

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 1 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO

VERIFICA SCUOTIMENTO SISMICO



0	EMISSIONE PER ENTI	Balducci	Marconi	Banci	13/07/21
Rev.	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 2 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

INDICE

1	SCOPO DEL DOCUMENTO	5
2	RIFERIMENTI	6
	2.1 Norme e Standard	6
	2.2 Documenti di riferimento	6
	2.3 Abbreviazioni	6
3	DATI DI CALCOLO	7
	3.1 Dati sismici	7
	3.2 Condizioni di progetto	7
	3.3 Parametri meccanici	8
4	CRITERI DI VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	9
	4.1 Premessa	9
	4.2 Criterio di verifica	10
	4.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo	10
	4.3.1 Massima deformazione indotta dalle onde sismiche	10
	4.3.2 Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione	12
	4.3.3 Applicazione del criterio di verifica	13
	4.4 Metodologia di calcolo tratto in curva	15
	4.4.1 Applicazione del criterio di verifica	17
	4.4.2 Parametri Sismici	19
5	VERIFICHE A SCUOTIMENTO SISMICO	20
	5.1 Sintesi Parametri di Calcolo	20
	5.2 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (1)	23
	5.2.1 Dati di ingresso	23
	5.2.2 Verifica tratto rettilineo	23

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 3 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.2.3	Verifica tratto in curva	25
5.3	Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (2)	26
5.3.1	Dati di ingresso	26
5.3.2	Verifica tratto rettilineo	26
5.3.3	Verifica tratto in curva	28
5.4	Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (3)	29
5.4.1	Dati di ingresso	29
5.4.2	Verifica tratto rettilineo	29
5.4.3	Verifica tratto in curva	31
5.5	Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (4)	32
5.5.1	Dati di ingresso	32
5.5.2	Verifica tratto rettilineo	32
5.5.3	Verifica tratto in curva	34
5.6	Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (5)	35
5.6.1	Dati di ingresso	35
5.6.2	Verifica tratto rettilineo	35
5.6.3	Verifica tratto in curva	37
5.7	Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (6)	38
5.7.1	Dati di ingresso	38
5.7.2	Verifica tratto rettilineo	38
5.7.3	Verifica tratto in curva	40
5.8	Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (7)	41
5.8.1	Dati di ingresso	41
5.8.2	Verifica tratto rettilineo	41
5.8.3	Verifica tratto in curva	43
6	CONCLUSIONI	44
6.1	Sintesi dei risultati	45
6.1.1	Macroarea (1)	45

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 4 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

6.1.2	Macroarea (2)	45
6.1.3	Macroarea (3)	46
6.1.4	Macroarea (4)	46
6.1.5	Macroarea (5)	47
6.1.6	Macroarea (6)	47
6.1.7	Macroarea (7)	48

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 5 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

1 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione di analisi sismica si riferisce al:

- Met. Città Sant'Angelo-Alanno DN 200 (8"), DP 60 bar, MOP 12 bar

I calcoli e le verifiche effettuate prendono in considerazione il massimo terremoto di progetto previsto lungo il tracciato, calcolato in accordo a quanto previsto dalle norme tecniche NTC 2018 (Rif.[3]). Le sollecitazioni calcolate attraverso il metodo di verifica descritto nelle "Guidelines For The Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline Systems" (Rif.[4]) e tramite le prassi consolidate sul territorio nazionale, vengono confrontate con i valori ammissibili previsti dalla normativa internazionale di riferimento (Rif.[1], [2]).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 6 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

2 RIFERIMENTI

2.1 Norme e Standard

[1]	ASME B31.8 - 2016	Gas Transmission and Distribution Piping Systems
[2]	EN1594 - 2013	Gas Infrastrutture – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements
[3]	D.M. 17/01/2018	Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
[4]	ASCE1984	Guidelines for The Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems
[5]	ALA ASCE FEMA 2005	Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe
[6]	PRCI 2004	Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines
[7]	UNI EN 1993-4-3:2007	Progettazione delle Strutture di Acciaio - Parte 4-3: Condotte
[8]	UNI EN 1998-4:2006	Progettazione delle Strutture per la Resistenza Sismica – Parte 4: Silos, Serbatoi e Condotte

2.2 Documenti di riferimento

[9]	5719-001-P-RT-D-0004	Relazione geologica e geomorfologica di base
[10]	5719-001-P-RT-D-0005	Relazione sismica
[11]	5719-001-P-RT-D-0013	Relazione sulle indagini geotecniche e geofisiche

2.3 Abbreviazioni

- ALA	American Lifelines Alliance
- ASCE	American Society of Civil Engineers
- ASME	American Society of Mechanical Engineers
- D.M.	Decreto Ministeriale
- DN	Diametro Nominale
- DP	Design Pressure
- EN	European Norm
- FEMA	Federal Emergency Management Agency
- I.N.G.V.	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves
- MOP	Maximum Operating Pressure
- NTC	Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- OPCM	Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri
- PRCI	Pipeline Research Council
- SLV	Stato Limite di Salvaguardia della Vita
- UNI	Ente nazionale italiano di Unificazione

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 7 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

3 DATI DI CALCOLO

3.1 Dati sismici

Le aree attraversate dal gasdotto sono state oggetto di caratterizzazione sismica, i cui dettagli sono riportati nella "Relazione Sismica" Rif.[10] e nella "Relazione sulle Indagini Geotecniche e Geofisiche" Rif.[11].

I parametri utilizzati in fase di progettazione, necessari per la determinazione delle azioni sismiche (a_g , F_0 , T_c^*), sono riferiti allo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per SLV (con tempo di ritorno $T_R \approx 950$ anni), componenti relative all'area di maggior pericolosità sismica secondo le mappe disponibili, anche in formato ".kml", nel sito INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (software di calcolo dei parametri sismici "Spettri di risposta" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

Alla luce delle indagini geognostiche eseguite che hanno permesso di ricostruire le peculiarità del territorio, e delle indagini sismiche (Rif.[11]) eseguite nell'ambito della realizzazione delle opere stesse, è stato possibile calcolare la VS_{30} per i primi 30 metri di profondità. Le velocità equivalenti lungo il tracciato identificano le seguenti categorie di sottosuolo descritte nella tabella delle NTC 2018:

- "B" Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
- "C" Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;

3.2 Condizioni di progetto

Di seguito si riportano il salto Termico e il valore di Pressione di esercizio utilizzati per la verifica in concomitanza allo scuotimento sismico della condotta in oggetto:

Salto Termico: ΔT 45 °C
 Pressione: P 60 barg

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 8 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

3.3 Parametri meccanici

DN 8" (200):

- Diametro nominale 200 (8")
- Diametro esterno 219.1 mm
- Diametro Interno 205.1 mm
- Materiale EN L360 NB/MB
- Spessore in linea 7.0 mm
- Spessore in curva 7.0 mm
- Raggio curva (3DN) 600 mm

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 9 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

4 CRITERI DI VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

4.1 Premessa

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 condotti per:

- Met. Città Sant'Angelo-Alanno DN 200 (8"), DP 60 bar, MOP 12 bar

Lo "shaking" è provocato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che impartisce movimenti alle particelle di suolo. La tubazione interrata pertanto tende a deformarsi, così come il terreno circostante. Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo, che nello spazio, in funzione della direzione di propagazione del movimento sismico rispetto all'asse della condotta.

Secondo le indicazioni degli studi riportati dalla letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento esercitata sulla tubazione dal terreno circostante, consente di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione (Hindy, Novak 1979). Pertanto la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali (Rif.[4]), distinte come segue:

- onde di compressione (onde P o primarie);
- onde di taglio (onde S o secondarie);
- onde superficiali (onde R o di Rayleigh).

Nei tratti di tubazione rettilinea le onde P determinano le massime sollecitazioni assiali durante la prima parte del moto. Le onde S sono responsabili delle massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto. I fenomeni descritti non avvengono contemporaneamente. Le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda, mentre la loro energia decade esponenzialmente con la profondità.

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrate, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le prassi consolidate sul territorio nazionale e secondo la Normativa sismica Americana Rif.[4]. Quest'ultima è ritenuta sufficientemente conservativa, poiché considera la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S ed R, anche se trascura (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno. L'interazione tubo-terreno viene invece considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

Il metodo di verifica esclude fenomeni di carattere localizzato (frane, faglie, liquefazione, ecc).

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 10 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

4.2 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap.4.3) e tratto in curva (cap. 4.4). Le tensioni indotte dal sisma sulla tubazione, in ciascuno dei suddetti scenari, sono calcolate secondo l'approccio proposto dalle ASCE 1984 (Rif.[4]).

Le "tensioni sismiche" così determinate sono quindi combinate con i carichi operativi (tipicamente dovuti a salto termico e pressione) secondo le modalità previste dalla normativa ASME B31.8 (Rif.[1]) e confrontate con i valori ammissibili definiti nella medesima normativa.

In accordo alla "Good Engineering Practice", un'ulteriore analisi è condotta al fine di verificare l'insorgere di fenomeni di instabilità di parete, nel caso in cui risulti presente una deformazione negativa "ε" dovuta ad una tensione di compressione.

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni d'instabilità possono verificarsi per un accorciamento percentuale superiore a ϵ_{cr} , dato dalla seguente espressione (Rif.[4]):

$$\epsilon_{cr} = 0.35 \frac{t}{D_e - t}$$

4.3 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif.[4]) prevedono di trascurare l'interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei. Tale assunzione fornisce valori conservativi per quanto concerne lo stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi così come si deforma il suolo circostante a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende le tensioni indotte pressoché indipendenti dallo spessore della tubazione.

A causa dell'effetto del terreno intorno al tubo, che attutisce sensibilmente le vibrazioni del tubo stesso, e della rigidità torsionale elevata della sezione circolare, viene effettuata un'analisi statica degli effetti del sisma, trascurando l'amplificazione elastica.

4.3.1 Massima deformazione indotta dalle onde sismiche

La formula generale per la massima deformazione assiale prodotta dalle differenti onde sismiche, nell'ipotesi di assenza di scorrimenti fra tubazione e terreno, è di seguito riportata (Rif.[4] – par. 6.1):

$$\epsilon_g = \frac{V_{max}}{\alpha_\epsilon C}$$

dove:

ϵ_g massima deformazione assiale sismica del tubo (e del terreno)
 V_{max} massima velocità del terreno

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 11 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

- α_ε coefficiente di deformazione, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da questa con l'asse longitudinale della condotta
- C velocità apparente di propagazione dell'onda sismica

La massima curvatura della condotta è espressa dalla formula seguente (Rif.[4] – par. 6.1):

$$k_{\max} = k_g = \frac{a_g}{(\alpha_k C)^2}$$

dove:

- k_{\max} massima curvatura sismica della condotta (e del terreno k_g)
- a_g massima accelerazione del terreno
- α_k coefficiente di curvatura del terreno, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da questa con l'asse longitudinale della condotta
- C velocità apparente di propagazione dell'onda sismica

Per il calcolo delle deformazioni prodotte da ciascun tipo di onda, si riporta di seguito la tabella tratta dall'Appendice B del Rif.[4], con i relativi coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione (α_ε , α_k), derivati massimizzando l'effetto dell'angolo di incidenza "g".

Tipo Onda	Massima Deformazione	Coeff.
S	$\varepsilon_g = -\frac{V_{\max}}{2C}$	$\alpha_\varepsilon=2.0$
	$k_g = \frac{a_g}{C^2}$	$\alpha_k=1.0$
P	$\varepsilon_g = -\frac{V_{\max}}{C}$	$\alpha_\varepsilon=1.0$
	$k_g = \frac{a_g}{2.6C^2}$	$\alpha_k=1.6$
R	$\varepsilon_g = -\frac{V_{\max}}{C}$	$\alpha_\varepsilon=1.0$
	$k_g = \frac{a_g}{C^2}$	$\alpha_k=1.0$

Tab. 4.A - Massima deformazione sismica

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 12 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

4.3.2 Derivazione dei coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione

Detto “ ϑ ” l’angolo di incidenza tra l’asse della tubazione e la direzione di propagazione del movimento sismico, le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l’asse della condotta, sono rispettivamente:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{V_{\max}}{C} \sin \vartheta \cos \vartheta$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{D_e a_g}{2 C^2} \cos^3 \vartheta$$

dove:

E modulo di elasticità del materiale della condotta

Massimizzando questi valori rispetto all’angolo di incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_{ε} e σ_k si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 45^\circ$ e $\vartheta = 0^\circ$:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{V_{\max}}{2C}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^S = \pm E \frac{D a_g}{2 C^2}$$

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

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P = \pm E \frac{V_{\max}}{C} \cos^2 \vartheta$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^P = \pm E \frac{D a_g}{2 C^2} \sin \vartheta \cos^2 \vartheta$$

Massimizzando questi valori rispetto all’angolo d’incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_{ε} e σ_k si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 0^\circ$ e $\vartheta = 35^\circ 16'$:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P = \pm E \frac{V_{\max}}{C}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^P = \pm 0.385 E \frac{D a_g}{2 C^2}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 13 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

Le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R, sono una combinazione delle precedenti onde P ed S e, nei valori massimi, risultano rispettivamente:

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^R = \pm E \frac{V_{\max}}{C}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}}^R = \pm E \frac{D a_g}{2 C^2}$$

4.3.3 Applicazione del criterio di verifica

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

$$\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}} = \sqrt{\sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^S{}^2 + \sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^P{}^2 + \sigma_{\varepsilon \text{ SISMA}}^R{}^2}$$

$$\sigma_{k \text{ SISMA}} = \sqrt{\sigma_{k \text{ SISMA}}^S{}^2 + \sigma_{k \text{ SISMA}}^P{}^2 + \sigma_{k \text{ SISMA}}^R{}^2}$$

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

$$\vartheta_{\text{SISMA}} = \vartheta_{\varepsilon \text{ SISMA}} + \vartheta_{k \text{ SISMA}}$$

Ai sensi delle ASME B31.8 (para. 833), vengono condotte le verifiche di controllo delle tensioni secondo due distinte ipotesi:

- “unrestrained pipeline”
- “restrained pipeline”.

“Unrestrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.6) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{L0} \leq 0.75\sigma_Y$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 14 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

con:

$$\sigma_{LO} = 0.5\sigma_H + \sigma_{SISMA}$$

dove:

$$\sigma_H = \frac{PD_e}{2t}$$

“Restrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.3) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 90% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LT} \leq 0.9\sigma_Y$$

con:

$$\sigma_{LT} = -v\sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{SISMA}$$

dove:

$$\sigma_H = \frac{PD_e}{2t}$$

e

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

La normativa ASME B31.8 (para 833.4) prescrive di verificare che la tensione equivalente, calcolata secondo “Von Mises”, sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% (carichi occasionali – di breve durata) della tensione di snervamento:

$$\sigma_{VM} \leq \sigma_Y$$

con:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT}\sigma_H}$$

La normativa EN1594 (Rif.[2]) al paragrafo 7.4.1.2 richiede analogamente che la tensione equivalente calcolata secondo “Von Mises” sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% della tensione di snervamento.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITA' 001
	LOCALITA' REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 15 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

4.4 Metodologia di calcolo tratto in curva

Nell'analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l'interazione tra tubo e terreno va tenuta in debita considerazione.

Assumendo il movimento dell'onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si calcola la lunghezza di scorrimento " L' " della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito "t_u" (Rif.[4]) secondo la formula seguente:

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3k_0} \left[\sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{MAX} k_0}{2t_u \lambda}} - 1 \right]$$

$$t_u = \frac{\pi D_e}{2} \gamma_n H_t (1 + K_0) \operatorname{tg} \delta + W_p \operatorname{tg} \delta$$

dove:

$$\lambda = \left(\frac{k_0}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$I = \frac{D_e^4 - (D_e - 2t_c)^4}{64}$$

$$\varepsilon_{MAX} = \frac{V_{MAX}}{C}$$

con:

k₀ modulo di reazione laterale del suolo
 K₀ coefficiente di spinta a riposo del terreno

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

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{MAX} L' - \frac{t_u L'^2}{2A_p E}}{1 + \frac{k_0 L'}{2\lambda A_p E} + 2 \frac{\lambda^2 L' I}{\pi A_p r_0}}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 16 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

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

$$S = \Delta \left(\frac{k_0}{2\lambda} + \frac{2\lambda^2 K^* EI}{r_0 \pi} \right)$$

con:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12(t_c r_0 / R_e^2)^2}$$

Il momento flettente sulla curva vale:

$$M = \Delta \frac{2\lambda K^* EI}{r_0 \pi}$$

K_1 è il fattore di intensificazione delle tensioni:

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

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

$$\sigma_{SISMA}^S = \frac{S}{A_p}$$

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

$$\sigma_{SISMA}^M = K_1 \frac{M D_e}{2 I}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 17 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

4.4.1 Applicazione del criterio di verifica

La tensione totale sulla curva per effetto del sima si ottiene per semplice somma:

$$\sigma_{SISMA}^{TOT} = \sigma_{SISMA}^S + \sigma_{SISMA}^M$$

Ai sensi delle ASME B31.8 (para 833) vengono condotte le verifiche di controllo delle tensioni secondo due distinte ipotesi:

- “unrestrained pipeline”
- “restrained pipeline”

“Unrestrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.6) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 75% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LO}^B \leq 0.75\sigma_Y$$

con:

$$\sigma_{LO}^B = 0.5\sigma_H^B + \sigma_{SISMA}^{TOT}$$

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{PD_e}{2t_c}$$

“Restrained Pipeline”

La normativa ASME B31.8 (para 833.3) prescrive di verificare che la tensione longitudinale sia compresa entro un valore ammissibile pari al 90% della tensione di snervamento:

$$\sigma_{LT}^B \leq 0.9\sigma_Y$$

con:

$$\sigma_{LT}^B = -\nu\sigma_H^B + \sigma_{\Delta T}^B + \sigma_{SISMA}^{TOT}$$

dove:

$$\sigma_H^B = \frac{PD_e}{2t_c}$$

e

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITA' 001
	LOCALITA' REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 18 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

Si sottolinea che per la verifica del tratto in curva non si esegue il controllo delle tensioni combinate, in quanto la normativa ASME B31.8, al paragrafo 833.4 - capoverso (f), prescrive tale verifica esclusivamente per porzioni di tubazione rettilinee.

La normativa EN1594 (Rif.[2]) al paragrafo 7.4.1.2 richiede che la tensione equivalente calcolata secondo "Von Mises" sia compresa entro un valore ammissibile pari al 100% della tensione di snervamento.

$$\sigma_{VM}^B \leq \sigma_Y$$

con:

$$\sigma_{VM}^B = \sqrt{\sigma_{LT}^B{}^2 + \sigma_H^B{}^2 - \sigma_{LT}^B \sigma_H^B}$$

4.4.1.1 Parametri geotecnici

Il tracciato è stato suddiviso in 7 macroaree con caratteristiche geotecniche omogenee. A ciascun'area è stata assegnata la "Categoria Sottosuolo" più cautelativa ai fini del calcolo a scuotimento sismico, in base ai risultati delle prove M.A.S.W. riportate nel Rif.[11].

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva per il diametro in oggetto (DN 200) si sono utilizzati i seguenti valori riferiti alla categoria di sottosuolo analizzata:

Macroarea	Categoria Sottosuolo	angolo di attrito [°]	peso di volume [kN/m³]	Categoria Topografica	Progressiva Chilometrica
(1)	C	20	19	T1	da 0+000 a 5+000
(2)	C	20	20	T2	da 5+000 a 9+100
(3)	C	22	20	T1	da 9+100 a 10+300
(4)	C	18	20	T2	da 10+300 a 13+800
(5)	C	23	19.5	T1	da 13+800 a 39+700
(6)	B	21	21.5	T2	da 39+700 a 41+800
(7)	C	24	20	T1	da 41+800 a FINE

Tab. 4.B - parametri geotecnici

Per la stima del modulo di reazione del suolo k_0 è stato fatto riferimento alla tabella elaborata per le "Iowa Formula".

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 19 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

4.4.2 Parametri Sismici

Per la verifica a scuotimento sismico sono stati applicati i parametri sismici riportati qui di seguito in tabella per ciascuna delle 7 macroaree:

Macroarea	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]	Progressiva Chilometrica
(1)	0.198	2.478	0.359	5+000
(2)	0.197	2.488	0.360	9+100
(3)	0.197	2.488	0.360	10+300
(4)	0.197	2.488	0.360	13+800
(5)	0.227	2.504	0.361	39+700
(6)	0.240	2.542	0.363	41+800
(7)	0.245	2.553	0.363	FINE

Tab. 4.C- parametri sismici

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 20 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5 VERIFICHE A SCUOTIMENTO SISMICO

5.1 Sintesi Parametri di Calcolo

a_g	accelerazione massima su suolo di riferimento rigido
T_C^*	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
F_0	valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
Cat. Suolo	categoria del sottosuolo
Cat. Topo	categoria topografica
D_e	diametro esterno condotta
t	spessore condotta tratto rettilineo
E	modulo di elasticità materiale condotta
ν	coefficiente di Poisson materiale condotta
σ_Y	limite di snervamento materiale condotta
α	coefficiente di dilatazione termica materiale condotta
γ_p	densità acciaio
C	velocità apparente di propagazione dell'onda sismica
ΔT	salto termico di progetto
P	pressione interna di progetto
t_c	spessore condotta tratto in curva
k_0	modulo di reazione laterale del suolo
ϕ	angolo di attrito suolo
rivest.	materiale rivestimento condotta
H	copertura minima suolo
r_0	raggio di curvatura della deviazione
γ_n	peso di volume naturale del suolo
S_T	coefficiente di amplificazione topografica
S_S	coefficiente di amplificazione stratigrafica
C_C	coefficiente funzione della categoria di sottosuolo
S_{NTC}	coefficiente relativo alla categoria topografica e del sottosuolo
T_C	periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro
a_{max}	accelerazione massima attesa al sito
V_{MAX}	velocità orizzontale massima del terreno
ϵ_{SISMA}^S	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di taglio
ϵ_{SISMA}^P	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di compressione
ϵ_{SISMA}^R	deformazione assiale del suolo dovuta al passaggio delle onde di Rayleigh
K_{SISMA}^S	curvatura del suolo dovuta al passaggio delle onde di taglio
K_{SISMA}^P	curvatura del suolo dovuta al passaggio delle onde di compressione
K_{SISMA}^R	curvatura del suolo dovuta al passaggio delle onde di Rayleigh

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 21 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

σ_{ϵ}^S SISMA	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di taglio
σ_{ϵ}^P SISMA	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di compressione
σ_{ϵ}^R SISMA	tensione dovuta alla deformazione orizzontale del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh
σ_k^S SISMA	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di taglio
σ_k^P SISMA	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di compressione
σ_k^R SISMA	tensione dovuta alla curvatura del suolo per il passaggio delle onde di Rayleigh
σ_{ϵ} SISMA	tensione totale dovuta alla deformazione assiale (tratto rettilineo)
σ_k SISMA	tensione totale per sisma, dovuta alla curvatura (tratto rettilineo)
σ_{SISMA}	tensione totale sismica (tratto rettilineo)
$\sigma_{\Delta T}$	tensione dovuta al salto termico (tratto rettilineo)
σ_H	tensione circonferenziale (tratto rettilineo)
σ_{LO}	combinazione tensioni longitudinali UNRESTRAINED (tratto rettilineo)
σ_{LT}	combinazione tensioni longitudinali RESTRAINED (tratto rettilineo)
σ_{VM}	combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto rettilineo)
F_{LO}	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max ammissibile UNRESTRAINED (tratto rettilineo)
F_{LT}	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max. ammissibile RESTRAINED (tratto rettilineo)
F_{VM}	rapporto tra tensioni combinate e tensione max. ammissibile RESTRAINED (tratto rettilineo)
ϵ	rapporto tra deformazione di progetto e deformazione massima ammissibile
δ	angolo di attrito tubo-terreno
K_o	coefficiente di spinta a riposo del terreno
H_t	quota da piano campagna ad asse tubo
ϵ_{MAX}	deformazione assiale massima del suolo dovuta al sisma
I	momento d'inerzia della sezione trasversale del tubo
A_p	area della sezione trasversale del tubo
λ	parametro per le travi su fondazione elastica
W_p	peso lineare del tubo
t_u	forza di attrito lineare sul tubo
K^*	coefficiente adimensionale utilizzato nel calcolo delle curve flessibili
K_1	fattore di intensificazione dello stress
L'	lunghezza di scorrimento del tubo nel terreno su cui agisce la forza di attrito t_u
Δ	spostamento dovuto allo scorrimento del tubo nel terreno
S	forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale parallelo all'onda sismica
M	momento flettente sulla curva
σ_{SISMA}^S	tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S
σ_{SISMA}^M	tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M
$\sigma_{\text{SISMA}}^{\text{TOT}}$	tensione totale sismica (tratto in curva)
σ_{DT}^B	tensione dovuta al salto termico (tratto in curva)
σ_H^B	tensione circonferenziale (tratto in curva)

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 22 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

σ_{LO}^B	combinazione tensioni longitudinali UNRESTRAINED (tratto in curva)
σ_{LT}^B	combinazione tensioni longitudinali RESTRAINED (tratto in curva)
σ_{VM}^B	combinazione delle tensioni secondo Von Mises (tratto in curva)
F_{LO}^B	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max. ammissibile UNRESTRAINED (tratto in curva)
F_{LT}^B	rapporto tra tensione di progetto long. e tensione max. ammissibile RESTRAINED (tratto in curva)
F_{VM}^B	rapporto tra tensioni combinate e tensione max. ammissibile (tratto in curva)

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 23 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.2 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (1)

5.2.1 Dati di ingresso

a_g	=	1.94 m/s ²
T_c^*	=	0.359 s
F_0	=	2.478 -
Cat. Suolo	=	C -
Cat. Topo	=	T1 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	77 kN/m ³
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm ²
φ	=	20 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	19 kN/m ³

5.2.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.00 -
S_S	=	1.406 -
C_C	=	1.472 -
S_{NTC}	=	1.406 -
T_C	=	0.529 s
a_{max}	=	2.72936 m/s ²

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 24 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$V_{MAX} = 0.2308 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\epsilon_{SISMA}^S = 0.000126134 \text{ -}$$

$$\epsilon_{SISMA}^P = 0.000252268 \text{ -}$$

$$\epsilon_{SISMA}^R = 0.000252268 \text{ -}$$

$$K_{SISMA}^S = 0.000003260 \text{ m}^{-1}$$

$$K_{SISMA}^P = 0.000001255 \text{ m}^{-1}$$

$$K_{SISMA}^R = 0.000003260 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\epsilon}^{S_{SISMA}} = 25.69 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon}^{P_{SISMA}} = 51.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon}^{R_{SISMA}} = 51.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{S_{SISMA}} = 0.07 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{P_{SISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{R_{SISMA}} = 0.07 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon}^{SISMA} = 77.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{SISMA} = 0.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{SISMA} = 77.19 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 135.88 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 149.23 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 136.13 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.38 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.41 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.38 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\epsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 25 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.2.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	12 deg
φ	=	0.34906585 rad
δ	=	0.20943951 rad
K_0	=	0.657979857 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000252268 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	3.785487708 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	53125.3042 mm
Δ	=	5.41771921 mm
S	=	28.54674428 kN
M	=	4988.179983 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	6.120233666 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	36.36993394 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	42.4901676 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	101.18 N/mm ² <i>“UNRESTRAINED PIPELINE”</i>
$\sigma^{B_{LT}}$	=	114.53 N/mm ² <i>“RESTRAINED PIPELINE”</i>
$\sigma^{B_{VM}}$	=	115.98 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.28 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.32 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.32 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 26 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.3 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (2)

5.3.1 Dati di ingresso

a_g	=	1.93 m/s ²
T_c^*	=	0.36 s
F_0	=	2.488 -
Cat. Suolo	=	C -
Cat. Topo	=	T2 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	77 kN/m ³
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm ²
φ	=	20 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	20 kN/m ³

5.3.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.20 -
S_S	=	1.406 -
C_C	=	1.471 -
S_{NTC}	=	1.687 -
T_C	=	0.530 s

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 27 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$a_{\max} = 3.25939 \text{ m/s}^2$$

$$V_{\max} = 0.2762 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{\text{SISMA}} = 0.000150910 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{\text{PISMA}} = 0.000301820 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{\text{RISMA}} = 0.000301820 \text{ -}$$

$$K^{\text{SISMA}} = 0.000003893 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{\text{PISMA}} = 0.000001499 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{\text{RISMA}} = 0.000003893 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{SISMA}} = 30.74 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{PISMA}} = 61.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{RISMA}} = 61.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{PISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{RISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{SISMA}} = 92.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{SISMA}} = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{\text{SISMA}} = 92.35 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 151.04 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 164.39 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 146.65 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.42 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.46 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.41 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 28 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.3.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	12 deg
φ	=	0.34906585 rad
δ	=	0.20943951 rad
K_0	=	0.657979857 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000301820 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	3.980705993 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	59328.25587 mm
Δ	=	7.084123041 mm
S	=	37.32726653 kN
M	=	6522.464413 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	8.002719714 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	47.55674427 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	55.55946399 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	114.25 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{LT}}$	=	127.60 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{VM}}$	=	122.81 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.32 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.35 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.34 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 29 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.4 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (3)

5.4.1 Dati di ingresso

a_g	=	1.93 m/s^2
T_c^*	=	0.36 s
F_0	=	2.488 -
Cat. Suolo	=	C -
Cat. Topo	=	T1 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm^2
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm^2
α	=	0.0000117 $1/^\circ C$
γ_p	=	77 kN/m^3
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 $^\circ C$
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm^2
φ	=	22 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	20 kN/m^3

5.4.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.00 -
S_S	=	1.406 -
C_C	=	1.471 -
S_{NTC}	=	1.406 -
T_C	=	0.530 s

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 30 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$a_{\max} = 2.71616 \text{ m/s}^2$$

$$V_{\max} = 0.2301 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{\text{SISMA}} = 0.000125758 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{\text{P SISMA}} = 0.000251516 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{\text{R SISMA}} = 0.000251516 \text{ -}$$

$$K^{\text{SISMA}} = 0.000003244 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{\text{P SISMA}} = 0.000001249 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{\text{R SISMA}} = 0.000003244 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{SISMA}} = 25.62 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{P SISMA}} = 51.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{R SISMA}} = 51.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{SISMA}} = 0.07 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{P SISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{R SISMA}} = 0.07 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{SISMA}} = 76.85 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{SISMA}} = 0.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{\text{SISMA}} = 76.96 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 135.65 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 149.00 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 135.97 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.38 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.41 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.38 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 31 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.4.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	13.2 deg
φ	=	0.383972435 rad
δ	=	0.230383461 rad
K_o	=	0.625393407 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000251516 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	4.307876969 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	47370.19119 mm
Δ	=	4.916340902 mm
S	=	25.90490963 kN
M	=	4526.553025 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	5.553841743 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	33.00410872 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	38.55795047 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	97.25 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{LT}}$	=	110.60 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{VM}}$	=	114.14 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.27 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.31 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.32 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 32 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.5 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (4)

5.5.1 Dati di ingresso

a_g	=	1.93 m/s ²
T_c^*	=	0.36 s
F_0	=	2.488 -
Cat. Suolo	=	C -
Cat. Topo	=	T2 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	77 kN/m ³
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm ²
φ	=	18 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	20 kN/m ³

5.5.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.20 -
S_S	=	1.406 -
C_C	=	1.471 -
S_{NTC}	=	1.687 -
T_C	=	0.530 s

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 33 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$a_{\max} = 3.25939 \text{ m/s}^2$$

$$V_{\max} = 0.2762 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{\text{SISMA}} = 0.000150910 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{\text{PISMA}} = 0.000301820 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{\text{RISMA}} = 0.000301820 \text{ -}$$

$$K^{\text{SISMA}} = 0.000003893 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{\text{PISMA}} = 0.000001499 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{\text{RISMA}} = 0.000003893 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{SISMA}} = 30.74 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{PISMA}} = 61.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{RISMA}} = 61.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{PISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{RISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{\text{SISMA}} = 92.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k^{\text{SISMA}} = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{\text{SISMA}} = 92.35 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 151.04 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 164.39 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 146.65 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.42 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.46 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.41 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 34 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.5.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	10.8 deg
φ	=	0.314159265 rad
δ	=	0.188495559 rad
K_0	=	0.690983006 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000301820 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	3.642258542 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	63960.04061 mm
Δ	=	7.517655332 mm
S	=	39.61161073 kN
M	=	6921.624468 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	8.492468042 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	50.46710935 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	58.95957739 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	117.65 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{LT}}$	=	131.00 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{VM}}$	=	124.75 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.33 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.36 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.35 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 35 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.6 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (5)

5.6.1 Dati di ingresso

a_g	=	2.23 m/s ²
T_c^*	=	0.361 s
F_0	=	2.504 -
Cat. Suolo	=	C -
Cat. Topo	=	T1 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	77 kN/m ³
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm ²
φ	=	23 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	19.5 kN/m ³

5.6.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.00 -
S_S	=	1.359 -
C_C	=	1.470 -
S_{NTC}	=	1.359 -
T_C	=	0.531 s
a_{max}	=	3.02529 m/s ²

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 36 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$V_{MAX} = 0.2568 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{S_{SISMA}} = 0.000140332 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{P_{SISMA}} = 0.000280663 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{R_{SISMA}} = 0.000280663 \text{ -}$$

$$K^{S_{SISMA}} = 0.000003613 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{P_{SISMA}} = 0.000001391 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{R_{SISMA}} = 0.000003613 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 28.59 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{P_{SISMA}} = 57.17 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{R_{SISMA}} = 57.17 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{S_{SISMA}} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{P_{SISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{R_{SISMA}} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{SISMA} = 85.76 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{SISMA} = 0.12 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{SISMA} = 85.88 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 144.56 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 157.92 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 142.05 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.40 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.44 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.39 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 37 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.6.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	13.8 deg
φ	=	0.401425728 rad
δ	=	0.240855437 rad
K_0	=	0.609268872 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000280663 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	4.357942024 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	51582.32513 mm
Δ	=	5.88449763 mm
S	=	31.00626714 kN
M	=	5417.950276 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	6.647539141 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	39.5034851 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	46.15102424 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	104.84 N/mm ² <i>“UNRESTRAINED PIPELINE”</i>
$\sigma^{B_{LT}}$	=	118.19 N/mm ² <i>“RESTRAINED PIPELINE”</i>
$\sigma^{B_{VM}}$	=	117.78 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.29 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.33 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.33 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 38 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.7 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (6)

5.7.1 Dati di ingresso

a_g	=	2.35 m/s ²
T_c^*	=	0.363 s
F_0	=	2.542 -
Cat. Suolo	=	B -
Cat. Topo	=	T2 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	77 kN/m ³
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm ²
φ	=	21 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	21.5 kN/m ³

5.7.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.20 -
S_S	=	1.156 -
C_C	=	1.347 -
S_{NTC}	=	1.387 -
T_C	=	0.489 s
a_{max}	=	3.26488 m/s ²

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 39 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$V_{MAX} = 0.2554 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{S_{SISMA}} = 0.000139590 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{P_{SISMA}} = 0.000279180 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{R_{SISMA}} = 0.000279180 \text{ -}$$

$$K^{S_{SISMA}} = 0.000003900 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{P_{SISMA}} = 0.000001501 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{R_{SISMA}} = 0.000003900 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 28.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{P_{SISMA}} = 56.87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{R_{SISMA}} = 56.87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{S_{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{P_{SISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{R_{SISMA}} = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 85.31 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{S_{SISMA}} = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{SISMA} = 85.43 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 144.12 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 157.47 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 141.74 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.40 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.44 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.39 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 40 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.7.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	12.6 deg
φ	=	0.366519143 rad
δ	=	0.219911486 rad
K_0	=	0.64163205 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000279180 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	4.450567531 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	50420.27932 mm
Δ	=	5.745231971 mm
S	=	30.27245628 kN
M	=	5289.726175 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	6.490214934 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	38.56857455 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	45.05878949 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	103.75 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{LT}}$	=	117.10 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{VM}}$	=	117.24 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.29 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.33 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.33 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 41 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.8 Verifica a Scuotimento Sismico DN 200 Macroarea (7)

5.8.1 Dati di ingresso

a_g	=	2.40 m/s ²
T_c^*	=	0.363 s
F_0	=	2.553 -
Cat. Suolo	=	C -
Cat. Topo	=	T1 -
D_e	=	219.1 mm
t	=	7 mm
E	=	203705 N/mm ²
ν	=	0.3 -
σ_Y	=	360 N/mm ²
α	=	0.0000117 1/°C
γ_p	=	77 kN/m ³
C	=	915 m/s
ΔT	=	45 °C
P	=	75 bar
t_c	=	7 mm
k_0	=	6.9 N/mm ²
φ	=	24 deg
rivest.	=	polyethylene -
H	=	1.5 m
r_0	=	600 mm
γ_n	=	20 kN/m ³

5.8.2 Verifica tratto rettilineo

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO LE NTC 2018

S_T	=	1.00 -
S_S	=	1.325 -
C_C	=	1.467 -
S_{NTC}	=	1.325 -
T_C	=	0.533 s
a_{max}	=	3.18294 m/s ²

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 42 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

$$V_{MAX} = 0.2712 \text{ m/s}$$

CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\varepsilon^{S_{SISMA}} = 0.000148192 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{P_{SISMA}} = 0.000296384 \text{ -}$$

$$\varepsilon^{R_{SISMA}} = 0.000296384 \text{ -}$$

$$K^{S_{SISMA}} = 0.000003802 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{P_{SISMA}} = 0.000001464 \text{ m}^{-1}$$

$$K^{R_{SISMA}} = 0.000003802 \text{ m}^{-1}$$

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO RETTILINEO

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 30.19 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{P_{SISMA}} = 60.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{R_{SISMA}} = 60.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{S_{SISMA}} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{P_{SISMA}} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{R_{SISMA}} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\varepsilon}^{S_{SISMA}} = 90.56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K^{S_{SISMA}} = 0.12 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{SISMA} = 90.69 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$\sigma_{\Delta T} = 107.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 117.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{LO} = 149.37 \text{ N/mm}^2 \text{ "UNRESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{LT} = 162.72 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

$$\sigma_{VM} = 145.45 \text{ N/mm}^2 \text{ "RESTRAINED PIPELINE"}$$

VERIFICA DELLE TENSIONI E DELLA DEFORMAZIONE SUL TRATTO RETTILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$$F_{LO} = 0.41 < 0.75 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{LT} = 0.45 < 0.90 \text{ VERIFICATO}$$

$$F_{VM} = 0.40 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

$$\varepsilon = 0.08 < 1.00 \text{ VERIFICATO}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 43 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

5.8.3 Verifica tratto in curva

CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE SULLE CURVE SECONDO LE ASCE 1984

δ	=	14.4 deg
φ	=	0.41887902 rad
δ	=	0.251327412 rad
K_0	=	0.593263357 -
H_t	=	1.60955 m
ϵ_{MAX}	=	0.000296384 -
I	=	26257460.15 mm ⁴
A_p	=	4664.322613 mm ²
λ	=	0.000753441 mm ⁻¹
W_p	=	0.359152841 kN/m
t_u	=	4.624377573 kN/m
K^*	=	0.215324225 -
K_1	=	1.747594745 -
L'	=	51366.85508 mm
Δ	=	6.192877579 mm
S	=	32.63116558 kN
M	=	5701.880585 kN*mm

CALCOLO DELLE TENSIONI INDOTTE DAL SISMA SUL TRATTO CURVILINEO

$\sigma^{S_{SISMA}}$	=	6.99590665 N/mm ²
$\sigma^{M_{SISMA}}$	=	41.57368437 N/mm ²
$\sigma^{TOT_{SISMA}}$	=	48.56959102 N/mm ²

CALCOLO DELLE TENSIONI TOTALI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$\sigma^{B_{DT}}$	=	107.25 N/mm ²
σ^{B_H}	=	117.38 N/mm ²
$\sigma^{B_{LO}}$	=	107.26 N/mm ² "UNRESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{LT}}$	=	120.61 N/mm ² "RESTRAINED PIPELINE"
$\sigma^{B_{VM}}$	=	119.02 N/mm ²

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE B31.8 – EN1594

$F^{B_{LO}}$	=	0.30 < 0.75	VERIFICATO
$F^{B_{LT}}$	=	0.34 < 0.90	VERIFICATO

VERIFICA DELLE TENSIONI SUL TRATTO CURVILINEO SECONDO LE EN1594

$F^{B_{VM}}$	=	0.33 < 1.00	VERIFICATO
--------------	---	-------------	-------------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITA' 001
	LOCALITA' REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 44 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

6 CONCLUSIONI

La tubazione DN 200 (8"), per il rifacimento del metanodotto Città Sant'Angelo-Alanno risulta positivamente verificata a scuotimento sismico lungo tutto il tracciato. Lo spessore del tubo nei tratti rettilinei ed in curva è idoneo ad assorbire le sollecitazioni trasmesse dal sisma in oggetto.

Deve essere in ogni caso prevista l'adozione di una serie di misure atte ad aumentare la capacità della tubazione ad assorbire i movimenti differenziali e le tensioni indotte da un sisma tra cui l'esecuzione di controlli non distruttivi accurati su tutte le saldature volta ad escludere la presenza di punti di debolezza tra barra e barra.

Inoltre, poiché il calcolo presentato in questo documento si limita alla verifica allo scuotimento sismico (shaking) e non prende in considerazione gli effetti di singolarità lungo il tracciato, come faglie superficiali e/o l'attraversamento di zone soggette a fenomeni franosi, si sottolinea l'importanza dell'approfondimento di tali aspetti e si rimanda al Rif.[10].

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 45 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

6.1 Sintesi dei risultati

Di seguito si riporta tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalla verifica a scuotimento sismico:

6.1.1 Macroarea (1)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm ²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm ²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm ²]	F_{VM} [-]
7.0	135.88	0.38 ≤ 0.75	149.23	0.41 ≤ 0.90	136.13	0.38 ≤ 1.00

Tab. 6.A – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ^B_{LO} [N/mm ²]	F^B_{LO} [-]	σ^B_{LT} [N/mm ²]	F^B_{LT} [-]	σ^B_{VM} [N/mm ²]	F^B_{VM} [-]
7.0	101.18	0.28 ≤ 0.75	114.53	0.32 ≤ 0.90	115.98	0.32 ≤ 1.00

Tab. 6.B – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

6.1.2 Macroarea (2)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm ²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm ²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm ²]	F_{VM} [-]
7.0	151.04	0.42 ≤ 0.75	164.39	0.46 ≤ 0.90	146.65	0.41 ≤ 1.00

Tab. 6.C – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ^B_{LO} [N/mm ²]	F^B_{LO} [-]	σ^B_{LT} [N/mm ²]	F^B_{LT} [-]	σ^B_{VM} [N/mm ²]	F^B_{VM} [-]
7.0	114.25	0.32 ≤ 0.75	127.60	0.35 ≤ 0.90	122.81	0.34 ≤ 1.00

Tab. 6.D – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 46 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

6.1.3 Macroarea (3)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm ²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm ²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm ²]	F_{VM} [-]
7.0	135.65	0.38 ≤ 0.75	149.00	0.41 ≤ 0.90	135.97	0.38 ≤ 1.00

Tab. 6.E – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ_{LO}^B [N/mm ²]	F_{LO}^B [-]	σ_{LT}^B [N/mm ²]	F_{LT}^B [-]	σ_{VM}^B [N/mm ²]	F_{VM}^B [-]
7.0	97.25	0.27 ≤ 0.75	110.60	0.31 ≤ 0.90	114.14	0.32 ≤ 1.00

Tab. 6.F – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

6.1.4 Macroarea (4)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm ²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm ²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm ²]	F_{VM} [-]
7.0	151.04	0.42 ≤ 0.75	164.39	0.46 ≤ 0.90	146.65	0.41 ≤ 1.00

Tab. 6.G – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ_{LO}^B [N/mm ²]	F_{LO}^B [-]	σ_{LT}^B [N/mm ²]	F_{LT}^B [-]	σ_{VM}^B [N/mm ²]	F_{VM}^B [-]
7.0	117.65	0.33 ≤ 0.75	131.00	0.36 ≤ 0.90	124.75	0.35 ≤ 1.00

Tab. 6.H – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITA' 001
	LOCALITA' REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 47 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

6.1.5 Macroarea (5)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm²]	F_{VM} [-]
7.0	144.56	0.40 ≤ 0.75	157.92	0.44 ≤ 0.90	142.05	0.39 ≤ 1.00

Tab. 6.I – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ^B_{LO} [N/mm²]	F^B_{LO} [-]	σ^B_{LT} [N/mm²]	F^B_{LT} [-]	σ^B_{VM} [N/mm²]	F^B_{VM} [-]
7.0	104.84	0.29 ≤ 0.75	118.19	0.33 ≤ 0.90	117.78	0.33 ≤ 1.00

Tab. 6.J – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

6.1.6 Macroarea (6)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm²]	F_{VM} [-]
7.0	144.12	0.40 ≤ 0.75	157.47	0.44 ≤ 0.90	141.74	0.39 ≤ 1.00

Tab. 6.K – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ^B_{LO} [N/mm²]	F^B_{LO} [-]	σ^B_{LT} [N/mm²]	F^B_{LT} [-]	σ^B_{VM} [N/mm²]	F^B_{VM} [-]
7.0	103.75	0.29 ≤ 0.75	117.10	0.33 ≤ 0.90	117.24	0.33 ≤ 1.00

Tab. 6.L – Tabella riassuntiva per il tratto in curva

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5719	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0002	
	PROGETTO METANODOTTO CITTA' SANT'ANGELO - ALANNO	Pagina 48 di 48	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-SAN-CA-210-201

6.1.7 Macroarea (7)

Tratto Rettilineo						
spessore [mm]	σ_{LO} [N/mm²]	F_{LO} [-]	σ_{LT} [N/mm²]	F_{LT} [-]	σ_{VM} [N/mm²]	F_{VM} [-]
7.0	149.37	0.41 ≤ 0.75	162.72	0.45 ≤ 0.90	145.45	0.40 ≤ 1.00

Tab. 6.M – Tabella riassuntiva per il tratto rettilineo

Tratto in Curva						
spessore [mm]	σ_{LO}^B [N/mm²]	F_{LO}^B [-]	σ_{LT}^B [N/mm²]	F_{LT}^B [-]	σ_{VM}^B [N/mm²]	F_{VM}^B [-]
7.0	107.26	0.30 ≤ 0.75	120.61	0.34 ≤ 0.90	119.02	0.33 ≤ 1.00

Tab. 6.N – Tabella riassuntiva per il tratto in curva