

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 1 di 42	Rev. 0

Progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SANSEPOLCRO – FOLIGNO E OPERE CONNESSE

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO



0	Emissione	Polloni/Righi	Gasperini	Luminari	30.09.2021
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 2 di 42	Rev. 0

INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1.	Scopo del documento	7
1.2.	Normativa di riferimento	8
1.3.	Documenti di riferimento	8
2	LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA.....	9
3	DATI DI CALCOLO	13
3.1	Parametri geotecnici	13
3.2	Azione sismica di riferimento	13
3.3	Condizioni di progetto.....	17
3.4	Parametri geometrici - meccanici.....	17
4	VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	19
3.5	Criterio di verifica	21
3.6	Metodologia di calcolo tratto rettilineo	22
3.6.1	Massima deformazione indotta dalle onde sismiche	22
3.6.2	Applicazione del criterio di verifica	25
3.7	Metodologia di calcolo per la curva	26
3.7.1	Applicazione del criterio di verifica	27
5	SINTESI DEI RISULTATI	28
ALLEGATI DI RIFERIMENTO PRESENTI NEL SIA E ANNESSI		42

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 3 di 42	Rev. 0

1 PREMESSA

Il progetto denominato “Rifacimento Metanodotto Sansepolcro-Foligno e opere connesse” prevede la realizzazione del “Metanodotto Sansepolcro - Foligno DN 400 (16”) - DP 75 bar, che sostituisce la linea esistente “*Sansepolcro - Foligno DN 250 (10”) – MOP 70 (35) bar*” di lunghezza complessiva pari a circa 94,3 km, al fine di eliminare le criticità emerse a fronte dell’antropizzazione del territorio attraversato, continuare a garantire l’ispezionabilità del metanodotto, potenziare la rete esistente, adeguare la stessa alle future esigenze di mercato. Il tracciato della nuova condotta principale DN 400 (16”), di circa 96,8 km di lunghezza, interessa la Provincia di Arezzo nella Regione Toscana e la Provincia di Perugia nella Regione Umbria.

L’opera riguarderà anche la realizzazione di una serie di metanodotti minori, alcuni dei quali derivanti direttamente dal metanodotto principale, di diametro e lunghezze variabili, per una lunghezza complessiva pari a circa 31,5 km a cui sono associate le relative dismissioni delle linee esistenti per uno sviluppo complessivo di circa 31,3 km.

In particolare i metanodotti oggetto del presente studio, il cui tracciato è indicato nei disegni in scala 1:10.000 PG-TP-001, PG-TP-002, RIM-TP-001, RIM-TP-002, consistono in:

Elenco dei metanodotti in progetto

Metanodotto principale in progetto			
Denominazione metanodotto	Diametro	DP (bar)	Lunghezza (km)
Met. Sansepolcro-Foligno	400	75	96,742

Opere connesse in progetto			
Denominazione metanodotto	Diametro	DP (bar)	Lunghezza (km)
Der. Per Perugia	400	75	6,210
All. Centrale Compr. Piccini Sansepolcro	100	75	0,274
Ric. All. Centrale Compr. Piccini	100	75	0,026
Ric. All. Nestlè IT Sansepolcro	100	75	0,061
Ric. All. Comune Citerna	100	75	0,015
All. Comune S. Giustino	100	75	0,028
Der. per S. Giustino	100	75	1,323
Ric. All. Comune di Città di Castello 3 [^] Pr.	100	75	0,046
Ric. All. Piccini Paolo	100	75	0,057
All. Com. Città di Castello 1 [^] Pr.	100	75	0,081
All. Sacofgas	100	75	0,229
All. Centrale metano Piccini	100	75	0,433
All. Com. Città di Castello 2 [^] Pr.	100	75	0,163

	PROGETTISTA	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ	REGIONI UMBRIA E TOSCANA		LSC - 107
	PROGETTO	Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse		Pagina 4 di 42 Rev. 0

Denominazione metanodotto	Diametro	DP (bar)	Lunghezza (km)
Ric. All. Com. di Umbertide 3 [^] Pr.	100	75	0,096
All. Com. di Umbertide 1 [^] Pr.	100	75	0,453
Ric. Derivazione per Gubbio	200	75	0,177
Ric. All. Comune di Perugia 5 [^] Pr.	150	75	0,586
Ric. All. Comune di Perugia 4 [^] Pr.	100	75	0,038
Ric. Pot. All. Comune di Perugia 2 [^] Pr.	150	75	0,131
All. Luxenia Umbro Tiberina	100	75	2,088
All. Colussi SPA	100	75	5,406
Der. per Bastia Umbra	150	75	3,095
All. Com. Assisi 1 [^] Pr.	100	75	2,523
All. Bonaca-Cannara	100	75	2,184
All. Ceramica Falcinelli	100	75	2,325
All. Com. di Spello	100	75	0,06
All. Nestlè IT Sansepolcro	100	75	0,458
All. Buitoni S.p.A	100	75	0,006
All. Centria SRL	100	75	0,041
All. Officine Selci	100	75	0,030
All. Nardi Francesco e figli Spa	100	75	0,424
All. Com. Umbertide 2 [^] Pr.	100	75	0,252
Ric. All. Com. Perugia 2 [^] Pr.	100	75	0,019
All. Deltafina Spa	100	75	0,184
All. Metano Auto RO.LA	100	75	0,372
All. Mignini e Petrini Spa	100	75	0,068
All. Assisi Gestione e Servizi Srl	100	75	0,097
Ric.All. Olivi di Bastia Umbra	100	75	0,036
All. Com. di Bastia Umbra	100	75	0,102
All. Com. Assisi 3 [^] Pr.	100	75	0,888
All. Ferro Italia	100	75	0,518
Lunghezza complessiva			31,603

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 5 di 42	Rev. 0

Elenco dei metanodotti da porre fuori esercizio

Metanodotto principale in dismissione			
Denominazione metanodotto	Diametro	MOP (bar)	Lunghezza (km)
Met. Sansepolcro-Foligno	250	70 (35)	94,324

Opere connesse in dismissione			
Denominazione metanodotto	Diametro	MOP (bar)	Lunghezza (km)
Der. Per Perugia	200	70	5,319
Pot. Der. per Perugia	250	70	5,331
All. Centrale Compr. Piccini Sansepolcro	80	70	0,149
All. Centrale Compr. Piccini	100	75	0,182
All. lbp 1° pr. monte cabina	100	70	0,185
All. Nestlè IT Sansepolcro	100 - 150	24	0,062
All. Nestlè IT Sansepolcro	100 - 150	24	0,42
All. Buitoni Spa	100	24	0,002
All. Centria SRL	80	24	0,001
All. Comune Citerna	100	70	0,134
All. Comune S. Giustino	80	70	0,035
Der. per S. Giustino	80	70	1,348
All. Officine Selci	80	70	0,002
All. Nardi Francesco e figli Spa	80	70	0,392
All. Comune di Città di Castello 3^ Pr.	100	70	0,206
All. Piccini Paolo	100	70	0,073
All. Com. Città di Castello 1^ Pr.	80	70	0,278
All. Sacofgas	80	70	0,227
All. Centrale metano Piccini	80	70	0,110
All. Com. Città di Castello 2^ Pr.	80	70	0,262
All. Com. di Umbertide 3^ Pr.	100	70	0,070
All. Com. di Umbertide 1^ Pr.	80	70	0,096
Derivazione per Gubbio	200	70	0,516
All. Com. Umbertide 2^ Pr.	100	70	0,099
All. Comune di Perugia 5^ Pr.	150	70	0,284
All. Comune di Perugia 4^ Pr.	80	70	0,020
Pot. All. Comune di Perugia 2^ Pr.	150	70	0,162

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 6 di 42	Rev. 0

Denominazione metanodotto	Diametro	MOP (bar)	Lunghezza (km)
All. Luxenia Umbro Tiberina	80	70	1,723
All. Com. Perugia 2^ Pr.	80	70	0,003
All. Colussi SPA	100	70	3,952
All. Deltafina Spa	100	70	0,186
All. Metano Auto RO.LA	80	70	0,361
All. Mignini e Petrini Spa	100	70	0,073
All. Assisi Gestione e Servizi Srl	80	70	0,106
Der. per Bastia Umbra	100	70	0,149
All. Olivi di Bastia Umbra	100	70	0,031
All. Com. di Bastia Umbra	100	70	0,088
All. Com. Assisi 3^ Pr.	100	70	0,163
All. Com. Assisi 1^ Pr.	100	70	0,129
All. Ferro Italia	100	70	2,130
All. Com. di Cannara	80	12	0,210
All. Bonaca-Cannara	100	70	1,998
All. Umbracer Srl	100	12	1,611
All. Ceramica Falcinelli	100	70	2,272
All. Com. di Spello	80	70	0,106
Lunghezza complessiva			31,257

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 7 di 42	Rev. 0

1.1. Scopo del documento

La presente relazione è relativa allo studio di pericolosità allo scuotimento sismico delle tubazioni dei metanodotti in progetto sopra elencati.

I loro tracciati attraversano aree sismiche di zona 2 secondo la classificazione della Regione Toscana e della Regione Umbria. In particolare i comuni attraversati e la relativa zona sismica sono elencati nella seguente tabella.

REGIONE	PROVINCIA	COMUNE	ZONA SISMICA
Toscana	Arezzo	Sansepolcro	2
Umbria	Perugia	San Giustino	2
		Città di Castello	2
		Umbertide	2
		Montone	2
		Perugia	2
		Torgiano	2
		Bastia Umbra	2
		Bettona	2
		Assisi	2
		Spello	2

Tra i vari rischi che una condotta interrata può soffrire da parte di eventuali fenomeni sismoindotti (instabilità di versante, liquefazione, cedimenti, spostamenti di faglie capaci), quello più diretto che è necessario verificare è costituito dalla resistenza della tubazione alle azioni esercitate dallo scuotimento del terreno in cui la condotta stessa è posata, in caso di evento sismico.

Nella presente relazione si espongono pertanto le verifiche effettuate tramite il confronto tra le sollecitazioni indotte sulla condotta dallo scuotimento sismico, calcolate in accordo con le "Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe" (Rif.[4]), e con le "Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines" (Rif.[5]) e le tensioni ammissibili calcolate sulla base della normativa internazionale di riferimento (Rif.[1]), separatamente per il caso di metanodotto rettilineo e in curva.

Tali verifiche sono state condotte utilizzando come input sismico di progetto i valori di massima accelerazione attesa al suolo per $T_r = 949$ anni, competente alla verifica agli stati limite SLV, in accordo con le NTC 2018 (Rif. [2]).

	PROGETTISTA	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ	REGIONI UMBRIA E TOSCANA		LSC - 107
	PROGETTO	Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse		Pagina 8 di 42 Rev. 0

1.2. Normativa di riferimento

1. ASME B31.8 – 2010 Gas Transmission and Distribution Piping Systems
2. NTC 2018 D.M. Infrastrutture 17/01/2018 (Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni)
3. ASCE 1984 – Guidelines for the Seismic Design Of Oil And Gas Pipeline System
4. ALA ASCE FEMA 2005 - Guidelines For The Design Of Buried Steel Pipe
5. PRCI (Pipeline Research Council International) 2004 - Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines
6. UNI EN 1993-4-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 4-3: Condotte"
7. UNI EN 1998-4:2006 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte"
8. ASCE (4-98) Seismic Analysis of Safety-related Nuclear Structures and Commentary

1.3. Documenti di riferimento

1. LSC-117 - Relazione Geologica
2. LSC-106 - Relazione di Pericolosità Sismica

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 9 di 42	Rev. 0

2 LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA

Il progetto denominato “Rifacimento Metanodotto Sansepolcro - Foligno e opere connesse” prevede come principale intervento il rifacimento del metanodotto esistente “*Sansepolcro - Foligno DN 250 (10”) – MOP 70 (35) bar*”, nel tratto compreso tra Sansepolcro (AR) e Foligno (PG).

Il metanodotto nel suo sviluppo attraversa dapprima la regione Toscana, nel comune di Sansepolcro (AR) e successivamente si addentra in regione Umbria, provincia di Perugia nei territori dei seguenti comuni:

- San Giustino (PG)
- Città di Castello (PG)
- Umbertide (PG)
- Montone (PG)
- Perugia (PG)
- Torgiano (PG)
- Bastia Umbra (PG)
- Bettona (PG)
- Assisi (PG)
- Spello (PG)

Il progetto prevede inoltre ulteriori linee che si derivano dal metanodotto principale, anch'esse oggetto di rifacimento/ricollegamento, le quali interessano, oltre i comuni sopracitati, anche quello di Cannara (PG).

L'intera opera ricade nei fogli IGM a scala 1:100.000 Città di Castello Fg. 115, Perugia Fg. 122, Assisi Fg. 123, Foligno Fg. 131 e nei sottoelencati fogli della cartografia tecnica della Regione Umbria a scala 1:10.000:

- | | | |
|----------|----------|----------|
| - 289020 | - 299030 | - 300160 |
| - 289060 | - 299080 | - 311100 |
| - 289070 | - 299120 | - 311150 |
| - 289110 | - 300090 | - 311160 |
| - 289120 | - 300130 | - 323040 |
| - 289150 | - 300140 | - 324010 |
| - 289160 | - 289010 | |
| - 299040 | - 300120 | |

In Figura 2/A si riporta la corografia dell'area interessata dal tracciato, evidenziato con linea rossa e in Figura 2/B l'immagine aerea Google.



PROGETTISTA

COMIS
consulenza materiali - ispezioni - saldatura
progettazione - direzione lavori

COMMESSA
NR/20047

UNITÀ
00

LOCALITA'

REGIONI UMBRIA E TOSCANA

LSC - 107

PROGETTO

Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno
e opere connesse

Pagina 10 di 42

Rev.
0

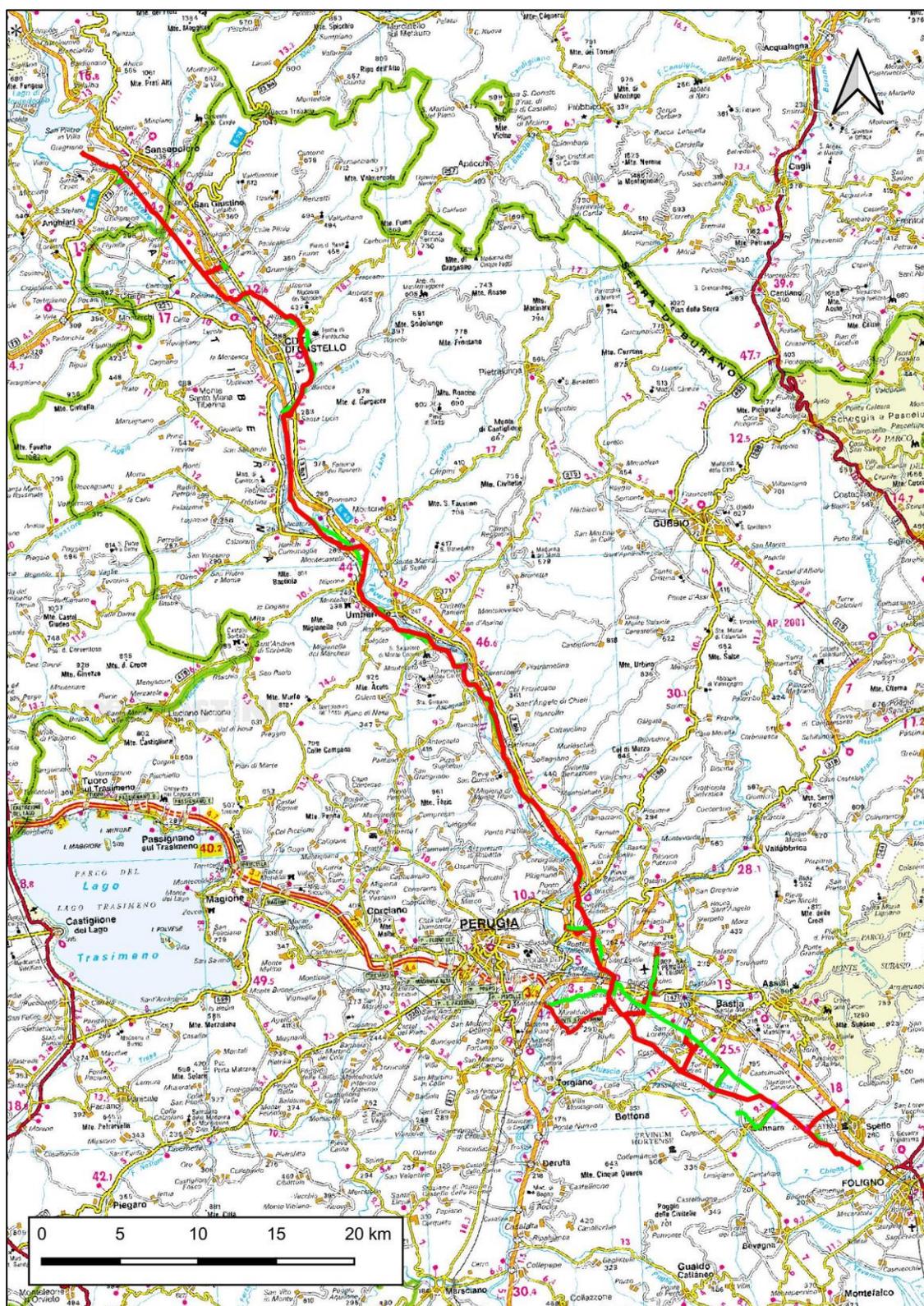


Figura 2/A - Corografia (Linea rossa tracciato metanodotti in progetto, linea verde metanodotti da dismettere)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 11 di 42	Rev. 0

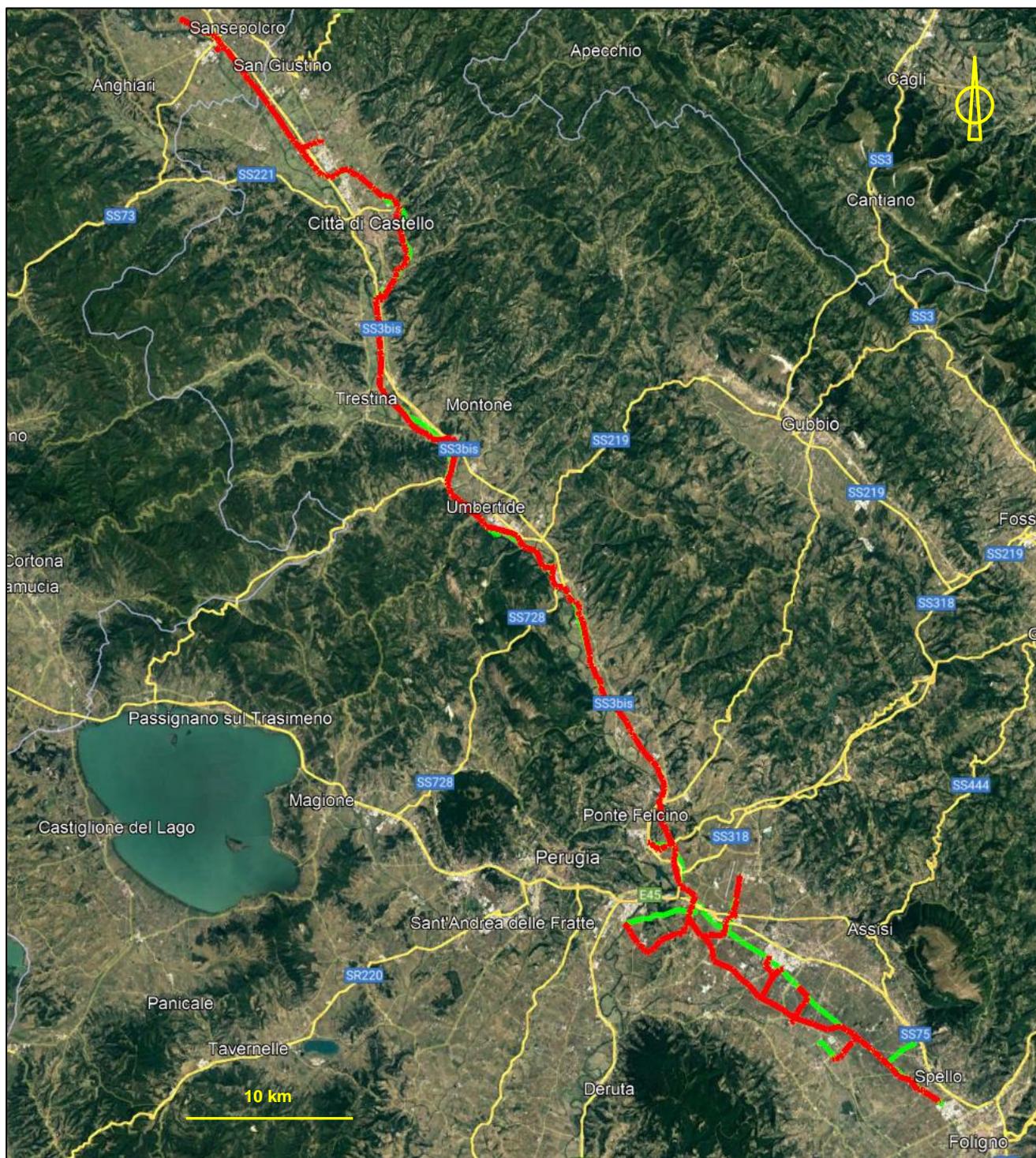


Figura 2/B - Inquadramento territoriale opere in costruzione (in rosso) e dismissione (in verde)

Il tracciato del metanodotto principale in oggetto con le relative opere connesse si snoda lungo la Valle Tiberina e la Valle Umbra con direzione generale NNW-SSE, rimanendo per la quasi totalità del suo sviluppo nelle piane alluvionali del F. Tevere e del F. Chiascio e Topino. Solo

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 12 di 42	Rev. 0

localmente per presenza di zone urbanizzate (Città di Castello e Umbertide) e per passare dalla Valle Tiberina alla Valle Umbra il tracciato interessa i fianchi vallivi collinari.

Il punto di partenza del metanodotto in progetto è ubicato presso l'impianto Lancio e Ricevimento Pig in località Gragnano Alto, in comune di Sansepolcro, mentre il punto di arrivo presso l'impianto Lancio e Ricevimento Pig in località La Pasciana in comune di Spello, con uno sviluppo complessivo di 96+734 km.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 13 di 42	Rev. 0

3 DATI DI CALCOLO

3.1 Parametri geotecnici

Per il calcolo dell'interazione tubo-terreno relativo ai tratti di tubazione in curva, si sono utilizzati i seguenti valori geotecnici:

Categoria di sottosuolo	C
Angolo di attrito	30°
Peso specifico	19 KN/m ³
Modulo di reazione laterale	10 N/mm ²

Tabella 3.1/A - Input geotecnici

La definizione della categoria di sottosuolo lungo il tracciato è stata effettuata tramite 16 prove geofisiche MASW e 3 Down Hole le quali hanno evidenziato la presenza di suoli di categoria B e C. I calcoli strutturali sono stati effettuati calcolando i parametri sismici al sito derivanti dall'assunzione più cautelativa di categoria C (v. Relazione di Pericolosità Sismica, LSC-106). In merito ai valori dei parametri geotecnici, essendo presenti lungo il tracciato prevalentemente terreni di origine alluvionale si sono scelti valori che si ritiene possano rappresentare anche situazioni di scarso addensamento (v. Report indagini geognostiche e geofisiche LSC-118).

3.2 Azione sismica di riferimento

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 17 gennaio 2018 "*Norme tecniche per le Costruzioni*". In analogia con il programma fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, la definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in tre fasi:

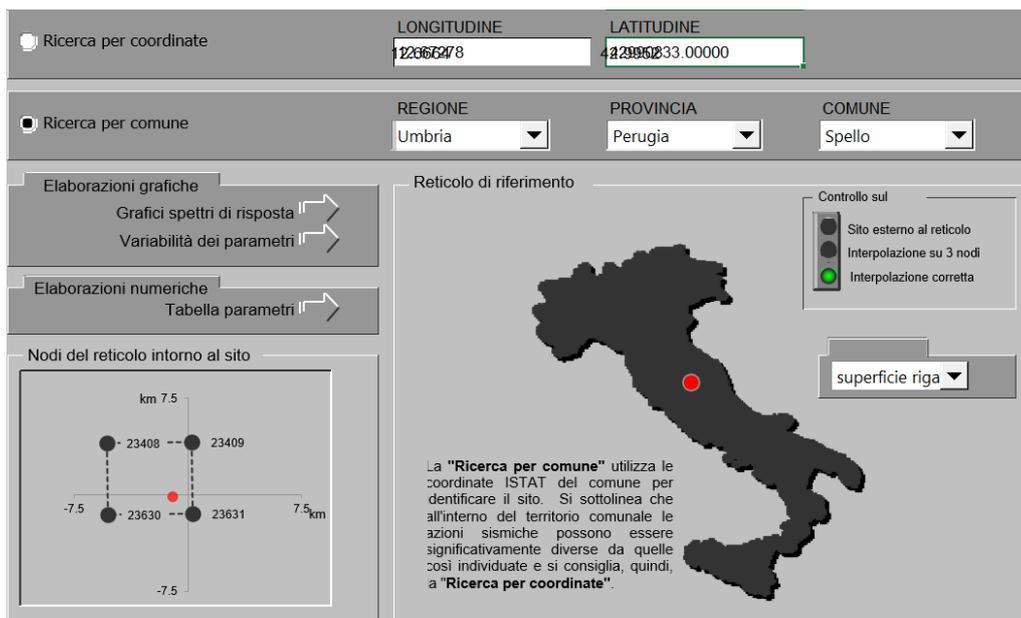
- Fase 1: Individuazione della pericolosità del sito
- Fase 2: Scelta delle strategie di progettazione
- Fase 3: Determinazione dell'azione di progetto

Si ripercorrono, dunque, le tre fasi per determinare innanzi tutto i parametri spettrali di riferimento a_g , F_0 e T_c^* e poi le forme spettrali per la struttura in esame.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 14 di 42	Rev. 0

FASE 1

Individuazione della pericolosità del sito. Si è scelta prudenzialmente l'areale a maggior pericolosità sismica lungo il tracciato, che ricade nell'ambito del comune di Spello.



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

Figura 3.2/A - Spettri di risposta ver. 1.03

FASE 2

In riferimento al D.M. 17/01/2018 l'opera viene analizzata con le seguenti caratteristiche:

Classe d'uso	IV	-
Vita nominale V_N	50	anni
Coefficiente d'uso C_U	2	-
Periodo di riferimento V_R	100	anni

Tabella 3.2/A - Input sismici

Nota il periodo di riferimento V_R si determinano i periodi di ritorno T_R in base alla probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{VR} associata ad ogni stato limite:

Stati limite		P_{VR} : Probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3.2/B - Probabilità di superamento del periodo V_R

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 15 di 42	Rev. 0

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	TR = 60
Stato limite di esercizio: danno	SLD	TR = 101
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	TR = 949
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	TR = 1950

Tabella 3.2/C - Tempo di ritorno per i diversi stati limite

FASE 3

Determinazione dell'azione di progetto corrispondente allo stato limite considerato, in questo caso lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Il valore utilizzato per il calcolo e la verifica delle tubazioni che si deformano analogamente al terreno, corrisponde al parametro sismico PGA (Peak Ground Acceleration), ossia il valore di accelerazione massima del suolo misurata nel corso di un terremoto o attesa in un determinato sito. Tale valore è una grandezza di significato analogo ad a_g , ma che tiene conto dell'influenza degli eventuali effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alle caratteristiche del sottosuolo o alla topografia.

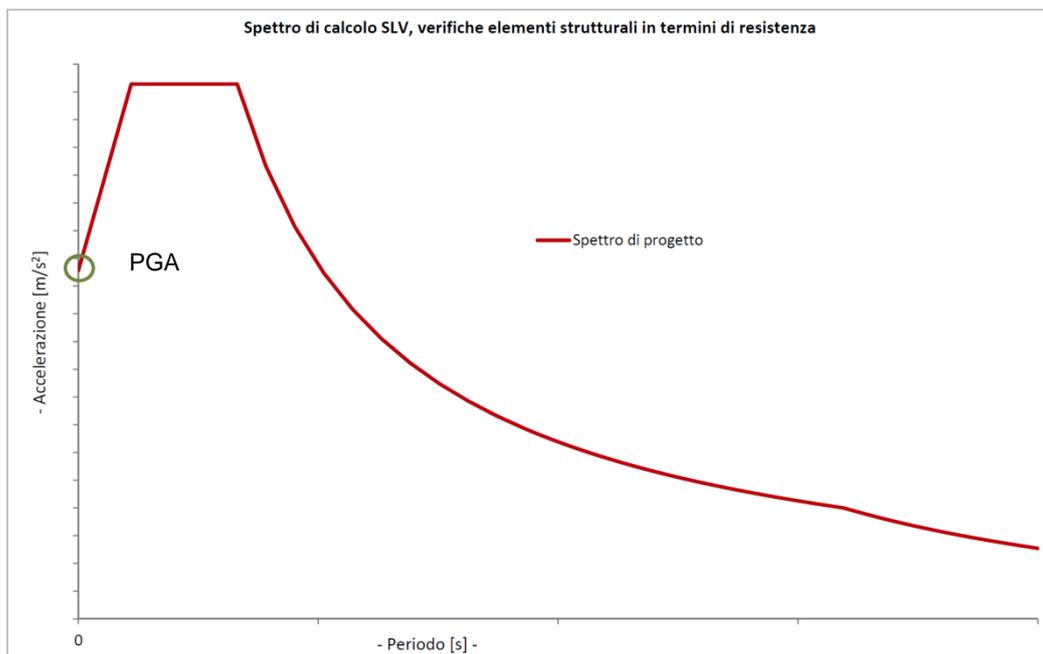


Figura 3.2/B - Spettro elastico per lo SLV

Al fine di ricostruire il modello geologico dell'area interessata dai lavori in oggetto è stata condotta una campagna geognostica lungo il tracciato in progetto. Si sono quindi calcolati i parametri sismici sulla base dei risultati delle indagini e delle prove MASW e DH eseguite, localizzate in pianta come nella planimetria sottostante (v. Fig. 3.2/C).

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 16 di 42	Rev. 0

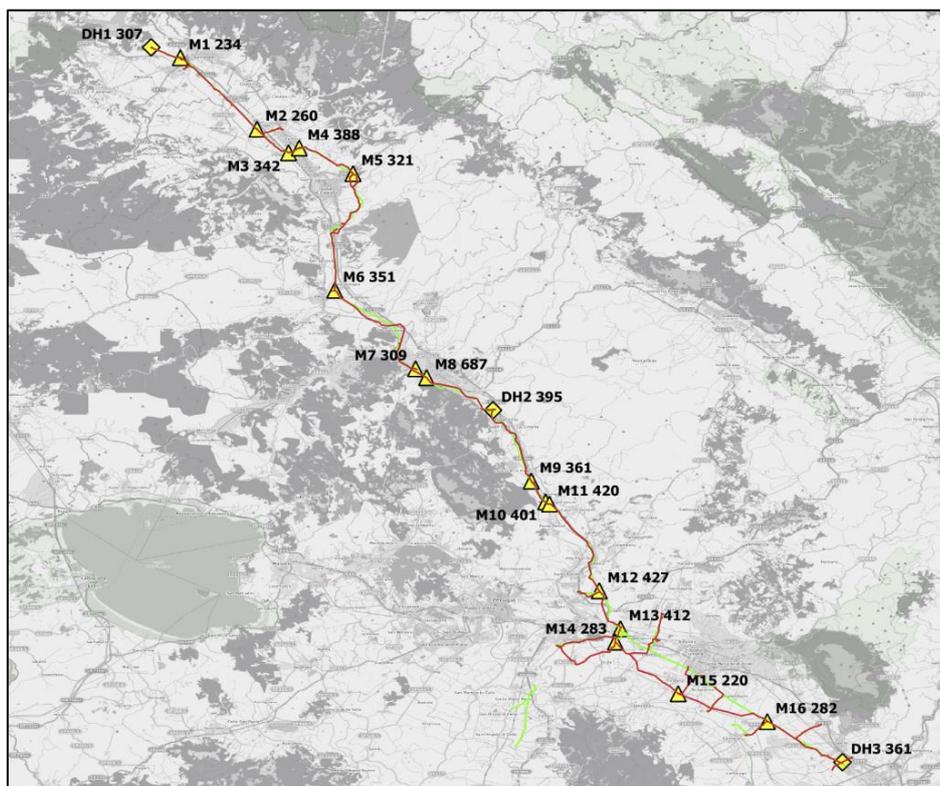


Figura 3.2/C – Localizzazione delle indagini Masw (M) e Down Hole (DH) con rispettivi valori di $V_{s,eq}$.

E' emerso che il sito con il più alto valore di pericolosità sismica in termini di a_g/g è risultato il tratto terminale in comune di Spello. Per tale sito sono stati calcolati i parametri sismici elencati nella seguente tabella, che sono stati per cautela utilizzati per le verifiche di tutti i tratti di metanodotto.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.103	2.339	0.281
SLD	101	0.128	2.337	0.286
SLV	949	0.290	2.421	0.323
SLC	1950	0.363	2.413	0.334

Tabella 3.2/D - Parametri sismici per il comune di Spello

Per i calcoli strutturali è stato adottato un valore di PGA al sito che tiene conto del fattore di amplificazione stratigrafico e topografico, pari a $PGA = 0.290 \times 1.5 \times 1.2 g = 0.523 g$.

Vengono di seguito elencati i valori dei parametri di input utilizzati per le verifiche dei tratti di tubazione compresi nel progetto.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 17 di 42	Rev. 0

DN (mm)	De (mm)	Sp (mm)	DP (bar)	PGA (a _g /g)
100	114	5.2	74	0.523
150	168	7.1	75	0.523
200	219.1	7	75	0.523
400	406	11.1	75	0.523

Tabella 3.2/E - Diametro nominale e pressione di progetto

Il calcolo viene effettuato per i vari diametri dei vari metanodotti previsti dal progetto (DN 100, DN 150, DN 200, DN 400) utilizzando la pressione di progetto DP 75 bar e la PGA attesa per lo stato SLV pari a $0,523 \cdot g = 5,19 \text{ m/s}^2$.

3.3 Condizioni di progetto

Si riportano la pressione di progetto e la differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio, utilizzate per la verifica in concomitanza allo scuotimento sismico della condotta in oggetto:

ΔT	45°C
DP	12 bar

Tabella 3.3/A - Differenza di temperatura e pressione di progetto

3.4 Parametri geometrici - meccanici

Di seguito si riportano i dati relativi alle condotte utilizzate per i vari metanodotti in progetto.

DN	100 (4")
Materiale	L360 NB/MB
Spessore in linea	5,2 mm
Spessore in curva	5,2 mm
Raggio di curvatura (3DN)	305 mm

DN	150 (6")
Materiale	L360 NB/MB
Spessore in linea	7,1 mm
Spessore in curva	7,1 mm
Raggio di curvatura (3DN)	457 mm

DN	200 (8")
Materiale	L360 NB/MB
Spessore in linea	7.0 mm
Spessore in curva	7.0 mm

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 18 di 42	Rev. 0

Raggio di curvatura (3DN)	657 mm
DN	400 (16")
Materiale	L360 NB/MB
Spessore in linea	11.1 mm
Spessore in curva	11.1 mm
Raggio di curvatura (3DN)	1218 mm

Tabella 3.4/A - Parametri geometrici-meccanici

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 19 di 42	Rev. 0

4 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

Il presente capitolo comprende 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.

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 dalle onde sinusoidali (Rif. [3], [4] e [5]), distinte come segue:

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

Nei tratti di tubazione rettilinea le onde primarie P (onde di compressione) sono le onde di volume più veloci e determinano le massime sollecitazioni assiali di contrazione e dilatazione durante la prima parte del moto. Le onde secondarie S (onde di taglio) sono responsabili delle massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto; di fatto imprimono alla roccia e al terreno circostante deformazioni trasversali alla direzione normale in cui viaggia e hanno un potenziale di danneggiamento maggiore rispetto alle onde P. I fenomeni descritti non avvengono tuttavia contemporaneamente.

Le onde superficiali R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda, lungo un'ellisse giacente nel piano perpendicolare alla superficie di discontinuità e contenente la direzione di propagazione. La loro energia decade esponenzialmente con la profondità.

Le onde L hanno le medesime caratteristiche del moto dell'onda S che non possiede alcuna componente verticale e generano moti del suolo sul piano orizzontale parallelo alla superficie terrestre e ortogonali alla direzione di propagazione dell'onda. Anche l'energia di tali onde decade esponenzialmente con la profondità.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 20 di 42	Rev. 0

Dal momento che i metanodotti sono, generalmente, posti a limitata profondità dal piano campagna (1÷3 m), sono da ritenersi interessanti sia le onde di volume che quelle di superficie. Tra le onde di volume, le onde di tipo S portano più energia e generano maggiori spostamenti di terreno rispetto alle onde P. Per le onde di superficie invece si considerano solo le onde R, in quanto inducono tensioni longitudinali significativamente maggiori rispetto alle tensioni flessionali indotte dalle onde L.

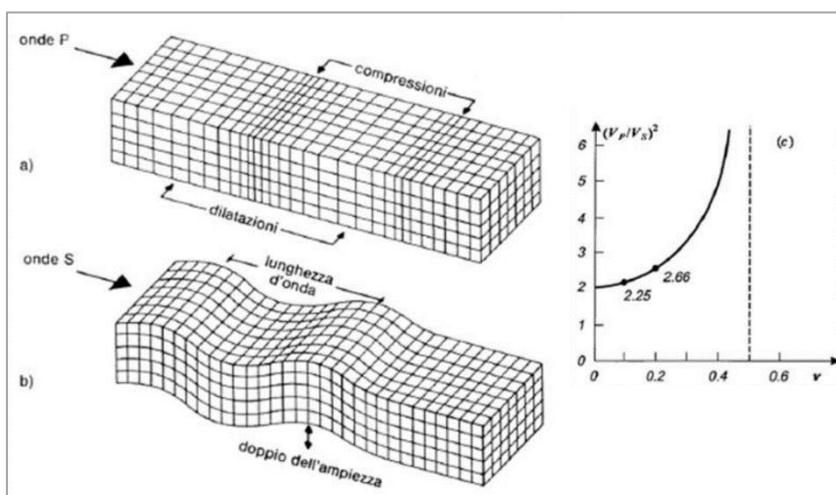


Figura 4/A - Rappresentazione grafica delle deformazioni generate dal passaggio dei diversi tipi di onde elastiche propagantisi nella stessa direzione: (a) onda longitudinale; (b) onda trasversale. (c) Dipendenza del rapporto fra velocità di propagazione dal coefficiente di Poisson (Faccioli, 2005)

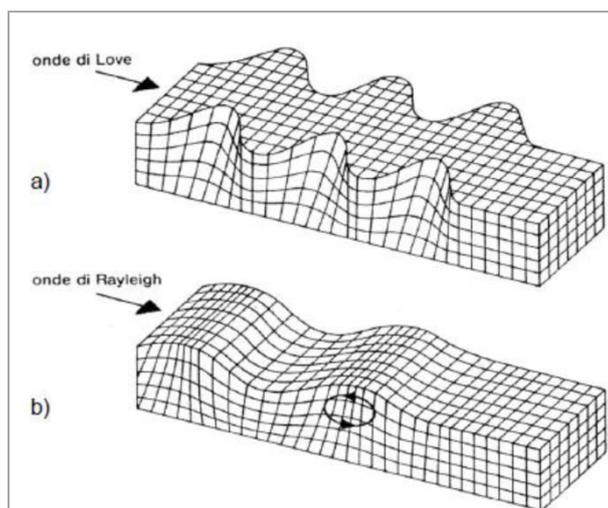


Figura 4/B- Rappresentazione grafica delle deformazioni generate dal passaggio dei diversi tipi di onde elastiche propagantisi nella stessa direzione: (a) onda di superficie tipo Love; (b) onda di superficie tipo Rayleigh

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 21 di 42	Rev. 0

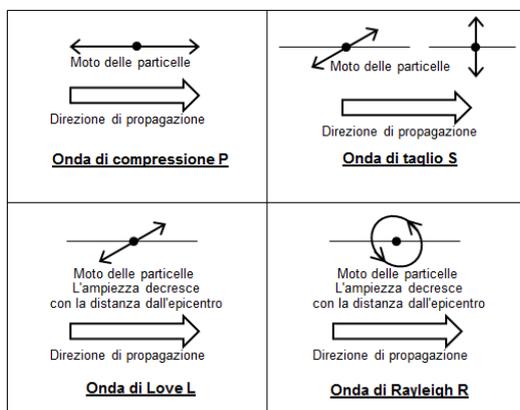


Figura 4/C - Moto delle particelle di terreno per i vari tipi di onde sismiche

Poiché attualmente non è disponibile una Normativa Italiana finalizzata all'analisi sismica delle tubazioni interrato, la metodologia di verifica applicata è stata sviluppata secondo le indicazioni della Normativa sismica Americana Rif. [4] e Rif. [3].

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.

Seguendo le indicazioni delle ultime normative ALA ASCE FEMA 2005 "Guidelines for the Design of Buried Steel pipe [4], si assume una velocità di propagazione dell'onda sismica "C", pari a 2000 m/s.

3.5 Criterio di verifica

La verifica allo scuotimento sismico è condotta operando una sostanziale distinzione fra tratto rettilineo di tubazione (cap.3.2) e tratto in curva (cap.3.3). Le tensioni indotte dal sisma sulla tubazione, in ciascuno dei suddetti scenari, sono calcolate secondo l'approccio proposto dalle ASCE 1984 (Rif.[3], [4] e [5]).

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 di instabilità possono verificarsi per un accorciamento percentuale superiore a ϵ_{cr} , dato dalla seguente espressione (Rif.[3]):

$$\epsilon_{cr} = 0.35 t/(D-t)$$

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 22 di 42	Rev. 0

Secondo la teoria di Fourier, l'onda sismica in movimento può essere scomposta in una sommatoria di onde sinusoidali semplici e considerare la condotta investita dalle seguenti onde:

- onde primarie di volume P
- onde secondarie di volume S
- onde superficiali R

Gli effetti sulla condotta provocati dalle onde sismiche sono variabili in funzione dell'angolo di incidenza tra la direzione della propagazione sismica e l'asse della tubazione. Pertanto a favore di sicurezza, vengono considerati gli angoli che comportano la massimizzazione delle deformazioni.

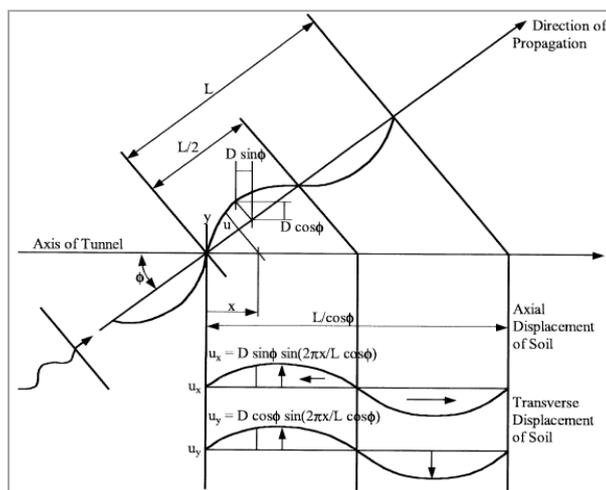


Figura 4.1/A - Geometria di un'onda S sinusoidale obliqua all'asse della condotta

3.6 Metodologia di calcolo tratto rettilineo

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif.[3]) 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 il suolo circostante si deforma 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, e della rigidità torsionale elevata della sezione circolare, viene effettuata un'analisi statica degli effetti del sisma, trascurando l'amplificazione elastica.

3.6.1 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, secondo il modello rigido di Newmark (1967) (Rif.[3]) è di seguito riportata:

$$\varepsilon_g = v / \alpha_\varepsilon c$$

dove:

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 23 di 42	Rev. 0

- v massima velocità del terreno;
- c velocità di propagazione dell'onda sismica;
- α_ε coefficiente di deformazione, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

La massima curvatura della condotta è espressa dalla formula seguente (Rif.[3]):

$$k_g = a / (\alpha_k c)^2$$

dove:

- a massima accelerazione del terreno;
- c velocità di propagazione dell'onda;
- α_k coefficiente di curvatura, dipendente dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta.

Nel caso delle onde S, la direzione di propagazione è ortogonale al moto delle particelle solide come mostrato in figura 4.2.1/A.

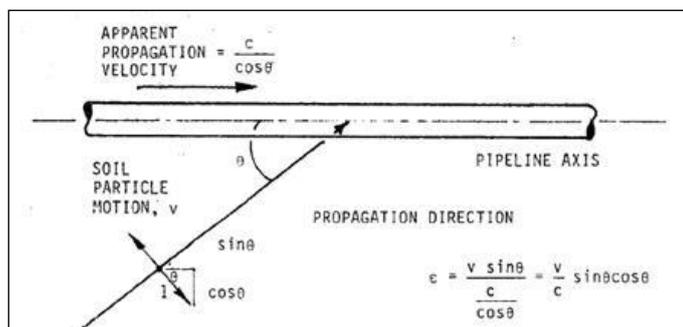


Figura 4.2.1/A - Effetto longitudinale delle onde di taglio sul tubo (ASCE, 1984 - Appendice B).

Essendo l'angolo di incidenza generalmente sconosciuto, si assume il valore per il quale si hanno le deformazioni ε massime del terreno, ovvero per valori di θ pari a 45° :

$$\varepsilon = \frac{v}{c} \sin 45^\circ \cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{v}{c} = \frac{v}{2c}$$

Le onde P invece inducono nel suolo movimenti nella medesima direzione di quella di propagazione come mostrato in figura 4.2.1/B.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 24 di 42	Rev. 0

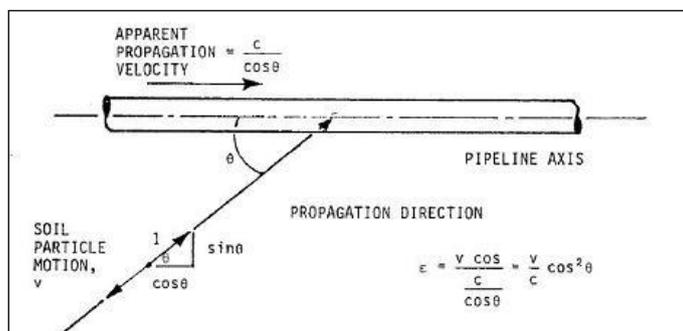


Figura 4.2.1/B- Effetto longitudinale delle onde di compressione sul tubo (ASCE,1984-Appendice B).

Il valore dell'angolo di incidenza per il quale si hanno le deformazioni ϵ maggiori del terreno risulta essere per valori di θ pari a 0° , ovvero:

$$\epsilon = \frac{v}{c} \cos 0^\circ = \frac{v}{c}$$

Le onde di superficie hanno generalmente una componente sia perpendicolare che parallela alla direzione di propagazione dell'onda; si considera il caso conservativo nella direzione corrispondente all'asse della tubazione.

Analogamente alle onde P, per le onde superficiali di Rayleigh (onde R) si considera un angolo θ pari a 0° .

$$\epsilon = \frac{v}{c} \cos 0^\circ = \frac{v}{c}$$

Per il calcolo delle deformazioni prodotte da ciascun tipo di onda si riporta di seguito la tabella tratta dall'Appendice B del Rif. [3], con i relativi coefficienti di amplificazione della velocità di propagazione (α_ϵ , α_k), derivanti massimizzando l'effetto dell'angolo di incidenza.

Tipo Onda	Massima deformazione	Fattori
S	$\epsilon_g = -\frac{v}{2c}$	$\alpha_\epsilon=2.0$
	$k_g = \frac{a}{c^2}$	$\alpha_k=1.0$
P	$\epsilon_g = -\frac{v}{c}$	$\alpha_\epsilon=1.0$
	$k_g = \frac{a}{2.6c^2}$	$\alpha_k=1.6$
R	$\epsilon_g = -\frac{v}{c}$	$\alpha_\epsilon=1.0$
	$k_g = \frac{a}{c^2}$	$\alpha_k=1.0$

Figura 4.2.1/C - Massima deformazione sismica (Ground strain coefficients)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 25 di 42	Rev. 0

3.6.2 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).

$$\sigma_{\epsilon, \text{sisma}} = (\sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^S + \sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^P + \sigma_{\epsilon, \text{sisma}}^R)^{1/2}$$

$$\sigma_{k, \text{sisma}} = (\sigma_{k, \text{sisma}}^S + \sigma_{k, \text{sisma}}^P + \sigma_{k, \text{sisma}}^R)^{1/2}$$

La massima tensione dovuta all'evento sismico risulta quindi:

$$\sigma_{\text{sisma}} = \sigma_{\epsilon, \text{sisma}} + \sigma_{k, \text{sisma}}$$

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

- “Unrestrained pipe”
- “Restrained pipe”

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:

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

con:

$$\sigma_{L0} = 0.5 \sigma_H + \sigma_{\text{Curva}}^{\text{SISMA}}$$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

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:

$$\sigma_{LT} \leq 0.90 \sigma_y$$

con:

$$\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\text{SISMA}}$$

dove:

$$\sigma_H = PD/2t$$

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

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:

$$\sigma_{VM} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \sigma_H)^{1/2}$$

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 26 di 42	Rev. 0

3.7 Metodologia di calcolo per la 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.[3]) secondo la formula seguente:

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3k_w} \left(\sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_{\max} k_w}{2t_u \lambda}} - 1 \right)$$

$$t_u = \frac{\pi D}{2} \gamma_t H (1 + k_0) \text{tg} \delta + W_p \text{tg} \delta$$

dove:

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

con:

- ε_{\max} massima deformazione del terreno
- k_w modulo di reazione laterale
- I momento d'inerzia della sezione
- K_0 coefficiente di spinta a riposo

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

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

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

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

con:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12(\text{tr}_0/R^2)^2}$$

Il momento flettente sulla curva è:

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 27 di 42	Rev. 0

Il fattore di intensificazione dello stress:

$$K_1 = \frac{2}{3K^*} \left\{ 3 \left[\frac{6}{5 + 6(tr_0/R^2)^2} \right] \right\}^{-1/2}$$

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

$$\sigma^{S_{SISMA}} = S/A_p$$

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

$$\sigma^{M_{SISMA}} = K_1 M D / 2I$$

3.7.1 Applicazione del criterio di verifica

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

$$\sigma^{Curva_{SISMA}} = \sigma^{S_{SISMA}} + \sigma^{M_{SISMA}}$$

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:

$$\sigma_{LO} \leq 0.75 \sigma_y$$

$$\text{con: } \sigma_{LO} = 0.5 \sigma_H + \sigma^{Curva_{SISMA}}$$

$$\text{dove: } \sigma_H = PD/2t$$

In riferimento alla norma ASME B31.8, paragrafo 833.4 punto (f), sul tratto in curva non si esegue il controllo sulla combinazione delle tensioni poiché tale verifica è prescritta esclusivamente per porzioni rettilinee di tubazione.

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:

$$\sigma_{LT} \leq 0.90 \sigma_y$$

$$\text{con: } \sigma_{LT} = \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma^{Curva_{SISMA}}$$

$$\text{dove: } \sigma_H = PD/2t$$

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 28 di 42	Rev. 0

5 SINTESI DEI RISULTATI

Di seguito si riassumono i risultati delle verifiche sulla tubazione in progetto, secondo i criteri precedentemente specificati. Per maggiori informazioni fare riferimento all'Appendice 1 allegata a questo documento.

CONDOTTA	Tratto rettilineo		Tratto curvilineo	
DN 100 (4") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,29 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,22 < 0,75 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,41 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_Y=$	0,36 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,34 < 0,90 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,04 < 1,00 Verificato		
DN 150 (6") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,30 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,23 < 0,75 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,41 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_Y=$	0,35 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,34 < 0,90 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,04 < 1,00 Verificato		
DN 200 (12") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,34 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,25 < 0,75 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,38 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_Y=$	0,36 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,29 < 0,90 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,05 < 1,00 Verificato		
DN 400 (12") 75 bar	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,36 < 0,75 Verificato	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_Y=$	0,26 < 0,75 Verificato
	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,37 < 0,90 Verificato		
	$F_{COMBO}=\sigma_{COMBO}/\sigma_Y=$	0,37 < 1,00 Verificato	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_Y=$	0,26 < 0,90 Verificato
	$\epsilon/\epsilon_{CR}=$	0,07 < 1,00 Verificato		

Tabella 5/A - Sintesi dei risultati

Come è possibile osservare dai risultati della tabella, tutti i valori delle verifiche risultano sotto i limiti di resistenza dell'acciaio utilizzato con un fattore di sicurezza ben maggiore di quanto prescritto dalla norma ASME B31.8.

Le verifiche evidenziano inoltre l'idoneità dello spessore della tubazione nel farsi carico delle sollecitazioni trasmesse dall'oscillazione del terreno durante l'evento sismico.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 29 di 42	Rev. 0

APPENDICE 1

RISULTATI DELLE VERIFICHE STRUTTURALI ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 30 di 42	Rev. 0

DN 100 75 bar

DATI DI INGRESSO

Input sismici

Vita nominale	V_N	50	anni
Classe d'uso	-	IV	
Coefficiente d'uso	C_U	2	-
Periodo di riferimento	V_R	100	anni
Stato limite	-	SLV	
Probabilità di superamento	P_{VR}	10%	
Periodo di ritorno	T_R	949	anni
Latitudine	(ED50)	42,991	°
Longitudine	(ED50)	12,673	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a_g	0,2905	$\cdot g = 2,850 \text{ m/s}^2$
Accelerazione	g	9,81	m/s^2
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C^*	0,323	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F_O	2,420	-
Categoria sottosuolo	-	C	-
Categoria topografica	-	T2	-

Input geometrici - meccanici - sollecitazioni

Diametro nominale	D_N	100	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	Tipo 1
Diametro esterno tubazione	D_e	114	mm
Spessore tubazione	t	5,20	mm
Diametro interno tubazione	D_i	103,9	mm
Accorciamento critico	$\epsilon_{CR}=0,35 \cdot t/(D-t)$	0,0167	- (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E	205000	N/mm^2
Modulo di Poisson	ν	0,3	-
Tensione di snervamento	σ_y	360	N/mm^2
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α	0,000012	$1/^\circ\text{C}$
Peso specifico acciaio	γ_p	78,5	KN/m^3
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C	2000	m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT	45	$^\circ\text{C}$
Pressione di esercizio	P	75	bar = 7,5 N/mm^2
Modulo di reazione laterale	K_W	10	N/mm^2
Angolo di attrito	ϕ	30	$^\circ = 0,524$ radianti
Rivestimento	-	Polietilene	-
Profondità di posa	H	1,5	m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ_t	19	$\text{KN/m}^3 = 0,00002 \text{ N/mm}^3$

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 31 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione	F_a	1,800	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,492	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot F_a$	0,523	$\cdot g = 5,129 \text{ m/s}^2$ (7.2.5 NTC18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot F_a \cdot T_C$	0,404	m/s (3.2.3.3 NTC18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00010101	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000049	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	20,71	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	41,41	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	41,41	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^R^2)^{1/2}$	62,12	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,02	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,006	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,02	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S^2 + \sigma_{k, sisma}^P^2 + \sigma_{k, sisma}^R^2)^{1/2}$	0,02	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	62,14	N/mm ²
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ² (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	82,43	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	103,36	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	148,12	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	128,54	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000627	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,29	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,41	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,36	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,04	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 32 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta=0,6 \phi$	18	° = 0,31 rad
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0=1-\sin\phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max}=v/c$	0,00020202	
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	2656457	mm ⁴
Diametro interno	Dc_i	104	mm
Spessore tubazione	t_c	5,2	mm
Diametro esterno	Dc_e	114,3	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	1781	mm ²
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00146376	mm ⁻¹
Peso lineare del tubo	W_p	1,04	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	2,83	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	$r03$	305	mm
Raggio della tubazione	R	57,15	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,29850	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,333	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	22511,67	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	2,23	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	9,22	KN
Momento flettente della curva	M	1106,20	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	5,18	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	31,73	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	36,91	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T}=\alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ²
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H=P \cdot D/2t$	82,43	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	78,12	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	122,88	N/mm ²
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,22	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,34	< 0,90 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 33 di 42	Rev. 0

DN 150 75 bar

DATI DI INGRESSO

Input sismici

Vita nominale	V_N	50	anni
Classe d'uso	-	IV	
Coefficiente d'uso	C_U	2	-
Periodo di riferimento	V_R	100	anni
Stato limite	-	SLV	
Probabilità di superamento	P_{VR}	10%	
Periodo di ritorno	T_R	949	anni
Latitudine	(ED50)	42,991	°
Longitudine	(ED50)	12,673	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a_g	0,2905	$\cdot g = 2,850 \text{ m/s}^2$
Accelerazione	g	9,81	m/s^2
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C^*	0,323	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F_O	2,420	-
Categoria sottosuolo	-	C	-
Categoria topografica	-	T2	-

Input geometrici - meccanici - sollecitazioni

Diametro nominale	D_N	150	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	Tipo 2
Diametro esterno tubazione	D_e	168	mm
Spessore tubazione	t	7,10	mm
Diametro interno tubazione	D_i	154,1	mm
Accorciamento critico	$\epsilon_{CR}=0,35 \cdot t/(D-t)$	0,0154	- (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E	205000	N/mm^2
Modulo di Poisson	ν	0,3	-
Tensione di snervamento	σ_y	360	N/mm^2
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α	0,000012	$1/^\circ\text{C}$
Peso specifico acciaio	γ_p	78,5	KN/m^3
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C	2000	m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT	45	$^\circ\text{C}$
Pressione di esercizio	P	75	bar = 7,5 N/mm^2
Modulo di reazione laterale	K_W	10	N/mm^2
Angolo di attrito	ϕ	30	$^\circ = 0,524$ radianti
Rivestimento	-	Polietilene	-
Profondità di posa	H	1,5	m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ_t	19	$\text{KN/m}^3 = 0,00002 \text{ N/mm}^3$

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 34 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione	F_a	1,800	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,492	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot F_a$	0,523	$\cdot g = 5,129 \text{ m/s}^2$ (7.2.5 NTC18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot F_a \cdot T_C$	0,404	m/s (3.2.3.3 NTC18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00010101	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000049	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	20,71	N/mm^2
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	41,41	N/mm^2
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	41,41	N/mm^2
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^R^2)^{1/2}$	62,12	N/mm^2
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,02	N/mm^2
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,009	N/mm^2
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,02	N/mm^2
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S^2 + \sigma_{k, sisma}^P^2 + \sigma_{k, sisma}^R^2)^{1/2}$	0,03	N/mm^2
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	62,15	N/mm^2
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm^2 (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	88,89	N/mm^2 (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	106,60	N/mm^2 (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	146,19	N/mm^2 (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	127,58	N/mm^2
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000622	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,30	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,41	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,35	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,04	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 35 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta=0,6 \cdot \phi$	18	° = 0,31 rad
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0=1-\sin\phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max}=v/c$	0,00020202	
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	11695931	mm ⁴
Diametro interno	Dc_i	154	mm
Spessore tubazione	t_c	7,1	mm
Diametro esterno	Dc_e	168,3	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	3594	mm ²
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00101050	mm ⁻¹
Peso lineare del tubo	W_p	0,28	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	3,76	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	$r03$	457	mm
Raggio della tubazione	R	84,15	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,28112	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,398	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	33806,44	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	3,35	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	19,79	KN
Momento flettente della curva	M	3179,45	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	5,51	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	31,99	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	37,50	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T}=\alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ²
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H=P \cdot D/2t$	88,89	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	81,94	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	121,53	N/mm ²
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,23	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,34	< 0,90 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 36 di 42	Rev. 0

DN 200 75 bar

DATI DI INGRESSO

Input sismici

Vita nominale	V_N	50	anni
Classe d'uso	-	IV	
Coefficiente d'uso	C_U	2	-
Periodo di riferimento	V_R	100	anni
Stato limite	-	SLV	
Probabilità di superamento	P_{VR}	10%	
Periodo di ritorno	T_R	949	anni
Latitudine	(ED50)	42,991	°
Longitudine	(ED50)	12,673	°
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a_g	0,2905	$\cdot g = 2,850 \text{ m/s}^2$
Accelerazione	g	9,81	m/s^2
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C^*	0,323	s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F_O	2,420	-
Categoria sottosuolo	-	C	-
Categoria topografica	-	T2	-

Input geometrici - meccanici - sollecitazioni

Diametro nominale	D_N	200	mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2	< >	Tipo 2
Diametro esterno tubazione	D_e	219	mm
Spessore tubazione	t	7,00	mm
Diametro interno tubazione	D_i	205,1	mm
Accorciamento critico	$\epsilon_{CR}=0,35 \cdot t/(D-t)$	0,0116	- (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E	205000	N/mm^2
Modulo di Poisson	ν	0,3	-
Tensione di snervamento	σ_y	360	N/mm^2
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α	0,000012	$1/^\circ\text{C}$
Peso specifico acciaio	γ_p	78,5	KN/m^3
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C	2000	m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT	45	$^\circ\text{C}$
Pressione di esercizio	P	75	bar = 7,5 N/mm^2
Modulo di reazione laterale	K_W	10	N/mm^2
Angolo di attrito	ϕ	30	$^\circ = 0,524$ radianti
Rivestimento	-	Polietilene	-
Profondità di posa	H	1,5	m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ_t	19	$\text{KN/m}^3 = 0,00002 \text{ N/mm}^3$

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 37 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione	F_a	1,800	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,492	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot F_a$	0,523	$\cdot g = 5,129 \text{ m/s}^2$ (7.2.5 NTC18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot F_a \cdot T_C$	0,404	m/s (3.2.3.3 NTC18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00010101	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000049	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	20,71	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	41,41	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	41,41	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^R^2)^{1/2}$	62,12	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,03	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,011	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,03	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S^2 + \sigma_{k, sisma}^P^2 + \sigma_{k, sisma}^R^2)^{1/2}$	0,04	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	62,16	N/mm ²
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ² (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	117,38	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	120,85	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -V \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	137,65	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	128,72	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000628	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,34	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,38	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,36	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,05	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 38 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta=0,6 \cdot \phi$	18	° = 0,31 rad
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0=1-\sin\phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max}=v/c$	0,00020202	
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	26244149	mm ⁴
Diametro interno	Dc_i	205	mm
Spessore tubazione	t_c	7	mm
Diametro esterno	Dc_e	219,1	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	4662	mm ²
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00082564	mm ⁻¹
Peso lineare del tubo	W_p	0,37	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	4,90	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	$r03$	610	mm
Raggio della tubazione	R	109,55	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,21869	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,724	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	33950,92	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	3,41	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	23,48	KN
Momento flettente della curva	M	3454,66	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	5,04	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	24,87	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	29,90	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T}=\alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ²
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H=P \cdot D/2t$	117,38	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	88,59	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	105,39	N/mm ²
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,25	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,29	< 0,90 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 39 di 42	Rev. 0

DN 400 75 bar

DATI DI INGRESSO	
Input sismici	
Vita nominale	V_N 50 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso	C_U 2
Periodo di riferimento	V_R 100 anni
Stato limite	SLV
Probabilità di superamento	P_{VR} 10%
Periodo di ritorno	T_R 949 anni
Latitudine (ED50)	42,991 °
Longitudine (ED50)	12,673 °
Acc. orizzontale massima sul periodo di riferimento	a_g 0,2905 $\cdot g = 2,850 \text{ m/s}^2$
Accelerazione	g 9,81 m/s^2
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C^* 0,323 s
Valore max del fattore di amplificazione dello spettro	F_O 2,420
Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T2
Input geometrici - meccanici - sollecitazioni	
Diametro nominale	D_N 400 mm
Tipo di tubazione	Tipo1 / Tipo2 < > Tipo 2
Diametro esterno tubazione	D_e 406 mm
Spessore tubazione	t 11,10 mm
Diametro interno tubazione	D_i 384,2 mm
Accorciamento critico	$\epsilon_{CR}=0,35 \cdot t/(D-t)$ 0,0098 - (ASCE 1984)
Modulo di elasticità di Young	E 205000 N/mm^2
Modulo di Poisson	ν 0,3
Tensione di snervamento	σ_y 360 N/mm^2
Coefficiente di dilatazione termica lineare	α 0,000012 $1/^\circ\text{C}$
Peso specifico acciaio	γ_p 78,5 KN/m^3
Velocità di propagazione dell'onda sismica	C 2000 m/s
Differenza di temperatura tra l'installazione e l'esercizio	ΔT 45 $^\circ\text{C}$
Pressione di esercizio	P 75 bar = 7,5 N/mm^2
Modulo di reazione laterale	K_W 10 N/mm^2
Angolo di attrito	ϕ 30 ° = 0,524 radianti
Rivestimento	Polietilene
Profondità di posa	H 1,5 m = 1500 mm
Peso specifico del terreno	γ_t 19 $\text{KN/m}^3 = 0,00002 \text{ N/mm}^3$

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 40 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO RETTILINEO			
Calcolo delle azioni sismiche secondo le NTC 2018			
Coefficiente di amplificazione	F_a	1,800	-
Periodo d'inizio del tratto a velocità cost. dello spettro	T_C	0,492	s
Acc.orizzontale massima sul sito di riferimento	$PGA=a_g \cdot F_a$	0,523	$\cdot g = 5,129 \text{ m/s}^2$ (7.2.5 NTC18)
Velocità orizzontale del terreno	$V_g=0,16 \cdot a_g \cdot F_a \cdot T_C$	0,404	m/s (3.2.3.3 NTC18)
Calcolo delle deformazioni indotte dal sisma sul terreno rettilineo			
Deformazione onde tipo S	$\epsilon_{sisma}^S = V_g / 2C$	0,00010101	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo P	$\epsilon_{sisma}^P = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Deformazione onde tipo R	$\epsilon_{sisma}^R = V_g / C$	0,00020202	- (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo S	$k_{sisma}^S = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo P	$k_{sisma}^P = PGA / (2,6 \cdot C^2)$	0,00000049	m^{-1} (ASCE 1984)
Curvatura onde tipo R	$k_{sisma}^R = PGA / C^2$	0,00000128	m^{-1} (ASCE 1984)
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo			
Tensione sismica def. onde tipo S	$\sigma_{\epsilon, sisma}^S = E \cdot \epsilon_{sisma}^S$	20,71	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo P	$\sigma_{\epsilon, sisma}^P = E \cdot \epsilon_{sisma}^P$	41,41	N/mm ²
Tensione sismica def. onde tipo R	$\sigma_{\epsilon, sisma}^R = E \cdot \epsilon_{sisma}^R$	41,41	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica deformazione	$\sigma_{\epsilon, sisma} = (\sigma_{\epsilon, sisma}^S^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^P^2 + \sigma_{\epsilon, sisma}^R^2)^{1/2}$	62,12	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo S	$\sigma_{k, sisma}^S = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^S$	0,05	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo P	$\sigma_{k, sisma}^P = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^P$	0,021	N/mm ²
Tensione sismica curvatura onde tipo R	$\sigma_{k, sisma}^R = E \cdot D / 2 \cdot k_{sisma}^R$	0,05	N/mm ²
Inviluppo tensione sismica curvatura	$\sigma_{k, sisma} = (\sigma_{k, sisma}^S^2 + \sigma_{k, sisma}^P^2 + \sigma_{k, sisma}^R^2)^{1/2}$	0,08	N/mm ²
Massima tensione sismica	$\sigma_{sisma} = \sigma_{\epsilon, sisma} + \sigma_{k, sisma}$	62,20	N/mm ²
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto rettilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ² (833.2 ASME B31.8)
Tensione circonferenziale dovuta alla presione interna	$\sigma_H = P \cdot D / 2t$	137,30	N/mm ² (805.2.3 ASME B31.8)
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO} = 0,5 \cdot \sigma_H + \sigma_{\epsilon, sisma}$	130,85	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT} = -\nu \cdot \sigma_H + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{sisma}$	131,71	N/mm ² (833.6 ASME B31.8)
Tensione equivalente totale (criterio di Von Mises)	$\sigma_{COMB} = (\sigma_{LT}^2 + \sigma_H^2 - \sigma_{LT} \cdot \sigma_H)^{1/2}$	134,59	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto rettilineo secondo la ASCE 1984			
Accorciamento sismico	$\epsilon = \sigma_{COMB} / E$	0,000657	-
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO} = \sigma_{LO} / \sigma_y$	0,36	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT} = \sigma_{LT} / \sigma_y$	0,37	< 0,90 Verificato
Rapporto tra tensioni di prog. combinate e snervamer	$F_{COMBO} = \sigma_{COMBO} / \sigma_y$	0,37	< 1 Verificato
Rapporto tra def. ottenuta e def. critica	ϵ / ϵ_{CR}	0,07	< 1 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 41 di 42	Rev. 0

VERIFICA TRATTO CURVILINEO			
Angolo di attrito tubo terreno	$\delta=0,6 \cdot \phi$	18	° = 0,31 rad
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0=1-\sin\phi$	0,50	
Deformazione massima	$\epsilon_{max}=v/c$	0,00020202	
Momento di inerzia	$I=\pi(Dc_e^4-Dc_i^4)/64$	269330404	mm ⁴
Diametro interno	Dc_i	384	mm
Spessore tubazione	t_c	11,1	mm
Diametro esterno	Dc_e	406,4	mm
Area sezione trasversale del tubo	A_p	13778	mm ²
Parametro per le travi su fondazione elastica	$\lambda=(K_w/4EI)^{1/4}$	0,00046129	mm ⁻¹
Peso lineare del tubo	W_p	0,85	KN/m
Forza d'attrito lineare del tubo	t_u	9,14	N/mm
Curvatura	-	3 diametri	
Raggio della curva prefabbricata	$r03$	1219	mm
Raggio della tubazione	R	203,2	mm
Coefficiente per calcolo delle curve flessibili	K^*	0,20274	-
Fattore di intensificazione dello stress	K_1	1,841	-
Lunghezza di scorrimento del tubo	L'	54027,88	mm
Spostamento per scorrimento del tubo nel terreno	Δ	5,49	mm
Forza assiale sul tratto rettilineo parallelo all'onda sismica	s	66,34	KN
Momento flettente della curva	M	14812,91	KNmm
Calcolo delle tensioni indotte dal sisma sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione assiale dovuta alla forza s	$\sigma_{SISMA}^S=s/A_p$	4,82	N/mm ²
Tensione di flessione dovuta al momento M	$\sigma_{SISMA}^M=K_1MD/2I$	20,58	N/mm ²
Tensione totale sismica	σ_{SISMA}^{TOT}	25,39	N/mm ²
Verifica delle tensioni e della deformazione sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Tensione di compressione da espansione termica	$\sigma_{\Delta T}=\alpha \cdot \Delta T \cdot E$	110,70	N/mm ²
Tensione circonferenziale dovuta alla pressione interna	$\sigma_H=P \cdot D/2t$	137,30	N/mm ²
Longitudinal stress in unrestrained pipe	$\sigma_{LO}=0,5 \cdot \sigma_H+\sigma_{\epsilon,sisma}$	94,04	N/mm ²
Longitudinal stress in restrained pipe	$\sigma_{LT}=-v \cdot \sigma_H+\sigma_{\Delta T}+\sigma_{sisma}$	94,90	N/mm ²
Verifica delle tensioni sul tratto curvilineo secondo la B31.8			
Verifica Unrestrained pipe	$F_{LO}=\sigma_{LO}/\sigma_y$	0,26	< 0,75 Verificato
Verifica Restrained pipe	$F_{LT}=\sigma_{LT}/\sigma_y$	0,26	< 0,90 Verificato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI UMBRIA E TOSCANA	LSC - 107	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 42 di 42	Rev. 0

ALLEGATI DI RIFERIMENTO PRESENTI NEL SIA E ANNESSI

Progetto

- **Met. Sansepolcro-Foligno DN 400 (16") –DP 75 bar**
 - PG-TP-001 Tracciato di Progetto (1:10.000)
- **Met. Sansepolcro-Foligno DN 400 (16") –DP 75 bar opere connesse**
 - PG-TP-002 Tracciato di Progetto (1:10.000)

Dismissione

- **Met. Sansepolcro-Foligno DN 250 (10") – MOP 70 (35) bar**
 - RIM-TP-001 Tracciato condotta da rimuovere (1:10.000)
- **Met. Sansepolcro-Foligno DN 250 (10") – MOP 70 (35) bar opere connesse**
 - RIM-TP-002 Tracciato condotta da rimuovere (1:10.000)