

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 1 di 53	<b>Rev.</b> 0

**NR/19136**  
**Rifacimento Met. Recanati – Foligno (Fraz. Colfiorito)**  
**DN 650 (26”), DP 75 bar**  
**ed opere connesse**

**CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA’**  
**E**  
**VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO**

0	Emissione	Tamburini	Nisii	Mattei	Febb. '20
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 2 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## INDICE

<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>7</b>
<b>3 SISMICITÀ STORICA</b>	<b>8</b>
<b>4 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA</b>	<b>13</b>
4.1 Zonazione Sismogenetica “ZS9”	13
4.2 Sorgenti Sismogenetiche “DISS”	16
<b>5 CARATTERIZZAZIONE DELL’AZIONE SISMICA</b>	<b>21</b>
5.1 Pericolosità sismica di base lungo il tracciato	21
5.2 Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato	24
<b>6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>33</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA</b>	<b>35</b>
<b>APPENDICE 1</b>	<b>36</b>
<b>1 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b>	<b>37</b>
1.1 Dati di Input	37
1.2 Criterio di Verifica	40
1.3 Elemento di Tubazione Rettilineo	40
1.4 Elemento di Tubazione Curvo	47
<b>2 CONCLUSIONI DELLA VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b>	<b>53</b>

### **ALLEGATI**

**ALLEGATO 1 – CARTA DELLE CATEGORIE TOPOGRAFICHE**

**ALLEGATO 2 – INDAGINI MASW**

**ALLEGATO 3 – CARTA DELLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO**

**ALLEGATO 4 – CARTA DEI VALORI DI PGA ( $T_R=950$  ANNI)**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 3 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## PREMESSA

Nell'ottica di ammodernamento della rete nazionale di trasporto del gas esistente, Snam Rete Gas S.p.A. intende sostituire il gasdotto attualmente in esercizio "Recanati – Foligno, DN 600 (24"), P 70 bar" (di proprietà Snam Rete Gas) ed alcune linee secondarie da esso derivate, con nuove tubazioni del progetto denominato "Rifacimento metanodotto Recanati – Foligno (Fraz. Colfiorito), DN 650 (26"), DP 75 bar ed opere connesse".

Il progetto di rifacimento seguirà integralmente, salvo localizzate ottimizzazioni di tracciato e tecnologiche, i percorsi delle linee del progetto "Metanodotto Recanati - Foligno DN 1050 (42"), DP 75 bar ed opere connesse" (Proponente Snam Rete Gas) che ha già ottenuto il Decreto di compatibilità ambientale (Delibera MATTM n. 38 del 6 marzo 2015), ma che non verrà più realizzato.

Le ottimizzazioni di tracciato e tecnologiche introdotte con il progetto "Rifacimento metanodotto Recanati – Foligno (Fraz. Colfiorito), DN 650 (26"), DP 75 bar ed opere connesse" sono state inoltre sottoposte a verifica di assoggettabilità a VIA (ottobre 2019), con relativa esclusione.

Ai fini della valutazione dell'opera, si fornisce, con il presente studio relativo al progetto "Rifacimento metanodotto Recanati – Foligno (Fraz. Colfiorito), DN 650 (26"), DP 75 bar ed opere connesse", uno specifico approfondimento della sismicità che caratterizza il territorio interessato dall'opera in progetto.

Il progetto di rifacimento ricade, analogamente al progetto riferito alla tubazione DN 1050 (42"), nei territori delle regioni Marche e Umbria ed interessa le province di Macerata e Perugia estendendosi fra i territori comunali di Recanati, Montecassiano, Macerata, Treia, San Severino Marche, Serrapetrona, Castelraimondo, Camerino, Muccia, Pieve Torina, Serravalle di Chienti e Foligno.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 4 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 1 INTRODUZIONE

L'opera in oggetto denominata "Rifacimento metanodotto Recanati - Foligno", DN 650 (26") - DP 75bar", progettata per il trasporto di gas naturale con densità 0,72 kg/m<sup>3</sup> in condizioni standard ad una pressione massima di esercizio di 75 bar, sarà costituita da un sistema integrato di condotte, formate da tubi di acciaio collegati mediante saldatura (linea), che rappresenta l'elemento principale del sistema di trasporto in progetto, e da una serie di impianti e punti di linea che, oltre a garantire l'operatività della struttura, realizzano l'intercettazione della condotta in accordo alla normativa vigente.

Nell'ambito del progetto si distinguono la messa in opera di:

- una linea (principale) DN 650 (26"), che garantirà il trasporto tra gli impianti di Recanati e il PIDI n.12 Località Colfiorito (Foligno);
- 17 linee (secondarie o derivate), funzionalmente connesse alla realizzazione della nuova struttura di trasporto che assicureranno il collegamento tra la condotta principale e le diverse utenze esistenti lungo il tracciato della stessa.

Inoltre, il progetto include la dismissione dell'esistente condotta DN 600 (24") e di alcuni tratti di allacciamenti e derivazioni funzionalmente connessi alla stessa condotta, attraverso la messa fuori esercizio delle linee e la successiva rimozione delle tubazioni esistenti.

In Tabella 1/A sono riportate le denominazioni dei metanodotti, i diametri delle condotte, le pressioni nominali del gas in esercizio e le lunghezze di ciascun tracciato.

**Tab. 1/A: Progetto Metanodotto Recanati – Foligno ed opere connesse**

Denominazione metanodotti	Diametro	Pressione (bar)	Lunghezza (km)
Rif. Met. Recanati-Foligno (Fraz. Colfiorito)	DN 650 (26")	75	77,980
All. Natural Gas Recanati	DN 100 (4")	75	1.165
AMA Autotrazione (Montecassiano)	DN 200 (8")	75	2.385
All. Smorlesi Gaetana (Montecassiano)	DN 100 (4")	75	0.010
All. Astea di Montecassiano	DN 100 (4")	75	0.010
Derivazione per Macerata	DN 150 (6")	75	2.585
Ric. All. Comune di Cingoli	DN 150 (6")	75	4.265
Rif. All. Comune di Treia 1° Presa	DN 100 (4")	75	0.675
Der. per Tolentino	DN 200 (8")	75	6.360
All. AMA Autotrazione Treia	DN 100 (4")	75	0.130
Assem SpA (San Severino Marche)	DN 100 (4")	75	0.845
Derivazione per Serrapetrona-Sarnano	DN 250 (10")	75	0.055
Soc. Gas di Camerino	DN 100 (4")	75	2.115
Pot. Deriv. per Fabriano	DN 400 (16")	75	0.060
Metema Gestioni (Muccia)	DN 100 (4")	75	0.045
Rantoni (Visso)	DN 100 (4")	75	0.600
Metema Gestioni (Serravalle di Chienti)	DN 200 (8")	75	0.600
Tratto di interconnessione con il Met. Sulmona – Foligno	DN 100 (4")	75	0.295

La presente relazione è stata redatta per approfondire la caratterizzazione sismica del territorio interessato dal progetto. La condotta in progetto si sviluppa quasi integralmente nel territorio delle Marche, interessando la provincia di Macerata, e marginalmente il territorio dell'Umbria.

In questo studio si descrivono le caratteristiche sismiche delle aree interessate dai tracciati in progetto al fine di determinare (in accordo alla vigente normativa nazionale

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 5 di 53	<b>Rev.</b> 0

NTC18), le eventuali azioni sismiche a cui potrebbe essere soggetta l'infrastruttura in caso di evento sismico. Sulla base delle azioni sismiche attese si verificano le risposte strutturali di ciascuna condotta in progetto rispetto al massimo scuotimento sismico atteso (rif. Appendice 1).

Le analisi sulle possibili interferenze tra il tracciato in progetto ed eventuali zone potenzialmente soggette a deformazioni permanenti del terreno indotte da terremoti, quali ad esempio faglie attive e capaci o zone suscettibili a liquefazione dei terreni, sono state sviluppate rispettivamente nella specifica SPC. LA-E-83012 "Studio delle interferenze del tracciato in progetto con faglie attive e capaci" e SPC. LA-E-83013 "Studio per la valutazione della suscettibilità a liquefazione del territorio interessato dall'opera".

Di seguito sono riportate le caratteristiche meccaniche dell'infrastruttura in progetto:

#### Tubazioni

Le tubazioni impiegate saranno in acciaio di qualità e rispondenti a quanto prescritto al punto 3 del DM 17 aprile 2008.

I tubi, collaudati singolarmente dalle industrie produttrici, avranno una lunghezza media di 12 metri per la linea principale e per le linee secondarie e saranno smussati e calibrati alle estremità per permettere la saldatura elettrica di testa ed avranno le seguenti caratteristiche (vedi Tab. 1/B).

La pressione di progetto, adottata per il calcolo dello spessore delle tubazioni, è pari a 75 bar.

**Tab. 1/B: Caratteristiche tecniche delle tubazioni**

Diametro nominale DN	Carico unitario al limite di allungamento totale (N/mm <sup>2</sup> )	Spessore minimo (mm)	Materiale (acciaio di qualità)
650 (26")	415	11,1	EN L415NB/MB
400 (16")	360	11,1	EN L360NB/MB
250 (10")	360	7,8	
200 (8")	360	7,0	
150 (6")	360	7,1	
100 (4")	360	5,2	

Le curve saranno ricavate da tubi piegati a freddo con raggio di curvatura pari a 40 diametri nominali, oppure prefabbricate con raggio di curvatura pari a 7 diametri nominali.

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee ferroviarie, in accordo al DM 2445 del 23/02/71 e successive modifiche, la condotta sarà messa in opera in tubo di protezione avente le seguenti caratteristiche (vedi Tab. 1/C):

**Tab. 1/C: Caratteristiche tecniche dei tubi di protezione**

Diametro nominale condotta (DN)	Diametro nominale tubo di protezione (DN)	Spessore (mm)	Materiale (acciaio di qualità)
650 (26")	800 (32")	19,1	EN L415NB/MB
400 (16")	550 (22")	14,3	
250 (10")	400 (16")	11,1	EN L360NB/MB
200 (8")	300 (12")	9,5	
150 (6")	250 (10")	7,8	
100 (4")	200 (8")	7,0	

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 6 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Negli attraversamenti delle strade più importanti e dove, per motivi tecnici, si è ritenuto opportuno, la condotta sarà messa in opera in tubo di protezione avente le stesse caratteristiche delle tubazioni utilizzate per gli attraversamenti delle linee ferroviarie.

#### Materiali

Per il calcolo dello spessore di linea della tubazione sono stati scelti i seguenti gradi di utilizzazione rispetto al carico unitario di snervamento minimo garantito:

Condotta DN 650 (26") – 75 bar:  $f \leq 0,72$

Condotte DN 400 (16") ÷ DN 100 (4") – 75 bar:  $f \leq 0,57$

#### Protezione anticorrosiva

La condotta sarà protetta da:

- una protezione passiva esterna costituita da un rivestimento di nastri adesivi in polietilene estruso ad alta densità, applicato in fabbrica, dello spessore minimo di 3 mm, ed un rivestimento interno in vernice epossidica. I giunti di saldatura saranno rivestiti in linea con fasce termorestringenti;
- una protezione attiva (catodica) attraverso un sistema di correnti indotte con apparecchiature poste lungo la linea che rende il metallo della condotta elettricamente più negativo rispetto all'elettrolito circostante (terreno, acqua, ecc.).

La protezione attiva viene realizzata contemporaneamente alla posa del metanodotto collegandolo ad uno o più impianti di protezione catodica costituiti da apparecchiature che, attraverso circuiti automatici, provvedono a mantenere il potenziale della condotta più negativo o uguale a -1 V rispetto all'elettrodo di riferimento Cu-CuSO<sub>4</sub> saturo.

#### Telecontrollo

Lungo la condotta verrà posato un cavo per telecontrollo, inserito all'interno di una polifora costituita da tre tubi in PEAD DN 50.

In corrispondenza degli attraversamenti la polifora in PEAD verrà posata in tubo di protezione in acciaio avente le seguenti caratteristiche:

- Diametro nominale 100 (4")/150 (6");
- Spessore 3,6/5,1 mm.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 7 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nella redazione dello studio in oggetto è stata presa in considerazione la vigente normativa tecnica nazionale ed in particolare, le seguenti disposizioni:

- *Legge n. 64 del 02/02/1974*  
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- *Decreto del Ministro dei LL.PP. del 11/03/1988*  
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- *Circolare del Ministro dei LL.PP. n. 30483 del 24/09/1988*  
Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- *Circolare n. 218/24/3 del 9 gennaio 1996*  
Legge 2 febbraio 1974, n.64 Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.
- *Decreto del Ministro dei LL.PP. del 16/01/1996*  
Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 (e successive modifiche ed integrazioni)*  
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica.
- *D.M. 17 gennaio 2018, Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018.*  
Suppl. Ordinario n. 8, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni".
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019.*  
Suppl. Ordinario n.5, Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2019.
- *Linee Guida n. 13 Comitato Italiano Gas (CIG)*  
Linee guida per l'applicazione della normativa sismica nazionale alle attività di progettazione, costruzione e verifica dei sistemi di trasporto e distribuzione per gas combustibile. Edizione di Marzo 2009.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 8 di 53	<b>Rev.</b> 0

### 3 SISMICITÀ STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15)*,

redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV ("Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>)). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi a 4584 terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia.

- *DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15)*,

realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV ("Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>").

Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia) nella finestra temporale 1000-2014.

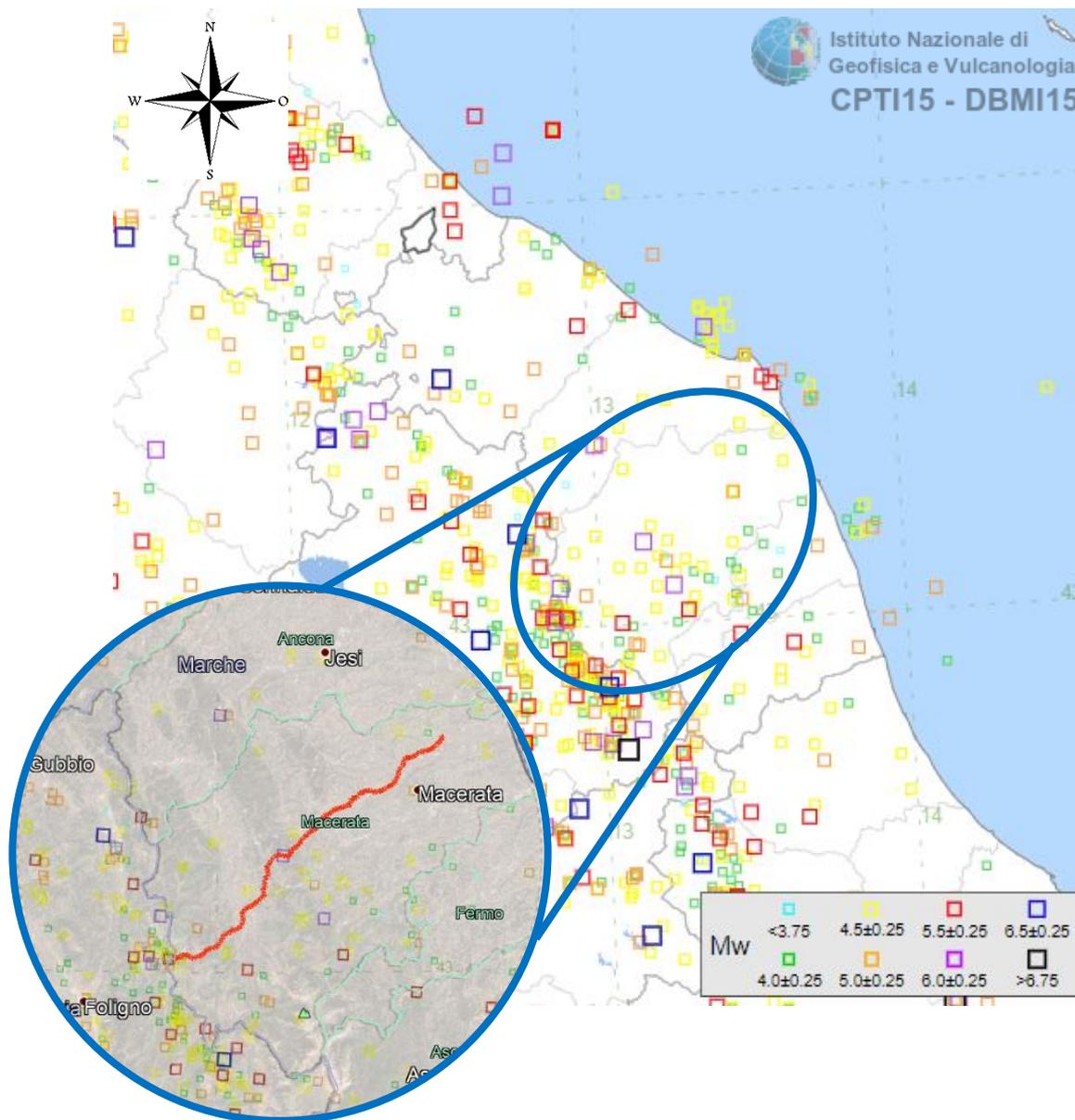
DBMI15 contiene N.122.701 dati di intensità (MDP - Macroseismic Data Points), relativi a N. 3 212 terremoti riferiti a circa 20 000 località di cui N. 15 213 in territorio italiano. Complessivamente i dati coprono 7702 comuni degli 8047 esistenti in Italia (ISTAT, 2015). La principale finalità di DBMI15 è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) e per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In Fig. 3/A è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi ad un'area circolare (raggio=50km) che contiene il tracciato in progetto (linea rossa). Gli eventi catalogati presenti nell'area in esame sono elencati in Tabella 3/B.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	<b>Fg. 9 di 53</b>	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 3/A: Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti nell'area interessata dal progetto. La linea rossa è il tracciato del metanodotto in progetto (fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV).**

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta nella porzione finale del tracciato in progetto una sismicità storica medio-alta, mentre risulta mediamente bassa per il resto del territorio interessato dal progetto.

Il catalogo CPTI15 riporta nell'area in esame un evento storico con magnitudo massima stimata pari a  $6.5 \pm 0.25$  a circa 30km-35km dal tracciato ( $M_w=6.49$ , zona epicentrale: Valnerina, data: 1328 d.C.), mentre le magnitudo massime stimate per i restanti terremoti storici catalogati risultano comprese mediamente tra magnitudo 4 e 6.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	<b>Fg. 10 di 53</b>	<b>Rev.</b> 0

**Tab. 3/B: Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPT15 relativi all'area interessata dall'opera in progetto (vedi Fig. 3/A).**

ID	Anno	Zona Epicentrale	Magnitudo stimata (Mw)	Intensità Max	Anno	Zona Epicentrale	Magnitudo stimata (Mw)	Intensità Max
50	1279	Appennino umbro-marchigiano	6.2	9	1832	Appennino umbro-marchigiano	4.78	6
80	1328	Valnerina	6.49	10	1832	Appennino umbro-marchigiano	5.35	7-8
176	1458	Appennino umbro-marchigiano	4.4	5-6	1838	Valnerina	5.48	8
203	1477	Valle Umbra	4.4	5-6	1838	Valnerina	5.19	7
204	1477	Valle Umbra	4.86	6-7	1842	San Severino Marche	4.41	4-5
242	1502	Appennino anconetano	4.63	6	1859	Valnerina	5.73	8-9
243	1503	Appennino anconetano	4.86	6-7	1861	Bacino di Gubbio	4.79	6-7
266	1511	Anconetano	4.63	6	1870	Anconetano	5.15	7
316	1540	Fermo	4.86	6-7	1873	Appennino marchigiano	5.85	8
358	1567	Norcia	4.86	6-7	1874	Maceratese	4.4	5-6
385	1592	Valle Umbra	5.1	7	1879	Valnerina	5.59	8
414	1612	Appennino umbro-marchigiano	5.11	7	1884	Alto Maceratese	4.16	5
419	1617	Jesi	4.4	5-6	1887	Jesi	4.44	5
436	1626	Macerata	5.1	7	1889	Monti Sibillini	4.19	4-5
446	1631	Appennino umbro-marchigiano	5.1	7	1895	Fermo	4.16	5
531	1689	Valle Umbra	4.63	6	1897	Valfabbrica	4.86	6-7
537	1690	Valle Umbra	4.63	6	1897	Valle Umbra	4.19	5
538	1690	Valle Umbra	4.4	5-6	1897	Fermano	4.16	4-5
562	1693	Bacino di Gubbio	4.85	6-7	1898	Alta Valnerina	3.93	4-5
594	1702	Valnerina	4.4	5-6	1898	Valnerina	5.03	7
605	1704	Valnerina	4.16	5	1898	Valnerina	5.48	8
623	1712	Appennino umbro-marchigiano	4.86	6-7	1898	San Ginesio	4.39	5-6
643	1718	Maceratese	4.4	5-6	1899	Appennino umbro-marchigiano	4.04	4
645	1719	Valnerina	5.59	8	1899	Narni	3.96	4
652	1721	Appennino umbro-marchigiano	5.1	7	1899	Corridonia	4.08	5
679	1730	Bacino di Gubbio	4.86	6-7	1903	Valnerina	4.81	6
721	1740	Appennino umbro-marchigiano	4.63	6	1904	Assisi	4.1	5
722	1741	Fabrianese	6.17	9	1904	Maceratese	4.63	5-6
729	1742	Appennino marchigiano	4.4	5-6	1904	Valle Umbra	4.24	5
747	1747	Appennino umbro-marchigiano	4.4	5-6	1905	Caldarola	3.7	4
748	1747	Appennino umbro-marchigiano	6.05	9	1908	Marche meridionali	4.61	5-6
749	1747	Appennino umbro-marchigiano	5.42	7-8	1908	Fermo	3.7	4
751	1748	Appennino umbro-marchigiano	4.4	5-6	1914	Gualdo Tadino	4.47	5
759	1751	Appennino umbro-marchigiano	6.38	10	1915	Alta Valle del Chienti	4.97	7
764	1751	Appennino umbro-marchigiano	4.4	5-6	1916	Monti Sibillini	4.82	6-7
768	1752	Appennino umbro-marchigiano	4.61	5	1917	Monti Sibillini	4.44	5
792	1760	Valnerina	4.4	5-6	1917	Valle Umbra	3.7	4
805	1766	Valnerina	4.63	6	1920	Monti Sibillini	4.3	5
910	1785	Appennino umbro-marchigiano	5.1	7	1921	Appennino umbro-marchigiano	4.23	5
947	1791	Appennino umbro-marchigiano	5.57	8	1921	Monti Sibillini	4.66	7
953	1793	Appennino umbro-marchigiano	5.33	7-8	1922	Valle del Chienti	4.73	6
963	1795	Maceratese	4.7	6	1923	Marche meridionali	4.28	5
973	1799	Appennino marchigiano	6.18	9	1927	Valnerina	4.57	6
974	1799	Foligno	5.1	7	1929	Marche Centrali	4.4	5-6
992	1805	Maceratese	4.4	5-6	1929	Valle Umbra	4.16	5
1013	1809	Macerata	4.63	6	1930	Monti Sibillini	4.5	5-6
1034	1815	Valnerina	5.58	8	1930	Marche meridionali	4.44	5-6
1117	1832	Foligno	4.4	5-6	1930	Cascia	3.93	4-5
1118	1832	Appennino umbro-marchigiano	4.76	6	1930	Monti Sibillini	4.31	5

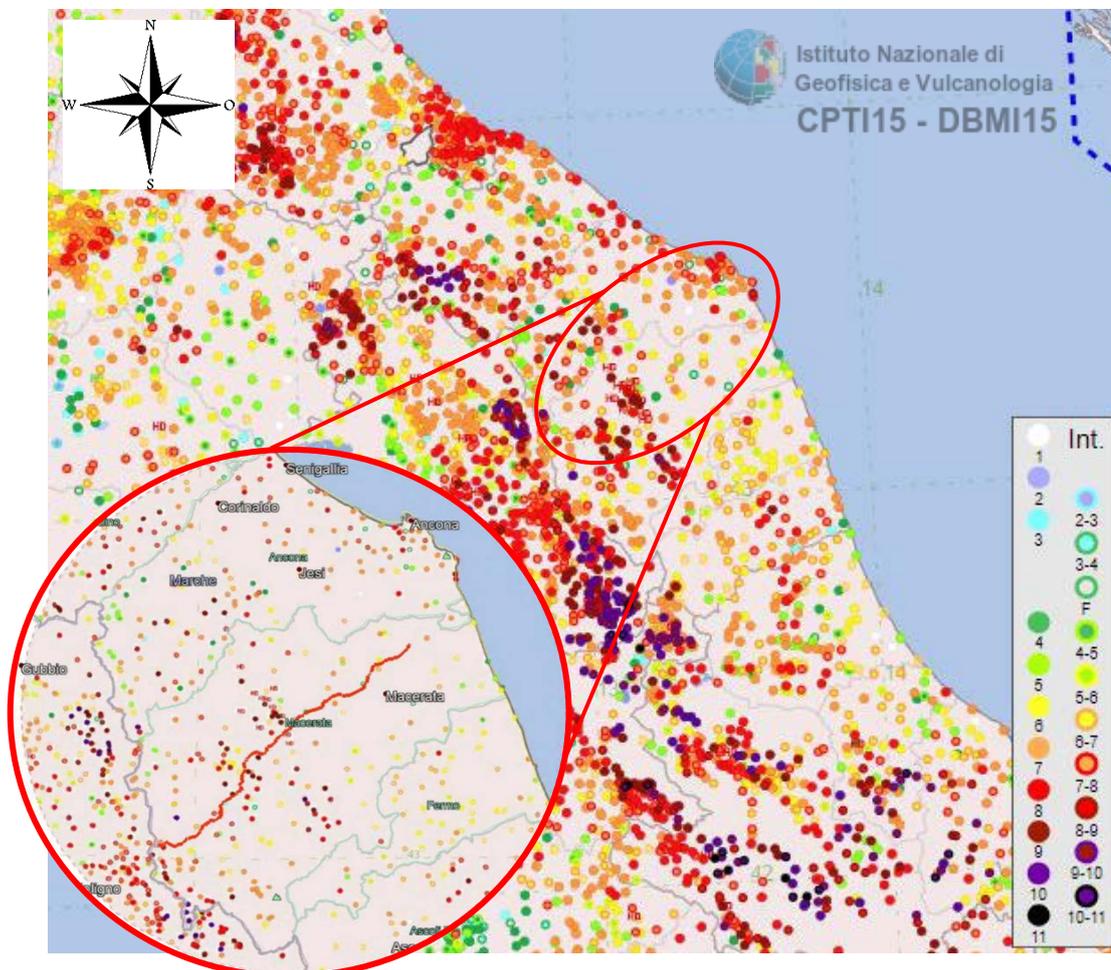
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	<b>Fg. 11 di 53</b>	<b>Rev.</b> 0

ID	Anno	Zona Epicentrale	Magnitudo stimata (Mw)	Intensità Max	Anno	Zona Epicentrale	Magnitudo stimata (Mw)	Intensità Max
2502	1935	Valle Umbra	4.16	5	1980	Valnerina	4.97	6
2511	1936	Valle Umbra	4.16	5	1980	Monti Sibillini	4.48	5-6
2523	1936	Caldarola	4.76	6-7	1982	Perugino	4.42	6
2565	1940	Assisi	4.16	5	1982	Perugino	4.65	6
2572	1941	Sellano	4.4	5-6	1982	Perugino	4.31	5-6
2589	1943	Monti Sibillini	5.04	6-7	1982	Perugino	4.56	6-7
2593	1943	Marche meridionali	4.85	6	1982	Perugino	4.26	5
2599	1943	Ascolano	5.67	8	1986	Monti Sibillini	4.46	5-6
2628	1948	Loro Piceno	3.93	4-5	1989	Marche meridionali	4.04	5
2651	1949	Valnerina	3.7	4	1989	Valnerina	4.13	5
2689	1951	Monti Sibillini	5.25	7	1989	Valle Umbra	4.44	5
2778	1957	Costa anconetana	4.5	5	1991	Ascolano	3.54	5-6
2809	1960	Valle Umbra	4.18	5	1993	Valle del Topino	4.39	5-6
2812	1960	Appennino umbro-marchigiano	4.32	5	1993	Valle del Topino	4.72	6
2853	1962	Appennino maceratese	4.35	5-6	1995	Fermano	4.19	5
2858	1963	Monti Sibillini	4.31	5	1996	Maceratese	4.2	5-6
2866	1963	Valnerina	4.74	6	1996	Fermano	3.96	5
2883	1964	Fabriano	3.7	4	1996	Maceratese	3.66	5
2887	1964	Valnerina	4.53	6	1997	Appennino umbro-marchigiano	3.34	4-5
2895	1965	Valle Umbra	4.32	6-7	1997	Appennino umbro-marchigiano	4.54	6
2896	1965	Valle Umbra	4.48	5-6	1997	Appennino umbro-marchigiano	4.19	5-6
3014	1970	Appennino umbro-marchigiano	4.35	5	1997	Appennino umbro-marchigiano	3.78	5-6
3027	1971	Valle del Chiascio	4.61	6	1997	Appennino umbro-marchigiano	3.85	5
3028	1971	Valle del Chiascio	4.89	7	1999	Monti della Laga	4.15	5-6
3041	1971	Valnerina	4.51	5-6	2000	Appennino umbro-marchigiano	3.58	4-5
3060	1972	Marche meridionali	5.48	8	2000	Appennino umbro-marchigiano	4.4	5
3081	1973	Valle del Chiascio	5.11	7-8	2000	Monti Sibillini	4.11	5
3082	1974	Valle del Chiascio	5.28	7-8	2001	Appennino umbro-marchigiano	3.57	4-5
3106	1974	Valnerina	4.58	7-8	2003	Ascolano	3.81	4-5
3202	1978	Nocera Umbra	4.22	4-5	2005	Maceratese	3.74	4
3211	1979	Valnerina	4.44	5	2006	Maceratese	4.06	5

Il database DBMI15, a differenza del catalogo CPTI15, archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di valutare la sismicità storica delle località italiane, sulla base degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati sui manufatti esistenti al tempo degli eventi sismici.

In Fig. 3/B è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nel DBMI15 nella regione interessata dal progetto. Nel cerchio in rosso è riportato il tracciato in progetto (linea rossa) e i dati storici di intensità macrosismica presenti nel catalogo in un'area con raggio di circa 50km. In particolare, si nota come i valori più elevati di intensità sono stati registrati nella zona che comprende la seconda metà del tracciato in progetto (cfr. cerchio rosso).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 12 di 53	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 3/B:** Mappa con le intensità macrosismiche storiche riportate nel catalogo DBMI15 (fonte: INGV). Nel cerchio rosso è evidenziato il tracciato in progetto (linea rossa) e i dati storici registrati nel territorio interessato dall'opera.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 3/A) e dal database DBMI15 (Fig. 3/B), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità medio-alto, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 13 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata in base a:

1. Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9 (Meletti C. e Valensise G., 2004);
2. DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), un database geografico che racchiude la tettonica, le faglie e le informazioni paleosismiche al fine di caratterizzare al meglio le sorgenti sismogenetiche localizzate sul territorio nazionale.

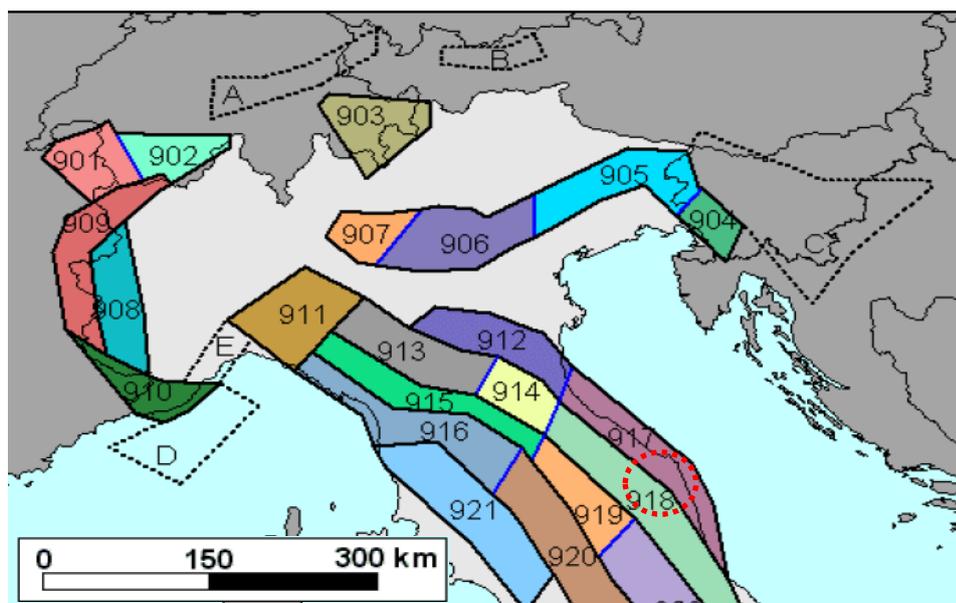
Entrambe le fonti sono elaborate a cura dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

### 4.1 Zonazione Sismogenetica "ZS9"

Gli studi sulla pericolosità sismica condotti dall'INGV hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9. Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 36 zone-sorgente, individuate mediante l'osservazione delle caratteristiche della sismicità storica/attuale (massima magnitudo, frequenza degli eventi in catalogo, distribuzione nelle classi di magnitudo) e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismotettoniche.

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale prevede una distinzione delle aree sorgenti mediante limiti di colore diverso. I limiti di colore nero separano aree con differenti caratteristiche tettoniche o geologico strutturali, mentre i limiti di colore blu dividono zone con uno stesso stile deformativo, ma con differenti caratteristiche di sismicità, quali: distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, etc.

Il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa nelle zone sismogenetiche 917 e 918, che rappresentano le zone-sorgente più esterne dell'Appennino centrale (Fig. 4.1/A).



**Fig. 4.1/A: Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero, il colore non è significativo (modif. da Meletti C. e Valensise G., 2004); nel cerchio rosso l'area interessata dal tracciato.**

La zona 917 rappresenta la zona più esterna dell'arco appenninico centro-settentrionale, caratterizzato da strutture tettoniche attive che mostrano chiare evidenze di cinematica

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 14 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

compressiva. Tuttavia, questo settore è caratterizzato da una sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni poco significativi su aree di limitata estensione. Il tasso di sismicità di questa zona risulta decisamente inferiore rispetto a quello che caratterizza la zona 912.

La prima metà del tracciato in progetto si sviluppa all'interno di questa zona sismogenetica, mentre la seconda metà interessa la zona sismogenetica 918, fino quasi al bordo della zona 919.

La zona 918 costituisce la porzione più meridionale della fascia di transizione che da Parma si estende fino all'Abruzzo, caratterizzata da una tettonica prevalentemente compressiva nel settore nord-occidentale, che attraverso meccanismi trascorrenti presenti nelle zone di svincolo passa ad una tettonica distensiva nella porzione sud-orientale (zona 918), quella interessata dalla linea di progetto. Studi paleosismologici effettuati lungo evidenze superficiali di faglie attive e capaci presenti nella zona 918 indicano una fagliazione prevalentemente normale, con ripetute attivazioni nel corso dell'Olocene e magnitudo stimate anche superiori a 6.

Per ogni zona sismogenetica è stato definito uno strato sismogenetico, e ad esso è stata associata una "profondità efficace", ossia la profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità sismica della zona (Meletti C. e Valensise G., 2004).

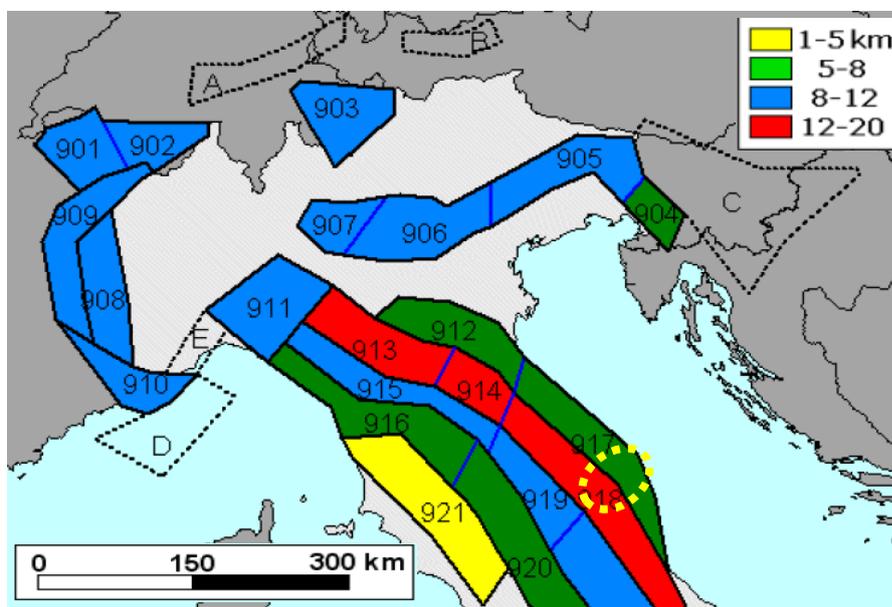
Lo strato sismogenetico è stato definito come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, ovvero l'intervallo in cui presumibilmente avverranno i prossimi eventi sismici. Questi strati sono stati definiti da un'analisi del catalogo della sismicità strumentale (1983-2002) dell'INGV e indicano l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi storici che ricadono all'interno di ogni zona.

Per considerare le incertezze e il fatto che un unico valore di profondità può non essere rappresentativo dell'intero strato, è stata proposta una suddivisione dell'intero strato sismogenetico in quattro classi di profondità comprese tra: 1-5 km, 5-8 km, 8-12 km, e 12-20 km.

In Fig. 4.1/B sono mostrate le classi di profondità efficace per ciascuna zona e nel circolo rosso è indicata l'area in cui ricade il tracciato in progetto.

La zona 917 presenta una profondità efficace compresa tra 5 e 8 km, mentre la zona 918 presenta una profondità efficace compresa tra 12 e 20 km.

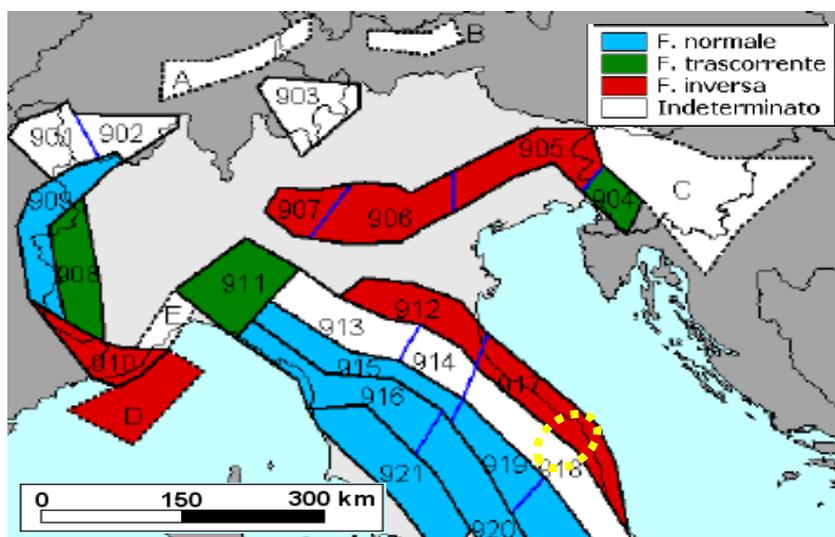
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria		<b>SPC. LA-E-83011</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 15 di 53	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 4.1/B: Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004); nel cerchio giallo è evidenziata l'area interessata dal tracciato**

Nello studio di Meletti e Valensise (2004) è stato indicato anche un meccanismo di fagliazione prevalente per ciascuna zona. Per meccanismo prevalente s'intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi. L'assegnazione è stata basata su una combinazione dei meccanismi focali osservati con dati geologici a varie scale e dai meccanismi focali dei terremoti significativi avvenuti in epoca strumentale tratti da un ampio e recente database nazionale.

In Figura 4.1/C è mostrato uno stralcio della mappa nazionale, evidenziando come nella zona 917 prevalgono regimi di fagliazione di tipo inverso, mentre nella zona 918 i dati disponibili non evidenziano un meccanismo prevalente.



**Fig. 4.1/C: Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche di ZS9 (modif. da Meletti C. e Valensise G., 2004); nel cerchio rosso è evidenziata l'area interessata dal tracciato.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 16 di 53	<b>Rev.</b> 0

In conclusione, il territorio interessato dal metanodotto in progetto interessa due zone sismogenetiche: la zona 917 e la zona 918.

Sulla base dei più recenti studi (Meletti e Valensise, 2004), in queste zone sono presenti le strutture tettoniche più esterne della catena appenninica centro settentrionale. La cinematica attesa nella zona più esterna è di tipo compressivo, con epicentri mediamente molto superficiali (1-5km), mentre nella porzione più interna (zona 918), in base ai dati disponibili il regime cinematico risulta indeterminato, con zone ipocentrali stimate a profondità comprese tra 12 e 20 km.

#### 4.2 Sorgenti Sismogenetiche “DISS”

La banca dati DISS (“Database of Individual Seismogenic Sources” versione 3.2.1), messa a punto dall’INGV, fornisce una caratterizzazione completa delle principali strutture sismotettoniche presenti sul territorio italiano.

Il DISS è un database georiferito che racchiude la tettonica, le faglie e le informazioni paleosismiche al fine di localizzare e caratterizzare al meglio le potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo attesa superiore di M 5.5 localizzate sul territorio nazionale.

Al fine di approfondire ed integrare l’analisi sismogenetica e neotettonica del territorio esaminato si è proceduto alla consultazione di questo database.

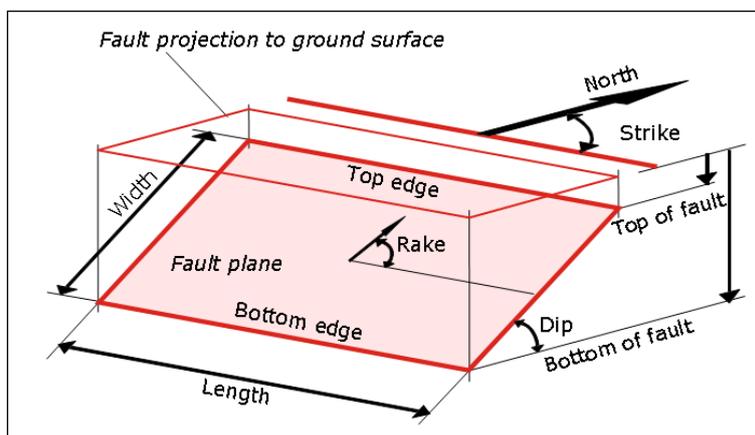
Il DISS include le seguenti categorie di sorgenti sismogenetiche:

- Sorgenti sismogenetiche individuali, ovvero una rappresentazione semplificata e tri-dimensionale del piano di faglia (Fig. 4.2/A). Si assume che le sorgenti individuali esibiscano comportamenti caratteristici rispetto al rapporto lunghezza/larghezza del piano di rottura ed alla magnitudo massima attesa.

Le sorgenti sismogenetiche individuali sono definite sulla base di dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da un set completo di parametri geometrici (strike, dip, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (velocità) e sismologici (spostamento per evento singolare, magnitudo, slip rate, intervallo di ricorrenza).

Si assume che le sorgenti sismogenetiche individuali abbiano ricorrenze strettamente periodiche rispetto alla rottura.

Le sorgenti sismogenetiche individuali riportate nel catalogo sono state comparate con database a livello mondiale, per valutarne la consistenza in termini di lunghezza, larghezza, spostamento da singolo evento e magnitudine. Questo catalogo fornisce le più accurate informazioni disponibili per le sorgenti meglio identificate.



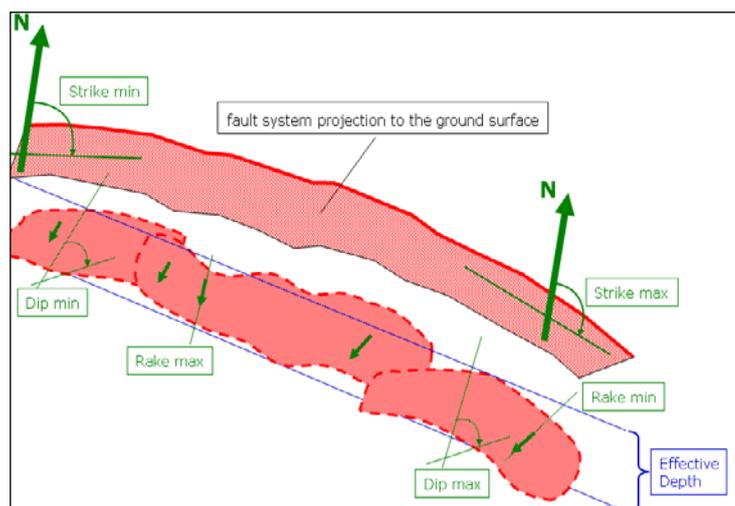
**Fig. 4.2/A: Schematizzazione di sorgente sismogenetica individuale (DISS)**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 17 di 53	<b>Rev.</b> 0

- Sorgenti sismogenetiche composte (precedentemente definite zone sismogenetiche): si tratta di regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti sismogenetiche (Fig. 4.2/B). Le sorgenti sismogenetiche composte non sono associate ad uno specifico set di terremoti o a distribuzioni di terremoti. Queste sono basate su dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da parametri geometrici e cinematici.

Una sorgente sismogenetica composta è sostanzialmente una struttura dedotta sulla base dei dati geologici regionali di superficie e profondi. Tipicamente comprende un numero non specificato di sorgenti individuali, per cui la rottura attesa per terremoti è mal definita o sconosciuta.

Il potenziale sismico di questa categoria di sorgenti può essere stimato dai cataloghi sismici esistenti.
- Sorgenti sismogenetiche “dibattute”, ovvero faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziali sorgenti sismogenetiche, ma che non sono state



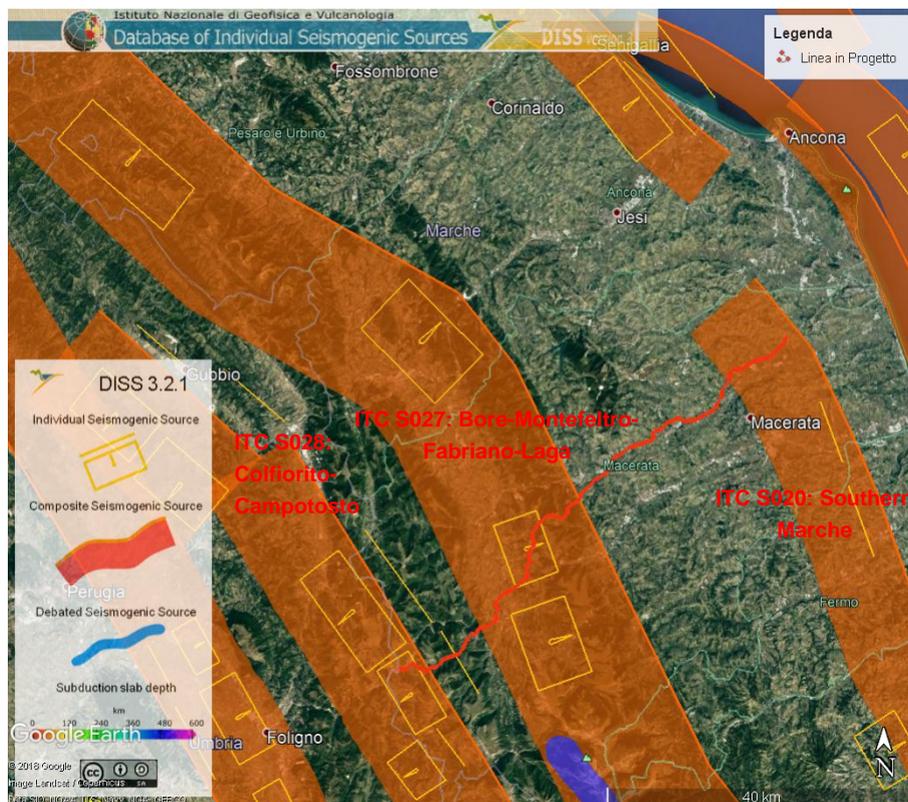
considerate abbastanza affidabili da essere introdotte nel database.

**Fig. 4.2/B: Schematizzazione di sorgente sismogenetica composta (DISS)**

Il database DISS (v. 3.2.1) è stato interrogato per verificare le possibili interferenze tra il tracciato del metanodotto in progetto e le potenziali sorgenti sismogenetiche in esso riportate.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 18 di 53	<b>Rev.</b> 0

In Figura 4.2/C sono riportate le sorgenti sismogenetiche cartografate nel DISS e il tracciato in progetto (linea rossa).



**Fig. 4.2/C: Sorgenti sismogenetiche composte, in campo arancione, e sorgenti sismogenetiche individuali, perimetrare in giallo (DISS v. 3.2.1). La linea rossa rappresenta il metanodotto in progetto.**

Come evidenziato dalla Figura 4.2/C, il metanodotto in progetto interseca N. 3 zone sismogenetiche composte e N.2 sorgenti individuali. I parametri che caratterizzano le sorgenti composte sono descritti nelle Tabelle 4.2/A, 4.2/B e 4.2/C, mentre una descrizione delle caratteristiche delle sorgenti individuali è riportata nel capitolo relativo alle interferenze con le faglie attive (rif. Capitolo 6).

**Tab. 4.2/A: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta di Southern Marche.**

Codice	ITC S020
Nome	<b>Southern Marche</b>
Minima profondità (km)	3.5
Massima profondità (km)	13
Strike (deg)	140-175
Dip (deg)	35-50
Rake (deg)	80-100
Slip rate (mm/y)	0.14-0.4
Massima magnitudo	5.9

Il tratto iniziale del tracciato interferisce con la sorgente sismogenetica ITC S020 Southern Marche, che si estende in un'area compresa tra Macerata e Teramo. Questa zona sismogenetica costituisce il settore più orientale della catena Nord appenninica,

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 19 di 53	<b>Rev.</b> 0

con strutture tettoniche a vergenza E-NE. I cataloghi storici e strumentali riportano per quest'area con una sismicità con magnitudo (Mw) mediamente comprese tra 4.5 e 5.0, e con eventi di magnitudo massima (Mw) tra 5.7 e 5.8.

**Tab. 4.2/B: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta di Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga.**

Codice	ITC S027
Nome	<b>Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga</b>
Minima profondità (km)	12
Massima profondità (km)	22
Strike (deg)	90-160
Dip (deg)	20-55
Rake (deg)	70-110
Slip rate (mm/y)	0.1-0.5
Massima magnitudo	6.2

La porzione centrale del tracciato in progetto interessa la sorgente sismogenetica ITC S027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga costituita prevalentemente da un thrust regionale, che rappresenta la principale linea strutturale del prisma di accrezione della fascia appenninica, marcando la linea di distacco tra la copertura sedimentaria più superficiale della crosta e il basamento metamorfico. Sulla base dei dati geodinamici disponibili il regime cinematico è puramente compressivo, con notevoli profondità ipocentrali (>10km). Il tasso di sismicità di questa sorgente risulta mediamente basso, tuttavia sono stati registrati eventi con magnitudo massime significative (in 1741 Fabriano, M 6.2; in 1799 Camerino, M 5.8; and in 1873 Sarnano, M 6.0).

**Tab. 4.2/C: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta di Colfiorito-Campotosto.**

Codice	ITC S028
Nome	<b>Colfiorito-Campotosto</b>
Minima profondità (km)	2.5
Massima profondità (km)	14
Strike (deg)	130-150
Dip (deg)	35-55
Rake (deg)	260-280
Slip rate (mm/y)	0.1-1
Massima magnitudo	6.2

Gli ultimi chilometri di tracciato in progetto si sviluppano nell'area identificata con la sorgente sismogenetica ITC S028 Colfiorito-Campotosto. L'area si estende dal fondovalle del Fiume Potenza fino al Lago di Campotosto, ed è caratterizzata da un regime cinematico prevalentemente distensivo con sistemi di faglie normali a basso angolo immergenti verso SO.

I dati storici e strumentali riportano una sismicità prevalente con magnitudo prevalentemente comprese tra  $4.5 < Mw < 5.0$ , caratterizzata anche da eventi con magnitudo (Mw) prossimi a 6 o di poco superiori, come ad esempio da nord a Sud: 1751 (Mw 6.3, Gualdo Tadino), 1279 (Mw 6.3, Camerino), i terremoti nell'area di Colfiorito e Sellano 1997 (Mw 5.8 and 5.7, rispettivamente).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 20 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

E' importante evidenziare che le sorgenti sismogenetiche composte comprendono un numero non specificato di sorgenti individuali, per cui la rottura attesa per terremoti è mal definita o sconosciuta. Inoltre, lo slip rate medio annuo previsto in queste tre aree sorgente è compreso 0,1- 1 mm/anno, con zone ipocentrali localizzate a profondità mediamente elevate (per Southern Marche comprese tra 3.5km e 13 km; per Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga è tra i 12km e 22 km; mentre per Colfiorito-Campotosto si trova a una profondità compresa tra i 2,5km e 14 km), e magnitudo storiche mediamente modeste (4.0 Mw < 5.0).

Come evidenziato dalla Figura 4.2/C, il metanodotto in progetto interseca N.2 sorgenti sismogenetiche (perimetro giallo) riportate nel database DISS (v. 3.2.1) come *sorgenti sismogenetiche individuali*. Queste zone sorgente sono rappresentate da principali linee tettoniche (faglie attive), per le quali esistono evidenze sismologiche e geologiche di possibile attivazione.

Sebbene queste due faglie attive siano considerate nel catalogo come potenziali sorgenti sismogenetiche, ossia in grado di produrre terremoti, è da evidenziare che il processo di dislocazione lungo un piano di faglia non necessariamente raggiunge la superficie topografica e si manifesta con effetti quali deformazioni permanenti del terreno in occasione di un evento sismico.

Queste deformazioni possono potenzialmente costituire un elemento di rischio per una condotta solo se la faglia attiva risulta "*capace*", ossia in grado di raggiungere la superficie topografica provocando una frattura del terreno con dislocazioni significative.

Un'analisi di dettaglio di queste due faglie attive interessate dal tracciato in progetto e del loro potenziale deformativo in superficie è riportata nella specifica LA-E-83012.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 21 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 5 CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La caratterizzazione sismica dell'azione sismica attesa lungo il territorio interessato dall'opera è stata definita considerando le norme attualmente in vigore (NTC 2018) e sulla base di indagini svolte lungo il tracciato.

Per eventuali approfondimenti circa le caratteristiche generali dell'infrastruttura si rimanda al Capitolo 1.

### 5.1 Pericolosità sismica di base lungo il tracciato

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) DM 17.01.2018 definiscono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. La "pericolosità sismica di base", costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Le NTC definiscono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10.751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno TR considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:

- **$a_g$** : accelerazione orizzontale massima al bedrock con superficie topografica orizzontale;
- **$F_0$** : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro elastico di risposta in accelerazione orizzontale;
- **$T_c^*$** : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro elastico di risposta in accelerazione orizzontale.

Dal punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale ( $V_N$ ) e dalla Classe d'Uso ( $C_U$ ) dell'opera. I nodi del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  dell'opera che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, dal prodotto della Vita Nominale di progetto ( $V_N$ ) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 22 di 53	<b>Rev.</b> 0

In Tabella 5.1/A sono riportati i valori minimi di Vita Nominale ( $V_N$ ) di progetto da assegnare ai diversi tipi di costruzioni.

**Tab.5.1/A: Valori minimi della Vita Nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.I delle NTC 2018).**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Il coefficiente d'uso ( $C_U$ ) è assegnato sulla base della classe d'uso a cui può essere riferita la costruzione in progetto. La definizione delle classi d'uso è riferita alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso dell'infrastruttura. In accordo alle NTC 2018 (cfr. § 2.4.2 delle NTC 2018), le costruzioni sono suddivise in Classi d'Uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore di ciascun coefficiente d'uso ( $C_U$ ) associato alle classi d'uso è riportato in Tab. 5.1/B (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

**Tab. 5.1/B: Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (rif. Tab. 2.4.II delle NTC 2018)**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 23 di 53	<b>Rev.</b> 0

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno ( $T_R$ ) che è funzione della probabilità di superamento ( $P_{VR}$ ) di un valore di accelerazione orizzontale nella vita di riferimento dell'opera ( $V_R$ ).

In accordo con il Decreto del capo dipartimento della Protezione Civile nr. 3685 del 21/10/2003 il metanodotto in progetto è considerato opera strategica (Classe d'uso IV e quindi Coefficiente d'uso 2 per le NTC 2018).

L'infrastruttura in progetto rientra nelle costruzioni con livelli di prestazioni ordinari, quindi con valore minimo di vita nominale pari a 50 anni.

Di conseguenza, assumendo  $V_N=50$  anni e  $C_U=2$  si ottiene una Vita di Riferimento ( $V_R$ ) dell'opera pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \text{ anni.}$$

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale ( $P_{VR}$ ) nella vita di riferimento dell'opera ( $V_R$ ) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2018).

Data l'importanza dell'opera ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2018, sono stati considerati due stati limite:

- Stato Limite di Danno SLD (in esercizio);
- Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV (a rottura).

I rispettivi valori di probabilità di superamento ( $P_{VR}$ ) sono forniti nella Tab. 5.1/C (rif. Tabella 3.2.I delle NTC 2018).

**Tab. 5.1/C: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.I delle NTC 2018)**

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

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno ( $T_R$ ) per i due stati limite in accordo alla seguente espressione (cfr. Par. C.3.2.1 e Tabella C.3.2.1 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019):

$$T_R = - \frac{V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Per i due stati limite considerati si ottengono i seguenti periodi di ritorno ( $T_R$ ):

- 100 anni per lo Stato Limite di Danno (SLD);
- 950 anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Calcolati i periodi di ritorno ( $T_R$ ) per i due stati limite (SLD e SLV) è stato determinato l'andamento dei valori di accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ , espressi in g) attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale lungo la fascia di territorio interessata dal progetto, interpolando i dati NTC2018 con un passo di 10m lungo il tracciato di progetto.

I valori di accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock ( $a_g$ ) lungo il tracciato sono riportati nel paragrafo successivo.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 24 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 5.2 Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato

In accordo alla normativa tecnica per le costruzioni vigente (NTC 2018), una volta definita l'azione sismica massima attesa al substrato rigido (suolo rigido  $V_s > 800$  m/s), va stimata l'eventuale risposta sismica del sito di interesse.

Per risposta sismica locale si intendono tutte le modifiche al moto sismico atteso in un sito (in termini di amplificazione, frequenza e durata del moto) introdotte dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Gli effetti amplificativi dell'azione sismica in un sito sono causati da fenomeni fisici che alterano la propagazione delle onde sismiche (riflessioni, risonanze, diffrazioni, etc.), che si innescano in corrispondenza di irregolarità morfologiche e/o di eterogeneità litostratigrafiche degli strati più superficiali del terreno.

L'opera in progetto non è localizzata in un sito specifico, ma è costituita da una infrastruttura lineare con sviluppo dell'ordine di decine di chilometri.

Pertanto, una valutazione preliminare dell'effetto di amplificazione del moto può essere realizzata solo con un metodo areale, che consenta di caratterizzare in generale la risposta sismica dei terreni presenti lungo un tracciato.

L'approccio proposto in questo studio si basa su una "estensione" del metodo semplificato riportato nelle NTC 2018, che consente la valutazione della risposta sismica locale di un sito specifico.

L'analisi della risposta sismica locale dei terreni presenti lungo il tracciato è stata eseguita caratterizzando in dettaglio dal punto di vista morfologico e geologico la fascia di territorio nel quale si sviluppa la linea in progetto. Queste caratterizzazioni sono state poi utilizzate per attribuire le categorie topografiche e quelle di sottosuolo (cfr. Par. 3.2.2 delle NTC 2018), alle quali sono associati dei coefficienti di amplificazione (cfr. Par. 3.2.3 delle NTC 2018).

In accordo alle NTC 2018, l'azione sismica attesa al suolo, riferita come accelerazione orizzontale massima (PGA), è stimata mediante la seguente relazione:

$$PGA = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

In cui:

$S_S$  = coefficiente dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica

$S_T$  = coefficiente dell'effetto dell'amplificazione topografica

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima su substrato rigido (categoria A).

Il valore di PGA è espresso in multipli della accelerazione di gravità (g) o in  $m/s^2$ .

La morfologia del tracciato è stata caratterizzata sulla base delle categorie topografiche definite nella normativa NTC 2018 (cfr. Tab. 3.2.III delle NTC 2018). In Tabella 5.2/A sono descritte le caratteristiche per l'assegnazione delle categorie topografiche.

**Tab. 5.2/A: Descrizione delle categorie topografiche previste dalle NTC 2018 (cfr, Tab. 3.2.III delle NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Sulla base dei dati *Digital Terrain Model* (DTM), ottenuti mediante rilievo aereo LIDAR realizzato lungo il corridoio di progetto, è stata eseguita un'analisi delle pendenze, attraverso la quale sono state attribuite le categorie topografiche lungo il tracciato.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 25 di 53	<b>Rev.</b> 0

Le NTC 2018 assegnano dei coefficienti di amplificazione ( $S_T$ ) (cfr. Tab. 3.2.V delle NTC 2018), per ciascuna delle categorie topografiche definite in Tab. 5.2/A.

In Tab. 5.2/B sono riportati i valori dei coefficienti di amplificazione topografica corrispondenti a ciascuna categoria.

**Tab. 5.2/B: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (Tab. 3.2.V delle NTC 2018)**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

In generale, la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove  $S_T$  assume il valore massimo riportato nella Tabella 5.2/B, fino al livello di base, dove  $S_T$  assume valore unitario (cfr. § 3.2.3.1 delle NTC 2018).

L'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto (linea principale e linee secondarie, quali allacciamenti, derivazioni, etc.), è stata analizzata per assegnare le categorie topografiche presenti lungo l'asse della linea in progetto.

In Tabella 5.2/C è riportata una tabella con i risultati dell'analisi topografica eseguita lungo il tracciato in progetto.

**Tab. 5.2/C: Categorie topografiche assegnate lungo il tracciato in progetto.**

ID Linea		T1	%	T2	%	T3	%	T4	%	TOT
		Linea principale								
A2_2019a	Rif. Met. Recanati-Foligno (Fraz. Colfiorito)	97	42%	93	40%	38	17%	2	1%	230
		Allacciamenti								
P01_2019	All. Natural Gas Recanati	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P02_2019	AMA Autotrazione (Montecassiano)	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P03_2019	All. Smorlesi Gaetana (Montecassiano)	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P04_2019	All. Astea di Montecassiano	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P06_2019	Derivazione per Macerata	2	67%	1	33%	0	0%	0	0%	3
P08_2019	Ric. All. Comune di Cingoli	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P09_2019	Rif. All. Comune di Treia 1° Presa	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P10_2019	Der. per Tolentino	8	53%	7	47%	0	0%	0	0%	15
P12_2019	All. AMA Autotrazione Treia	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P14_2019	Assem SpA (San Severino Marche)	2	67%	1	33%	0	0%	0	0%	3
P15_2019	Derivazione per Serrapetrona-Sarnano	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P16_2019	Soc. Gas di Camerino	4	40%	4	40%	2	20%	0	0%	10
P17_2019	Pot. Deriv. per Fabriano	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P18_2019	Metema Gestioni (Muccia)	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P19_2019	Rantoni (Visso)	3	60%	2	40%	0	0%	0	0%	5
P20_2019	Metema Gestioni (Serravalle di Chienti)	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
A2_2019bis	Tratto di interconnessione con il Met. Sulmona - Foligno	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1

Per una rappresentazione grafica della distribuzione delle categorie topografiche lungo l'area attraversata dal tracciato di progetto si rimanda all'Allegato 1 "Carta delle Categorie Topografiche".

La caratterizzazione delle unità geologiche presenti lungo il tracciato in progetto è stata realizzata sulla base di mappe e informazioni geologiche, geomorfologiche disponibili (cartografia di base e letteratura tecnico-scientifica), integrate con informazioni ottenute da sopralluoghi, da risultati delle indagini geognostiche in sito.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 26 di 53	<b>Rev.</b> 0

L'assegnazione delle categorie di sottosuolo dei terreni affioranti lungo il tracciato in progetto è stata eseguita in accordo all'approccio semplificato delle NTC 2018 (cfr Tab. 3.2II delle NTC 2018), come descritto in Tab. 5.2/D.

**Tab. 5.2/D: Descrizione delle categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II delle NTC 2018)**

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La definizione della velocità equivalente ( $V_{S,eq}$ ) nelle NTC 2018 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde sismiche di taglio nell'i-esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

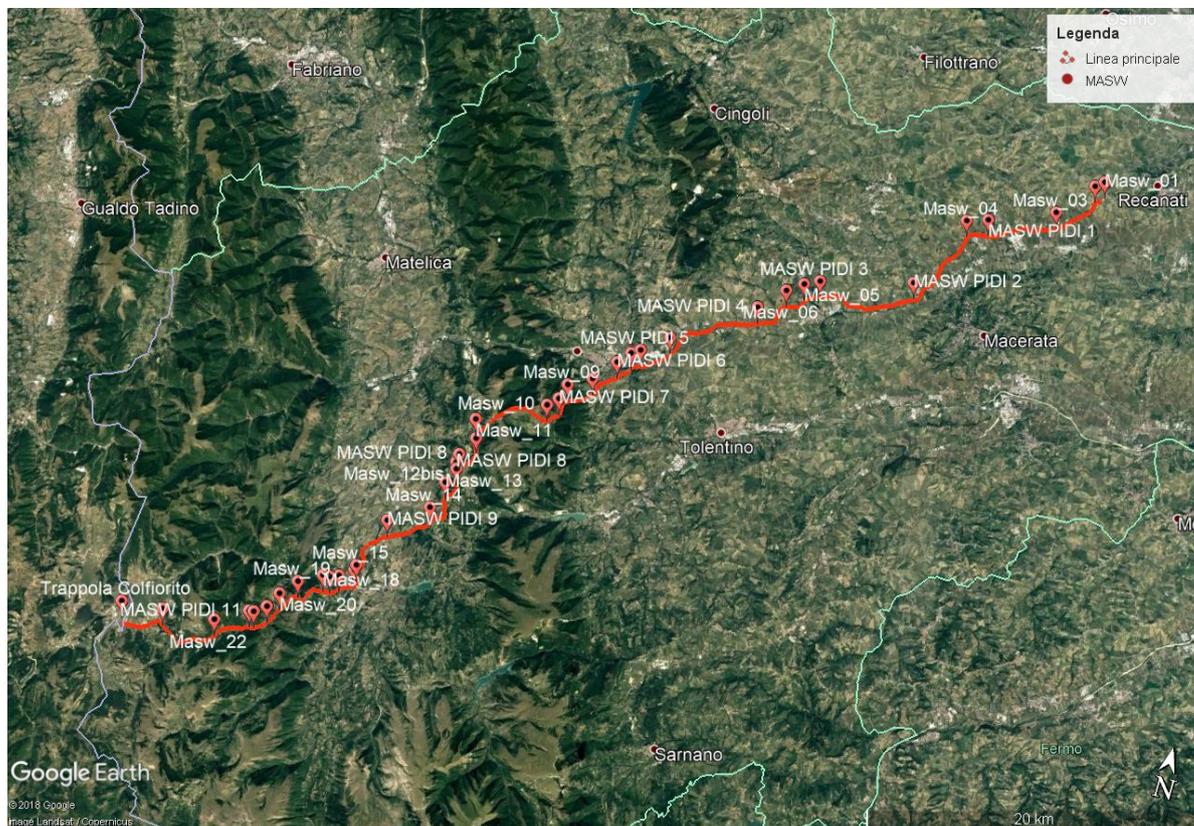
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo H=30m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In accordo alle nuove norme NTC 2018, la caratterizzazione dell'azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ). Pertanto, sono state eseguite una serie di prove indirette di tipo MASW (N. 40 indagini) lungo il tracciato in progetto.

La localizzazione delle prove sismiche è stata opportunamente riferita ad aree identificate come rappresentative dei contesti geologici-geomorfologici e litologici presenti lungo il tracciato di progetto.

In Figura 5.2/E è mostrata l'ubicazione delle prove sismiche eseguite lungo il tracciato del metanodotto in progetto.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 27 di 53	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 5.2/E: Ubicazione delle prove sismiche MASW eseguite lungo il tracciato del metanodotto in progetto.**

In Tabella 5.2/F si riportano la localizzazione delle prove sismiche eseguite, i dati relativi alle velocità equivalenti e la categoria di sottosuolo assegnata, e il corrispondente contesto geomorfologico e litologico di riferimento.

**Tab. 5.2/F: Elenco delle indagini indirette (MASW) eseguite per caratterizzare la velocità delle onde S ( $V_s$ ) dei terreni presenti lungo il tracciato in progetto.**

Nr.	km	ID	Contesto geomorfologico	Unità Litologica	$V_{s,eq}$ (m/s)	Cat. sottosuolo
<b>Metanodotto Recanati – Foligno DN650 (26"), DP 75bar ed opere connesse</b>						
01	0.0	Masw_01	Crinale	Membro di Offida (FAA5)	297	C
02	0.5	Masw_02	Versante	Frana PAI F-16-5031 (P3)	240	C
03	3.5	Masw_03	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	282	C
04	8.1	Masw PIDI 1	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	441	B
05	9.4	Masw_04	Versante	Formazione Argille Azzurre (FAA)	293	C
06	14.8	Masw PIDI 2	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	411	B

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 28 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

07	21.0	Masw PIDI 3	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	394	B
08	22.1	Masw_05	Crinale	F. a Colombacci Litof. arenaceo-pelitica (FCOd)	442	B
09	23-24	Masw_06	Impluvio	Depositi eluvio-colluviali	295	C
10	25.8	Masw PIDI 4	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	391	B
11	32.0	Masw_07	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	418	B
12	34.1	Masw PIDI 5	Piede versante	Depositi di versante	424	B
13	34.6	MASW PIL 5	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	399	B
14	34.8	Masw PIDI 6	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	312	C
15	35.8	MASW PIDI 6 (geo)	Versante	Formazione Gessoso-Solfifera (GES)	311	C
16	37.9	Masw_08	Crinale	Schlier (SCH)	818	A
17	39.6	Masw_09	Versante	Depositi di versante	488	B
18	40.7	Masw PIDI 7	Crinale	Scaglia Rossa (SAA)	697	B
19	41.5	Masw_10	Vallone	Depositi di versante	350	E
20	46.8	Masw_11	Crinale	Scaglia Cinerea (SCC)	1460	A
21	48.1	Masw_12	Fondovalle	Depositi eluvio-colluviali	335	E
22	49.7	Masw PIDI 8	Versante	Formazione di Camerino (FCIc) - Litof. Arenacea	600	B
23	50.2	MASW PIDI 8 (geo)	Versante	Formazione di Camerino (FCIc) - Litof. Arenacea	307	C
24	50.7	Masw_12bis	Crinale	Formazione di Camerino (FCIc) - Litof. Arenacea	553	B
25	51.9	Masw_13	Crinale	Formazione di Camerino (FCIc) - Litof. Arenacea	488	B
26	54.5	Masw_14	Versante	Formazione di Camerino (FCIc) - Litof. Arenacea	441	B
27	57.3	Masw PIDI 9	Versante	Formazione dello Schlier (SCH)	382	B
28	61.2	Masw_15	Impluvio	Depositi eluvio-colluviali	330	E
29	61.6	Masw_16	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	625	B
30	62.6	Masw_17	Versante	Frana IFFI	317	E
31	63.3	Masw PIDI 10	Crinale	Formazione del Bisciario (BIS)	661	B
32	63.6	Masw_18	Versante	Scaglia Cinerea (SCC)	609	B

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 29 di 53	<b>Rev.</b> 0

33	65.4	Masw_19	Versante	Scaglia Cinerea (SCC)	1383	A
34	67.2	Masw_20	Vallone	Depositi di versante	1698	A
35	68.2	Masw PIDI 11	Versante	Scaglia Cinerea (SCC)	580	B
36	69.1	Masw PIDI 11	Fondovalle	Depositi alluvionali attuali	602	B
37	69.3	Masw_21	Versante	Deposito di versante	319	E
38	71.6	Masw_22	Fondovalle	Depositi alluvionali attuali	537	B
39	75.2	Masw_23	Vallone	Depositi alluvionali terrazzati	507	B
40	77.9	Masw PIDI Colfiorito	Fondovalle	Depositi alluvionali terrazzati	505	B

Come si può osservare dalla Tabella 5.2/F, la velocità equivalente osservata nei risultati delle prove MASW varia da un minimo di 240 m/s ad un massimo di 1698 m/s.

Dai dati ottenuti si può affermare che, in accordo con le NTC 2018, le categorie di sottosuolo dei siti indagati ricadano tra la categoria A, categoria B, categoria C e categoria E.

Nell'Allegato 2 sono riportati i profili di velocità (Vs) ottenuti nei siti indagati con metodo MASW.

L'assegnazione delle categorie di sottosuolo nelle aree non direttamente indagate è stata eseguita valutando i locali contesti geologici, geomorfologici (riscontrati in fase di sopralluoghi lungo il tracciato) e considerando i risultati delle indagini MASW eseguite nei siti rappresentativi delle unità litologiche presenti lungo la linea in progetto.

In Tabella 5.2/G sono rappresentate le distribuzioni delle categorie di sottosuolo assegnate lungo il tracciato di progetto.

**Tab. 5.2/G: Categorie di sottosuolo assegnate lungo il tracciato in progetto.**

ID Linea		A	%	B	%	C	%	D	%	E	%	TOT
<b>Linea principale</b>												
A2_2019a	Rif. Met. Recanati-Foligno (Fraz. Colfiorito)	32	10%	186	61%	82	27%	0	0%	5	2%	305
<b>Allacciamenti</b>												
P01_2019	All. Natural Gas Recanati	0	0%	0	0%	4	100%	0	0%	0	0%	4
P02_2019	AMA Autotrazione (Montecassiano)	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P03_2019	All. Smorlesi Gaetana (Montecassiano)	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P04_2019	All. Astea di Montecassiano	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P06_2019	Derivazione per Macerata	0	0%	8	73%	3	27%	0	0%	0	0%	11
P08_2019	Ric. All. Comune di Cingoli	0	0%	11	55%	9	45%	0	0%	0	0%	20
P09_2019	Rif. All. Comune di Treia 1° Presa	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P10_2019	Der. per Tolentino	0	0%	12	48%	13	52%	0	0%	0	0%	25
P12_2019	All. AMA Autotrazione Treia	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P14_2019	Assem SpA (San Severino Marche)	0	0%	3	75%	1	25%	0	0%	0	0%	4
P15_2019	Derivazione per Serrapetrona-Sarmano	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P16_2019	Soc. Gas di Camerino	0	0%	13	87%	2	13%	0	0%	0	0%	15
P17_2019	Pot. Deriv. per Fabriano	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P18_2019	Metema Gestioni (Muccia)	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
P19_2019	Rantoni (Visso)	0	0%	5	56%	4	44%	0	0%	0	0%	9
P20_2019	Metema Gestioni (Serravalle di Chienti)	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	0	0%	1
A2_2019bis	Tratto di interconnessione con il Met. Sulmona - Foligno	0	0%	1	50%	1	50%	0	0%	0	0%	2

Per una visualizzazione grafica della distribuzione delle classi di sottosuolo lungo l'area attraversata dal tracciato di progetto si rimanda all'Allegato 3 "Carta delle Categorie di Sottosuolo".

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 30 di 53	<b>Rev.</b> 0

Assegnate le categorie di sottosuolo ai terreni presenti lungo il tracciato, i valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) sono stati definiti in accordo alla Tabella 3.2.IV delle NTC 2018 (rif. Tab. 5.2/H).

**Tab. 5.2/H: Espressioni per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) in funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.IV delle NTC 2018).**

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Il coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ) e il coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

La stima dell'accelerazione orizzontale di picco in superficie (PGA) attesa nel periodo di ritorno considerato e lungo il territorio di interesse si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale  $S$  e l'accelerazione massima orizzontale attesa al suolo rigido  $a_g$ , in accordo alla seguente espressione:

$$PGA = a_g \cdot S$$

Il coefficiente  $S$ , che tiene conto del coefficiente di amplificazione topografico ( $S_T$ ) e di quello di amplificazione stratigrafico ( $S_s$ ), può essere calcolato mediante la relazione (cfr. Par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S = S_s \cdot S_T$$

In accordo alle NTC2018, i valori di accelerazione attesi al substrato rigido ( $a_g$ ) sono stati determinati attraverso l'interpolazione della griglia nazionale dell'INGV per ogni punto del tracciato in progetto, con un passo di 10m.

I valori più elevati di accelerazione orizzontale al *bedrock* ( $a_g$ ) sono stati osservati sulla linea principale in progetto, non sulle linee secondarie. L'intervallo minimo e massimo dei valori di accelerazione orizzontale massima al *bedrock* ( $a_g$ ) definito per l'intero tracciato principale risulta:

- $a_g = 0.091g \div 0.132g$  per lo Stato Limite di Danno SLD ( $T_R=100$  anni)
- $a_g = 0.223g \div 0.299g$  per lo Stato Limite Ultimo SLU ( $T_R=950$  anni)

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 31 di 53	<b>Rev.</b> 0

Questi valori, moltiplicati per i differenti coefficienti di amplificazione S individuati lungo la linea principale, hanno permesso la stima dei seguenti valori di accelerazione massima attesa al suolo (PGA):

- **PGA = 0.097g÷0.243g** per lo Stato Limite di Danno SLD ( $T_R=100$  anni).
- **PGA = 0.225g÷0.456g** per lo Stato Limite Ultimo SLV ( $T_R=950$  anni)

In Tabella 5.2/I sono riportati i valori di PGA agli stati limite analizzati per la linea principale e quelle secondarie in progetto.

**Tab. 5.2/I: Valori di PGA e PGV determinati per lo Stato Limite di Danno (SLD) e di Vita (SLV) per la linea principale e quelle secondarie in progetto.**

Linea principale	DN	L (km)	TR (anni) = 100		TR (anni) = 950	
			$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)	$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)
<b>Rif. Met. Recanati-Foligno (Fraz. Colfiorito)</b>	<b>650 (26")</b>	<b>77.980</b>	<b>0.243</b>	<b>0.176</b>	<b>0.456</b>	<b>0.358</b>
Allacciamenti	DN	L (km)	$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)	$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)
All. Natural Gas Recanati	100 (4")	1.165	0.137	0.101	0.319	0.245
AMA Autotrazione (Montecassiano)	200 (8")	2.385	0.128	0.095	0.319	0.250
All. Smorlesi Gaetana (Montecassiano)	100 (4")	0.010	0.110	0.082	0.275	0.216
All. Astea di Montecassiano	100 (4")	0.010	0.110	0.082	0.275	0.216
Derivazione per Macerata	150 (6")	2.585	0.139	0.105	0.321	0.258
Rif. All. Comune di Cingoli	150 (6")	4.265	0.141	0.106	0.308	0.247
Rif. All. Comune di Treia 1° Presa	100 (4")	0.675	0.113	0.085	0.264	0.212
Der. per Tolentino	200 (8")	6.360	0.171	0.129	0.367	0.294
All. AMA Autotrazione Treia	100 (4")	0.130	0.114	0.085	0.263	0.211
Assem SpA (San Severino Marche)	100 (4")	0.845	0.144	0.108	0.314	0.251
Derivazione per Serrapetrona-Sarnano	250 (10")	0.055	0.118	0.089	0.265	0.212
Soc. Gas di Camerino	100 (4")	2.115	0.158	0.117	0.330	0.263
Pot. Deriv. per Fabriano	400 (16")	0.060	0.136	0.100	0.290	0.229
Metema Gestioni (Muccia)	100 (4")	0.045	0.144	0.105	0.311	0.246
Rantoni (Visso)	100 (4")	0.600	0.190	0.138	0.394	0.310
Metema Gestioni (Serravalle di Chienti)	200 (8")	0.600	0.158	0.114	0.332	0.260
Tratto di interconnessione con il Met. Sulmona - Foligno	100 (4")	0.295	0.198	0.143	0.379	0.297

La distribuzione dei valori di accelerazione orizzontale massima attesi al suolo (PGA) lungo il corridoio del tracciato di progetto è riportata nell'elaborato grafico in Allegato 4 "Carta dei valori di PGA ( $T_R=950$  anni)".

La stima della massima velocità orizzontale al suolo (PGV) per gli stati limite considerati in accordo alle norme NTC 2018 (cfr. Par. § 3.2.3.3, NTC 2018) può essere definita mediante la seguente relazione:

$$PGV = 0.16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c$$

in cui:

- $a_g$ : accelerazione di picco attesa al substrato rigido (espressa in g);
- $S$ : fattore di risposta sismica locale;
- $T_c$ : periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

essendo:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 32 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- $T_c^*$  definito, insieme al valore di  $a_g$ , per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2008);
- $C_c$  un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.IV delle NTC 2018, riportata in Tab. 6/G).

Mediante tale relazione sono stati calcolati i valori di velocità orizzontale minimi e massimi attesi al suolo (PGV) lungo il tracciato per lo stato limite ultimo (SLV):

- **PGV = 0.176m/s (PGA 0.225g) ÷ 0.358 m/s (PGA 0.456g)** per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni).

In Tabella 5.2/I sono riportati i valori massimi attesi di velocità orizzontale (PGV) agli Stati Limite di Danno e di Vita per la linea principale e quelle secondarie in progetto.

Le verifiche degli stati tensionali indotti dallo scuotimento sismico del terreno (*ground shaking*) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni interrate in occasione dell'azione sismica massima attesa in concomitanza con l'esercizio dell'opera, sono stati elaborati per tutti i diametri e gli spessori previsti per le condotte in esame.

In Appendice 1 è riportata la verifica strutturale allo scuotimento sismico effettuata per la linea principale e per tutte le linee secondarie previste nell'opera in progetto.

I risultati delle analisi riguardanti elementi di tubazione rettilinei e curvi, hanno evidenziato l'idoneità degli spessori di tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno atteso in occasione di un evento sismico di progetto.

Dai risultati si evince pure che in nessun caso, per effetto del *ground shaking*, si raggiungono i valori di resistenza a rottura dell'acciaio costituente le condotte in progetto, che sotto questo aspetto possono essere considerate assolutamente sicure.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 33 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi della pericolosità sismica (*seismic hazard*), che caratterizza il territorio nel quale si sviluppa il tracciato in progetto denominato "*Rifacimento metanodotto Recanati - Foligno*", DN 650 (26") - DP 75bar", che prevede come principale intervento la realizzazione di un metanodotto di diametro DN650 (16"), e di una serie di collegamenti di diverso diametro, è stata eseguita considerando i dati disponibili nei cataloghi ufficiali (es: INGV; ISPRA; etc.) e i dati acquisiti in sopralluoghi e campagne geognostiche realizzate durante questo studio e in fase precedente di Studio di Impatto Ambientale per la linea DN 1050 (42").

In particolare, l'analisi della pericolosità sismica del territorio in esame ha fornito una valutazione dei seguenti aspetti:

- sismicità storica del territorio;
- caratterizzazione sismogenetica;
- definizione dell'azione sismica massima attesa;

Dallo studio è emerso che l'area di interesse è caratterizzata da un livello di sismicità medio-alto, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

L'azione sismica massima attesa nel territorio interessato dall'opera è stata stimata in accordo ai requisiti della normativa nazionale attualmente in vigore (NTC 2018).

L'analisi delle categorie topografiche è stata eseguita utilizzando un database di dati DTM (risoluzione 10m) definito sul tracciato in progetto, che ha consentito una più accurata assegnazione delle categorie lungo la linea principale e le linee secondarie.

Le categorie assegnate lungo il tracciato principale (N. 230 siti campionati), sono le seguenti:

- N. 97 – Categoria topografica T1 (42,2%)
- N. 93 – Categoria topografica T2 (40,4%)
- N. 38 – Categoria topografica T3 (16,5%)
- N. 2 – Categoria topografica T4 (0,9%)

Nelle nuove norme NTC 2018 la definizione dell'azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) in campo. Pertanto, sono state eseguite una serie di prove indirette (N. 39 indagini tipo MASW), ubicate nei siti più rappresentativi delle condizioni geologiche presenti lungo il tracciato. I risultati delle prove sismiche insieme ad una attenta valutazione dei contesti geologici e geomorfologici presenti lungo la linea principale e quelle secondarie, hanno consentito una accurata caratterizzazione delle categorie di sottosuolo da assegnare ai terreni affioranti lungo il tracciato.

Le categorie di sottosuolo assegnate lungo la linea principale del tracciato in progetto sono le seguenti:

- N. 32 – Categoria di sottosuolo A (10,5%)
- N. 186 – Categoria di sottosuolo B (61,0%)
- N. 82 – Categoria di sottosuolo C (26,9%)
- N. 0 – Categoria di sottosuolo D (0%).
- N. 5 – Categoria di sottosuolo E (1,6%).

I valori di accelerazione e di velocità orizzontale massima (PGA e PGV) attesi al suolo lungo la linea principale e quelle secondarie definiti in accordo alle norme NTC 2018 sono riportati in Tabella 6/A.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 34 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 6/A: Valori di PGA e PGV determinati per lo Stato Limite di Danno (SLD) e di Vita (SLV) per la linea principale e quelle secondarie in progetto.**

			TR (anni) = 100		TR (anni) = 950	
Linea principale	DN	L (km)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)
Rif. Met. Recanati-Foligno (Fraz. Colfiorito)	650 (26")	77.980	0.243	0.176	0.456	0.358
Allacciamenti	DN	L (km)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)	a <sub>max</sub> (g)	v <sub>max</sub> (m/s)
All. Natural Gas Recanati	100 (4")	1.165	0.137	0.101	0.319	0.245
AMA Autotrazione (Montecassiano)	200 (8")	2.385	0.128	0.095	0.319	0.250
All. Smorlesi Gaetana (Montecassiano)	100 (4")	0.010	0.110	0.082	0.275	0.216
All. Astea di Montecassiano	100 (4")	0.010	0.110	0.082	0.275	0.216
Derivazione per Macerata	150 (6")	2.585	0.139	0.105	0.321	0.258
Rif. All. Comune di Cingoli	150 (6")	4.265	0.141	0.106	0.308	0.247
Rif. All. Comune di Treia 1° Presa	100 (4")	0.675	0.113	0.085	0.264	0.212
Der. per Tolentino	200 (8")	6.360	0.171	0.129	0.367	0.294
All. AMA Autotrazione Treia	100 (4")	0.130	0.114	0.085	0.263	0.211
Assem SpA (San Severino Marche)	100 (4")	0.845	0.144	0.108	0.314	0.251
Derivazione per Serrapetrona-Sarnano	250 (10")	0.055	0.118	0.089	0.265	0.212
Soc. Gas di Camerino	100 (4")	2.115	0.158	0.117	0.330	0.263
Pot. Deriv. per Fabriano	400 (16")	0.060	0.136	0.100	0.290	0.229
Metema Gestioni (Muccia)	100 (4")	0.045	0.144	0.105	0.311	0.246
Rantoni (Visso)	100 (4")	0.600	0.190	0.138	0.394	0.310
Metema Gestioni (Serravalle di Chienti)	200 (8")	0.600	0.158	0.114	0.332	0.260
Tratto di interconnessione con il Met. Sulmona - Foligno	100 (4")	0.295	0.198	0.143	0.379	0.297

La valutazione del potenziale rischio per la condotta in progetto associato ad interferenze con zone potenzialmente soggette a deformazioni permanenti dei terreni superficiali in occasione di eventi sismici, quali faglie attive e capaci oppure zone suscettibili a liquefazione dei terreni, è stata valutata nelle specifiche LA-E-83012 e LA-E-83013.

In Appendice 1 è riportata la verifica strutturale della condotta alle azioni sismiche massime attese. Questa analisi fornisce una stima della vulnerabilità sismica dell'opera allo scuotimento del terreno atteso (*ground shaking*), in termini di risposta meccanica e strutturale dell'infrastruttura rispetto ai limiti accettati dalle normative internazionali di riferimento.

Le verifiche degli stati tensionali indotti dallo scuotimento sismico del terreno sono state eseguite sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni interrate in occasione dell'azione sismica massima attesa e in concomitanza con l'esercizio dell'opera. Le verifiche sono state elaborate per tutti i diametri e gli spessori previsti per le condotte in esame, in accordo ai parametri meccanici riportati nel documento di SIA (rif. LA-E-83010).

I risultati delle verifiche hanno evidenziato l'idoneità dello spessore della tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno in occasione dell'evento sismico massimo atteso.

Dai risultati si evince pure che in nessun caso, per effetto dello *shaking*, si raggiungono i valori di resistenza a rottura dell'acciaio costituente le condotte in progetto, che sotto questo aspetto possono essere considerate assolutamente sicure.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 35 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 7 BIBLIOGRAFIA

DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. (2012). New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT). Italian Journal of Engineering Geology and Environment, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05

ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults). Sito web: <http://sgi1.isprambiente.it/ArcGIS/services/servizi/ithaca/mapserver/WMSServer?>

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>”).

Meletti C. Valensise G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9, *App. 2 al Rapporto Conclusivo*.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>”).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 36 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## APPENDICE 1

### VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 37 di 53	<b>Rev.</b> 0

## 1 VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni interrato in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati elaborati per tutti i diametri e gli spessori previsti per le condotte in esame.

Lo shaking è causato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che, impartendo movimenti alle particelle di suolo, sollecitano la tubazione interrato a deformarsi così come si deforma il terreno circostante.

Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo, che con la direzione di propagazione del movimento sismico rispetto l'asse della condotta.

Secondo le indicazioni di studi presentati nella letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento del terreno circostante il tubo permette di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione (Hindy, Novak 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali quali: le onde di compressione (onde P o primarie), le onde di taglio (onde S o secondarie) e le onde superficiali (onde R o di Rayleigh).

Nei tratti di tubazione rettilinea le onde P provocano le massime sollecitazioni assiali durante la prima parte del moto; le onde S provocano le massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto (i fenomeni non avvengono quindi contemporaneamente), mentre le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente la direzione di propagazione dell'onda.

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

Le verifiche sismiche oggetto di questo rapporto sono state eseguite facendo riferimento ai paragrafi 7.4.1.2 e 7.4.1.3 e all'allegato E della norma EN 1594 "Gas Supply Systems – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements", edizione 2009.

La metodologia di calcolo e di verifica applicata è congruente con le indicazioni della norma EN 1594 che, nell'Annex E con la Ref. [2], richiama le "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" delle ASCE.

Queste ultime sono state aggiornate nel 2001 dalle ASCE nelle "Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe" e sono ritenute sufficientemente conservative, poiché considerano la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S ed R, e ne massimizzano gli effetti sulla tubazione trascurando (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno che ridurrebbe le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta.

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

### 1.1 Dati di Input

In Tabella 1.1/A sono riportate le caratteristiche meccaniche e operative comuni alle tubazioni analizzate:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 38 di 53	<b>Rev.</b> 0

**Tabella 1.1/A: Caratteristiche delle tubazioni e condizioni di progetto**

Modulo elastico di Young, E	N/mm <sup>2</sup>	201440 (*)
Coefficiente di Poisson, $\nu$	adm	0,3
Coefficiente dilatazione termica, $\alpha$	mm/mm/°C	1,12 E-5 (*)
Peso specifico tubazioni, $\gamma_p$	kg/m <sup>3</sup>	7850
Pressione di progetto, P	bar	75
Differenza temperatura, $\Delta T$	°C	45
Snervamento acciaio tubo, EN L415NB/MB	N/mm <sup>2</sup>	415
Snervamento acciaio tubo, EN L360NB/MB	N/mm <sup>2</sup>	360

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

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

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

Per il terreno circostante i tubi (suolo di reinterro della trincea con cui le tubazioni interagiscono), sono state considerate le seguenti caratteristiche medie:

H = 1,5 m	Altezza minima di copertura
$\gamma_s = 18000 \text{ N/m}^3$	Peso specifico del terreno di reinterro
$\delta = 21^\circ$	Angolo di attrito tubo-terreno
$K_0 = 0,5$	Coefficiente di spinta a riposo

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023087</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 39 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Sulla base dei dati relativi alla sismicità storica e strumentale, sono state calcolate le massime accelerazioni e le massime velocità attese al suolo ( $a_{max}$  e  $v_{max}$ ) lungo il tracciato della tubazione a seguito dell'evento sismico corrispondente sia allo Stato Limite di Danno (SLD, per un periodo di ritorno di 100 anni), che allo Stato Limite di Vita (SLV, per un periodo di ritorno di 950 anni).

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

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

Linea principale	DN	De (mm)	Spessore (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	$\Delta T_{op}$ (°C)	Curve	TR (anni) = 100		TR (anni) = 950	
									$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)	$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)
<b>1. Tratto Recanati-Foligno (Fraz. Colfiorito)</b>	<b>650 (26")</b>	<b>660</b>	<b>magg 11.1; rinf 15.9</b>	<b>77.980</b>	<b>EN L 415 NB/MB</b>	<b>75</b>	<b>45</b>	<b>R = 7DN</b>	<b>0.243</b>	<b>0.176</b>	<b>0.456</b>	<b>0.358</b>
Allacciamenti	DN	Di (mm)	spess. (mm)	L (km)	Acciaio	p (bar)	$\Delta T_{op}$ (°C)	Curve	$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)	$a_{max}$ (g)	$v_{max}$ (m/s)
2. All. Natural Gas Recanati	100 (4")	103.9	5.2	1.165	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.137</b>	<b>0.101</b>	<b>0.319</b>	<b>0.245</b>
3. AMA Autotrazione (Montecassiano)	200 (8")	205.1	7.0	2.385	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.128</b>	<b>0.095</b>	<b>0.319</b>	<b>0.250</b>
4. All. Smorlesi Gaetana (Montecassiano)	100 (4")	103.9	5.2	0.010	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.110</b>	<b>0.082</b>	<b>0.275</b>	<b>0.216</b>
5. All. Astea di Montecassiano	100 (4")	103.9	5.2	0.010	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.110</b>	<b>0.082</b>	<b>0.275</b>	<b>0.216</b>
6. Derivazione per Macerata	150 (6")	154.1	7.1	2.585	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.139</b>	<b>0.105</b>	<b>0.321</b>	<b>0.258</b>
7. Rif. All. Comune di Cingoli	150 (6")	154.1	7.1	4.265	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.141</b>	<b>0.106</b>	<b>0.308</b>	<b>0.247</b>
8. Rif. All. Comune di Treia 1° Presa	100 (4")	103.9	5.2	0.675	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.113</b>	<b>0.085</b>	<b>0.264</b>	<b>0.212</b>
9. Der. per Tolentino	200 (8")	205.1	7.0	6.360	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.171</b>	<b>0.129</b>	<b>0.367</b>	<b>0.294</b>
10. All. AMA Autotrazione Treia	100 (4")	103.9	5.2	0.130	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.114</b>	<b>0.085</b>	<b>0.263</b>	<b>0.211</b>
11. Assem SpA (San Severino Marche)	100 (4")	103.9	5.2	0.845	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.144</b>	<b>0.108</b>	<b>0.314</b>	<b>0.251</b>
12. Derivazione per Serrapetrona-Sarnano	250 (10")	257.5	7.8	0.055	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.118</b>	<b>0.089</b>	<b>0.265</b>	<b>0.212</b>
13. Soc. Gas di Camerino	100 (4")	103.9	5.2	2.115	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.158</b>	<b>0.117</b>	<b>0.330</b>	<b>0.263</b>
14. Pot. Deriv. per Fabriano	400 (16")	384.2	11.1	0.060	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.136</b>	<b>0.100</b>	<b>0.290</b>	<b>0.229</b>
15. Metema Gestioni (Muccia)	100 (4")	103.9	5.2	0.045	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.144</b>	<b>0.105</b>	<b>0.311</b>	<b>0.246</b>
16. Rantoni (Visso)	100 (4")	103.9	5.2	0.600	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.190</b>	<b>0.138</b>	<b>0.394</b>	<b>0.310</b>
17. Metema Gestioni (Serravalle di Chienti)	200 (8")	205.1	7.0	0.600	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.158</b>	<b>0.114</b>	<b>0.332</b>	<b>0.260</b>
18. Tratto di interconnessione con il Met. Sulmona - Foligno	100 (4")	103.9	5.2	0.295	EN L 360 NB/MB	75	45	R = 3DN	<b>0.198</b>	<b>0.143</b>	<b>0.379</b>	<b>0.297</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 40 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1.2 Criterio di Verifica

Con riferimento al paragrafo 7.4.1.2 della norma EN 1594, la tensione totale risultante sulla tubazione è calcolata col criterio di Von Mises, in campo elastico per il materiale del tubo, considerando tutti i carichi “primari” e contemporaneamente agenti (operativi ed esterni).

La tensione equivalente totale,  $S_V$ , è determinata secondo la formula di seguito riportata

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

dove:

$S_H$  è la tensione circonferenziale (hoop stress) dovuta alla pressione interna del tubo.  
 $S_L$  è lo stress longitudinale totale risultante dalla sommatoria delle tensioni dovute all’espansione termica impedita, agli effetti longitudinali dovuti alla pressione interna al tubo, al carico occasionale rappresentato dall’evento sismico.

In accordo al paragrafo 7.4.1.3 della norma EN 1594 (edizione 2009) la suddetta tensione equivalente totale è confrontata col 100% dello snervamento minimo del materiale della tubazione,  $\sigma_Y$ , (in gergo anglosassone SMYS = Specified Minimum Yield Stress).

$$S_V = [S_L^2 - S_L S_H + S_H^2]^{1/2} \leq \sigma_Y = \text{SMYS}$$

Infine, basandosi sulla “good engineering practice”, una ulteriore analisi è eseguita per verificare l’insorgere di fenomeni di instabilità locale di parete nel caso in cui risulti una deformazione longitudinale di compressione,  $\varepsilon$ .

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

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

## 1.3 Elemento di Tubazione Rettilineo

Applicare i criteri di verifica proposti nelle Guidelines (ASCE 1984), ovvero trascurare l’interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei, fornisce valori conservativi circa lo stato tensionale indotto sulla tubazione.

L’ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi come il suolo circostante si deforma a seguito del passaggio dell’onda sismica, rende pressoché indipendente il risultato delle tensioni indotte dallo spessore del tubo.

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l’asse della condotta, sono rispettivamente:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 41 di 53	<b>Rev.</b> 0

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

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

Nella formula precedente  $\vartheta$  è l'angolo di incidenza tra l'asse della tubazione e la direzione di propagazione del movimento sismico.

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza  $\vartheta$ , i valori massimi delle tensioni  $\sigma_a$  e  $\sigma_b$  si ottengono, rispettivamente, per  $\vartheta = 45^\circ$  e  $\vartheta = 0^\circ$ :

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

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

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

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

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

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza  $\vartheta$ , i valori massimi delle tensioni  $\sigma_a$  e  $\sigma_b$  si ottengono, rispettivamente, per  $\vartheta = 0^\circ$  e  $\vartheta = 35^\circ 16'$ :

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

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

Le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R, sono rispettivamente:

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 42 di 53	<b>Rev.</b> 0

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

La massima tensione longitudinale dovuta all'evento sismico risulta quindi:

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

Nelle porzioni di tubazione rettilinea, l'espansione termica impedita dall'attrito tubo-terreno genera una tensione di compressione:

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

Lontano dalle curve, l'effetto longitudinale di trazione dovuto alla pressione interna è dato dalla seguente:

$$\sigma_{P,v} = \nu \frac{P D}{2 t} = 0,3 \frac{P D}{2 t}$$

Negli elementi curvi, l'effetto longitudinale dovuto alla pressione interna è dato dal "tiro di fondo":

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

Per ciascuna linea (diametro), le massime tensioni sismiche calcolate con le formule sopra riportate sono presentate nelle tabelle 1.3/A e 1.3/B seguenti, rispettivamente riferite al terremoto di Stato Limite di Danno ( $a_{g,SLD}$  - periodo di ritorno di 100 anni) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ( $a_{g,SLV}$  - periodo di ritorno di 950 anni).

Combinando le tensioni di Tab. 1.3/A e Tab. 1.3/B secondo i criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti (si vedano Tab. 1.3/C e Tab. 1.3/D) sono presentati i risultati delle verifiche a scuotimento sismico (shaking) eseguite per ciascuna linea esaminata in corrispondenza del terremoto per lo Stato Limite di Danno e di quello per lo Stato Limite di Vita.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 43 di 53	<b>Rev.</b> 0

**Tabella 1.3/A: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)**

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress assiale sismico totale $\sigma_{sism}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	8,86	0,04	17,73	0,02	17,73	0,04	26,65
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	8,86	0,04	17,73	0,02	17,73	0,04	26,65
DN 100 (4") <sup>2</sup>	5,09	0,00	10,17	0,00	10,17	0,00	15,32
DN 200 (8") <sup>3</sup>	4,78	0,01	9,57	0,00	9,57	0,01	14,36
DN 100 (4") <sup>4</sup>	4,13	0,00	8,26	0,00	8,26	0,00	12,39
DN 100 (4") <sup>5</sup>	4,13	0,00	8,26	0,00	8,26	0,00	12,39
DN 150 (6") <sup>6</sup>	5,29	0,01	10,58	0,00	10,58	0,00	15,87
DN 150 (6") <sup>7</sup>	5,34	0,01	10,68	0,00	10,68	0,01	16,02
DN 100 (4") <sup>8</sup>	4,28	0,00	8,56	0,00	8,56	0,00	12,85
DN 200 (8") <sup>9</sup>	6,50	0,01	12,99	0,00	12,99	0,01	19,50
DN 100 (4") <sup>10</sup>	4,28	0,00	8,56	0,00	8,56	0,00	12,85
DN 100 (4") <sup>11</sup>	5,44	0,00	10,88	0,00	10,88	0,00	16,32
DN 250 (10") <sup>12</sup>	4,48	0,01	8,96	0,00	8,96	0,01	13,46
DN 100 (4") <sup>13</sup>	5,89	0,00	11,78	0,00	11,78	0,00	17,68
DN 400 (16") <sup>14</sup>	5,04	0,01	10,07	0,01	10,07	0,01	15,13
DN 100 (4") <sup>15</sup>	5,29	0,00	10,58	0,00	10,58	0,00	15,87
DN 100 (4") <sup>16</sup>	6,95	0,01	13,90	0,00	13,90	0,01	20,86
DN 200 (8") <sup>17</sup>	5,74	0,01	11,48	0,00	11,48	0,01	17,24
DN 100 (4") <sup>18</sup>	7,20	0,01	14,40	0,00	14,40	0,01	21,61

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 44 di 53	<b>Rev.</b> 0

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

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress assiale sismico totale $\sigma_{sism}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	18,03	0,07	36,06	0,03	36,06	0,07	54,20
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	18,03	0,07	36,06	0,03	36,06	0,07	54,20
DN 100 (4") <sup>2</sup>	12,34	0,01	24,68	0,00	24,68	0,01	37,03
DN 200 (8") <sup>3</sup>	12,59	0,02	25,18	0,01	25,18	0,02	37,80
DN 100 (4") <sup>4</sup>	10,88	0,01	21,76	0,00	21,76	0,01	32,64
DN 100 (4") <sup>5</sup>	10,88	0,01	21,76	0,00	21,76	0,01	32,64
DN 150 (6") <sup>6</sup>	12,99	0,01	25,99	0,01	25,99	0,01	39,00
DN 150 (6") <sup>7</sup>	12,44	0,01	24,88	0,00	24,88	0,01	37,34
DN 100 (4") <sup>8</sup>	10,68	0,01	21,35	0,00	21,35	0,01	32,04
DN 200 (8") <sup>9</sup>	14,81	0,02	29,61	0,01	29,61	0,02	44,45
DN 100 (4") <sup>10</sup>	10,63	0,01	21,25	0,00	21,25	0,01	31,89
DN 100 (4") <sup>11</sup>	12,64	0,01	25,28	0,00	25,28	0,01	37,93
DN 250 (10") <sup>12</sup>	10,68	0,02	21,35	0,01	21,35	0,02	32,06
DN 100 (4") <sup>13</sup>	13,24	0,01	26,49	0,00	26,49	0,01	39,75
DN 400 (16") <sup>14</sup>	11,53	0,03	23,06	0,01	23,06	0,03	34,64
DN 100 (4") <sup>15</sup>	12,39	0,01	24,78	0,00	24,78	0,01	37,18
DN 100 (4") <sup>16</sup>	15,61	0,01	31,22	0,00	31,22	0,01	46,85
DN 200 (8") <sup>17</sup>	13,09	0,02	26,19	0,01	26,19	0,02	39,31
DN 100 (4") <sup>18</sup>	14,96	0,01	29,91	0,00	29,91	0,01	44,89

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 45 di 53	<b>Rev.</b> 0

**Tabella 1.3/C: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD).**

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	S <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub> /SMYS (adm)	ε (adm)	ε <sub>cr</sub> (adm)	ε/ε <sub>cr</sub> (adm)
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	259,21	415	0,62	3,04E-4	1,0E-3	0,30
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	208,76	415	0,50	4,04E-4	1,0E-3	0,40
DN 100 (4") <sup>2</sup>	151,19	360	0,42	4,57E-4	1,0E-3	0,46
DN 200 (8") <sup>3</sup>	172,50	360	0,48	4,00E-4	1,0E-3	0,40
DN 100 (4") <sup>4</sup>	148,66	360	0,41	4,43E-4	1,0E-3	0,44
DN 100 (4") <sup>5</sup>	148,66	360	0,41	4,43E-4	1,0E-3	0,44
DN 150 (6") <sup>6</sup>	155,56	360	0,43	4,50E-4	1,0E-3	0,45
DN 150 (6") <sup>7</sup>	155,69	360	0,43	4,51E-4	1,0E-3	0,45
DN 100 (4") <sup>8</sup>	149,06	360	0,41	4,45E-4	1,0E-3	0,45
DN 200 (8") <sup>9</sup>	176,67	360	0,49	4,26E-4	1,0E-3	0,43
DN 100 (4") <sup>10</sup>	149,06	360	0,41	4,45E-4	1,0E-3	0,45
DN 100 (4") <sup>11</sup>	152,12	360	0,42	4,62E-4	1,0E-3	0,46
DN 250 (10") <sup>12</sup>	181,33	360	0,50	3,75E-4	1,0E-3	0,38
DN 100 (4") <sup>13</sup>	153,33	360	0,43	4,69E-4	1,0E-3	0,47
DN 400 (16") <sup>14</sup>	186,83	360	0,52	3,75E-4	1,0E-3	0,37
DN 100 (4") <sup>15</sup>	151,72	360	0,42	4,60E-4	1,0E-3	0,46
DN 100 (4") <sup>16</sup>	156,14	360	0,43	4,85E-4	1,0E-3	0,48
DN 200 (8") <sup>17</sup>	174,83	360	0,49	4,15E-4	1,0E-3	0,41
DN 100 (4") <sup>18</sup>	156,81	360	0,44	4,89E-4	1,0E-3	0,49

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 46 di 53	<b>Rev.</b> 0

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

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	$S_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	$S_v/SMYS$ (adm)	$\epsilon$ (adm)	$\epsilon_{cr}$ (adm)	$\epsilon/\epsilon_{cr}$ (adm)
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	278,33	415	0,67	4,41E-4	1,00E-3	0,44
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	230,47	415	0,56	5,41E-4	1,00E-3	0,54
DN 100 (4") <sup>2</sup>	170,68	360	0,47	5,65E-4	1,00E-3	0,57
DN 200 (8") <sup>3</sup>	191,93	360	0,53	5,17E-4	1,00E-3	0,52
DN 100 (4") <sup>4</sup>	166,71	360	0,46	5,43E-4	1,00E-3	0,54
DN 100 (4") <sup>5</sup>	166,71	360	0,46	5,43E-4	1,00E-3	0,54
DN 150 (6") <sup>6</sup>	176,03	360	0,49	5,65E-4	1,00E-3	0,57
DN 150 (6") <sup>7</sup>	174,53	360	0,48	5,57E-4	1,00E-3	0,56
DN 100 (4") <sup>8</sup>	166,17	360	0,46	5,40E-4	1,00E-3	0,54
DN 200 (8") <sup>9</sup>	197,60	360	0,55	5,50E-4	1,00E-3	0,55
DN 100 (4") <sup>10</sup>	166,03	360	0,46	5,40E-4	1,00E-3	0,54
DN 100 (4") <sup>11</sup>	171,51	360	0,48	5,70E-4	1,00E-3	0,57
DN 250 (10") <sup>12</sup>	196,16	360	0,54	4,68E-4	1,00E-3	0,47
DN 100 (4") <sup>13</sup>	173,16	360	0,48	5,79E-4	1,00E-3	0,58
DN 400 (16") <sup>14</sup>	202,26	360	0,56	4,71E-4	1,00E-3	0,47
DN 100 (4") <sup>15</sup>	170,82	360	0,47	5,66E-4	1,00E-3	0,57
DN 100 (4") <sup>16</sup>	179,65	360	0,50	6,14E-4	1,00E-3	0,61
DN 200 (8") <sup>17</sup>	193,21	360	0,54	5,24E-4	1,00E-3	0,52
DN 100 (4") <sup>18</sup>	177,85	360	0,49	6,04E-4	1,00E-3	0,60

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 47 di 53	<b>Rev.</b> 0

#### 1.4 Elemento di Tubazione Curvo

Nell'analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l'interazione tra tubo e terreno è inevitabilmente presa in considerazione, Assumendo il movimento dell'onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si indica con  $L'$  la lunghezza di scorrimento della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito  $t_u$  (ASCE 1984),

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

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

dove:

- $A_p$  = area della sezione trasversale del tubo  
 $\lambda$  =  $(k_o/4EI)^{1/4}$   
 $k_o$  = modulo di reazione del suolo  
 $I$  = momento di inerzia della sezione trasversale del tubo  
 $\varepsilon_{\max}$  = massima deformazione del terreno  
 $K_o$  = coefficiente di pressione del suolo a riposo

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

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

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

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

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

con:

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 48 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

$K_1$  è il fattore di intensificazione dello stress:

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

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

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

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

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

Nelle successive tabelle sono riportati i valori ottenuti seguendo la sopra riportata procedura di calcolo per la curva di 90°.

In accordo al criterio di verifica riportato al paragrafo 1.2, la deformazione sismica è trasferita all'elemento curvo unitamente agli effetti delle condizioni operative massime in termini di temperatura, pressione e gravità.

Per ciascuna linea (diametro), lo spostamento e le sollecitazioni interne risultanti dalla combinazione della espansione termica, degli effetti dovuti ai carichi sostenuti ed a quelli sismici, per il calcolo di  $S_v$ , sono riportati nelle tabelle Tab. 1.4/A e Tab. 1.4/B seguenti, rispettivamente riferite al terremoto per lo Stato Limite di Danno ( $a_{g,SLD}$ ) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ( $a_{g,SLV}$ ).

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

Per ciascuna delle linee esaminate, nelle tabelle 1.4/C e 1.4/D sono riportati i risultati delle verifiche strutturali corrispondenti al terremoto per lo Stato Limite di Danno e a quello per lo Stato Limite di Vita.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 49 di 53	<b>Rev.</b> 0

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

Tubazione	$\epsilon$ (adm)	$\Delta$ (mm)	S (kN)	M (kNm)	$\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	3,04E-4	56,7	456,9	135,4	20,18	51,24
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	4,04E-4	67,2	613,6	298,4	19,06	61,62
DN 100 (4") <sup>2</sup>	4,57E-4	19,2	15,9	5,3	8,90	151,20
DN 200 (8") <sup>3</sup>	4,00E-4	26,1	53,6	17,1	11,50	123,25
DN 100 (4") <sup>4</sup>	4,43E-4	18,4	15,2	5,1	8,55	145,16
DN 100 (4") <sup>5</sup>	4,43E-4	18,4	15,2	5,1	8,55	145,16
DN 150 (6") <sup>6</sup>	4,50E-4	25,4	38,3	14,6	10,66	147,07
DN 150 (6") <sup>7</sup>	4,51E-4	25,4	38,4	14,7	10,68	147,37
DN 100 (4") <sup>8</sup>	4,45E-4	18,5	15,3	5,1	8,60	146,10
DN 200 (8") <sup>9</sup>	4,26E-4	27,9	57,3	18,3	12,28	131,67
DN 100 (4") <sup>10</sup>	4,45E-4	18,5	15,3	5,1	8,60	146,10
DN 100 (4") <sup>11</sup>	4,62E-4	19,4	16,1	5,3	9,04	153,45
DN 250 (10") <sup>12</sup>	3,75E-4	29,0	79,6	25,8	12,25	115,60
DN 100 (4") <sup>13</sup>	4,69E-4	19,8	16,4	5,5	9,21	156,37
DN 400 (16") <sup>14</sup>	3,75E-4	40,2	191,6	77,7	13,90	107,83
DN 100 (4") <sup>15</sup>	4,60E-4	19,3	16,0	5,3	8,98	152,49
DN 100 (4") <sup>16</sup>	4,85E-4	20,7	17,1	5,7	9,61	163,25
DN 200 (8") <sup>17</sup>	4,15E-4	27,1	55,7	17,8	11,93	127,93
DN 100 (4") <sup>18</sup>	4,89E-4	20,9	17,3	5,7	9,71	164,91

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 50 di 53	<b>Rev.</b> 0

**Tabella 1.4/B: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV).**

Tubazione	$\epsilon$ (adm)	$\Delta$ (mm)	S (kN)	M (kNm)	$\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	4,41E-4	74,0	595,5	176,5	26,30	66,78
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	5,41E-4	89,4	816,7	397,2	25,37	82,02
DN 100 (4") <sup>2</sup>	5,65E-4	25,3	21,0	7,0	11,78	200,09
DN 200 (8") <sup>3</sup>	5,17E-4	34,6	71,0	22,7	15,23	163,24
DN 100 (4") <sup>4</sup>	5,43E-4	24,0	19,9	6,6	11,18	189,82
DN 100 (4") <sup>5</sup>	5,43E-4	24,0	19,9	6,6	11,18	189,82
DN 150 (6") <sup>6</sup>	5,65E-4	33,8	51,1	19,5	14,21	196,06
DN 150 (6") <sup>7</sup>	5,57E-4	33,2	50,1	19,1	13,94	192,36
DN 100 (4") <sup>8</sup>	5,40E-4	23,9	19,8	6,6	11,09	188,42
DN 200 (8") <sup>9</sup>	5,50E-4	37,1	76,3	24,4	16,36	175,33
DN 100 (4") <sup>10</sup>	5,40E-4	23,8	19,7	6,6	11,07	188,07
DN 100 (4") <sup>11</sup>	5,70E-4	25,6	21,2	7,1	11,91	202,24
DN 250 (10") <sup>12</sup>	4,68E-4	36,3	99,5	32,2	15,30	144,45
DN 100 (4") <sup>13</sup>	5,79E-4	26,2	21,7	7,2	12,16	206,56
DN 400 (16") <sup>14</sup>	4,71E-4	50,5	240,4	97,4	17,44	135,28
DN 100 (4") <sup>15</sup>	5,66E-4	25,4	21,0	7,0	11,80	200,44
DN 100 (4") <sup>16</sup>	6,14E-4	28,4	23,5	7,8	13,18	223,85
DN 200 (8") <sup>17</sup>	5,24E-4	35,1	72,2	23,1	15,48	165,96
DN 100 (4") <sup>18</sup>	6,04E-4	27,7	23,0	7,6	12,90	219,02

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 51 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	S <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub> /SMYS (adm)
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	660,4	263,07	415	0,63
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	660,4	231,20	415	0,56
DN 100 (4") <sup>2</sup>	114,3	276,54	360	0,77
DN 200 (8") <sup>3</sup>	219,10	262,33	360	0,73
DN 100 (4") <sup>4</sup>	114,3	270,36	360	0,75
DN 100 (4") <sup>5</sup>	114,3	270,36	360	0,75
DN 150 (6") <sup>6</sup>	168,3	275,76	360	0,77
DN 150 (6") <sup>7</sup>	168,3	276,07	360	0,77
DN 100 (4") <sup>8</sup>	114,3	271,33	360	0,75
DN 200 (8") <sup>9</sup>	219,10	270,84	360	0,75
DN 100 (4") <sup>10</sup>	114,3	271,33	360	0,75
DN 100 (4") <sup>11</sup>	114,3	278,84	360	0,77
DN 250 (10") <sup>12</sup>	273,10	261,01	360	0,73
DN 100 (4") <sup>13</sup>	114,3	281,82	360	0,78
DN 400 (16") <sup>14</sup>	406,4	257,88	360	0,72
DN 100 (4") <sup>15</sup>	114,3	277,85	360	0,77
DN 100 (4") <sup>16</sup>	114,3	288,88	360	0,80
DN 200 (8") <sup>17</sup>	219,10	267,05	360	0,74
DN 100 (4") <sup>18</sup>	114,3	290,58	360	0,81

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 52 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	S <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub> /SMYS (adm)
DN 650 (26"/spess.11.1 mm) <sup>1</sup>	660,4	278,23	415	0,67
DN 650 (26"/spess.15.9 mm) <sup>1</sup>	660,4	253,38	415	0,61
DN 100 (4") <sup>2</sup>	114,3	326,82	360	0,91
DN 200 (8") <sup>3</sup>	219,10	303,11	360	0,84
DN 100 (4") <sup>4</sup>	114,3	316,22	360	0,88
DN 100 (4") <sup>5</sup>	114,3	316,22	360	0,88
DN 150 (6") <sup>6</sup>	168,3	326,54	360	0,91
DN 150 (6") <sup>7</sup>	168,3	322,69	360	0,90
DN 100 (4") <sup>8</sup>	114,3	314,77	360	0,87
DN 200 (8") <sup>9</sup>	219,10	315,59	360	0,88
DN 100 (4") <sup>10</sup>	114,3	314,41	360	0,87
DN 100 (4") <sup>11</sup>	114,3	329,04	360	0,91
DN 250 (10") <sup>12</sup>	273,10	290,07	360	0,81
DN 100 (4") <sup>13</sup>	114,3	333,52	360	0,93
DN 400 (16") <sup>14</sup>	406,4	285,73	360	0,79
DN 100 (4") <sup>15</sup>	114,3	327,19	360	0,91
DN 100 (4") <sup>16</sup>	114,3	351,42	360	0,98
DN 200 (8") <sup>17</sup>	219,10	305,92	360	0,85
DN 100 (4") <sup>18</sup>	114,3	346,41	360	0,96

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023087
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Marche e Regione Umbria	<b>SPC. LA-E-83011</b>	
WBS CLIENTE NR/19136	<b>PROGETTO</b> Rif. Met. Recanati – Foligno (fraz. Colfiorito)	Fg. 53 di 53	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2 CONCLUSIONI DELLA VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità delle condotte di gas in progetto ai requisiti del D.M. della norma EN 1594 (e quindi ai criteri delle linee guida sismiche nelle “Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems” delle ASCE, richiamate nella Ref, [2] dell’annex E, ed alla relativa revisione ultima), nei confronti del movimento del suolo (scuotimento o shaking) provocato da un evento sismico e caratterizzato da picchi di accelerazione massima del terreno presentate nelle tabelle 1.1B per lo Stato Limite di Danno e lo Stato Limite di Vita.

I risultati delle analisi presentate ai paragrafi 1.3 e 1.4 hanno infatti evidenziato l’idoneità dello spessore della tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l’evento sismico.

Dai risultati si evince pure che in nessun caso, per effetto dello shaking, si avvicinano i valori di resistenza a rottura dell’acciaio costituente le condotte in progetto, che sotto questo aspetto possono essere considerate assolutamente sicure.

D'altra parte, per questo fenomeno, in letteratura tecnica internazionale non sono riportati casi di rottura di tubazioni integre e in acciaio, saldate e controllate con le tecniche attualmente disponibili.

Si rileva a tale proposito che le tubazioni Snam a sono periodicamente controllate dall'interno con apparecchiature automatiche che rilevano qualsiasi variazione di spessore dell'acciaio ed i fenomeni corrosivi eventualmente in atto.