa	<b>35.64</b>
Dati sismici			
Tensioni assiali	$\sigma_{aR}$	Mpa	-32.18
Tensioni flessionali	$\sigma_{oR}$	Mpa	-35.64
Tensione longitudinale massima di compressione dovuta al sisma	$\sigma_{sism,L}$	<b>Mpa</b>	<b>-67.82</b>
Analisi tensionale			
Tensione compressione espansione termica impedita	$\sigma_{aLL}$	Mpa	-110.70
Tiro di fondo	$\sigma_{P,S}$	Mpa	99.91
Tensione trazione circonferenziale dovuto alla pressione interna	$\sigma_{P,C}$	Mpa	192.33
<b>Tensione equivalente</b>	<b><math>\sigma_V</math></b>	<b>Mpa</b>	<b>197.94</b>
fattore utilizzazione	F		0.48
<b>Tensione equivalente con sisma</b>	<b><math>\sigma_{VS}</math></b>	<b>Mpa</b>	<b>241.43</b>
fattore utilizzazione	F		0.58
Verifica Instabilità			
Deformazione Massima	$\epsilon_{VS}$		0.0012
Deformazione Critica	$\epsilon_{cr}$		0.0070
tasso di lavoro	F		0.17

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TechnipFMC</b>	<b>COMMESSA</b> NR/17143	<b>CODICE</b> TECNICO -
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>RE-CIV-010</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. SANSEPOLCRO – TERRANUOVA BRACCIOLINI” DN 750 (30”), DP 75 bar ed opere connesse	Pag. 16 di 16	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL: 082669C-100-RT-3220-008

#### 4 CONCLUSIONI

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità della condotta di gas in progetto **DN 750** ai requisiti del D.M. del 17.04.2008 (ovvero della norma EN 1594 in esso richiamata e quindi ai criteri delle linee guida sismiche nelle “Guidelines for Seismic Design of Oil Pipeline Systems delle ASCE, richiamate nella Ref. 2 dell’annex E), nei confronti del movimento sismico del suolo (scuotimento o shaking) provocato da un evento sismico caratterizzato da un picco di accelerazione massimo del terreno (PGA) pari a **0.436g** corrispondente allo Stato Limite di Vita per  $T_r = 949$  anni (Ref. Doc. DM 17 gennaio 2018).

I risultati delle analisi presentate ai paragrafi precedenti hanno evidenziato l’idoneità dello spessore della tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento del terreno durante l’evento sismico, risultando infatti il massimo fattore di utilizzazione ottenuto dalle analisi pari a  **$F = 0.76 < 1$** .

Dai risultati si evince pure che in nessun caso, per effetto dello shaking, i valori di tensione calcolati si avvicinano alla resistenza a rottura dell’acciaio costituente la condotta in progetto. Gli spessori delle tubazioni, sia nei tratti rettilinei che in quelli in curva, sono pertanto idonei ad assorbire le sollecitazioni sismiche trasmesse.