

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 1 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

*PROGETTO DI FATTIBILITÀ' TECNICO ECONOMICA*

## METANODOTTO

**Derivazione per Sestri Levante  
 DN 400 (16"), DP 75 bar  
 e opere connesse**

**Relazione sismica  
 e verifica allo scuotimento sismico**

|             |                    |                  |                   |                  |             |
|-------------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------|
|             |                    |                  |                   |                  |             |
|             |                    |                  |                   |                  |             |
|             |                    |                  |                   |                  |             |
|             |                    |                  |                   |                  |             |
| 0           | Emissione          | Roccheggiani     | Nisii             | Palozzo          | Feb. '23    |
| <b>Rev.</b> | <b>Descrizione</b> | <b>Elaborato</b> | <b>Verificato</b> | <b>Approvato</b> | <b>Data</b> |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 2 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## INDICE

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUZIONE</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1  | Inquadramento territoriale   | 6         |
| 1.2  | Documenti di Riferimento   | 9         |
| <b>2</b>   | <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>  | <b>10</b> |
| <b>3</b>   | <b>SISMICITÀ STORICA</b>   | <b>12</b> |
| <b>4</b>   | <b>CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA</b>   | <b>15</b> |
| 4.1  | Zonazione Sismogenetica "ZS9"  | 15        |
| 4.2  | Sorgenti Sismogenetiche "DISS"   | 20        |
| <b>5</b>   | <b>CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA</b>   | <b>24</b> |
| 5.1  | Pericolosità sismica di base lungo il tracciato  | 24        |
| 5.2  | Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato                         | 27        |
| <b>6</b>   | <b>ANALISI DELLE INTERFERENZE CON FAGLIE ATTIVE E CAPACI</b>                               | <b>35</b> |
| <b>7</b>   | <b>SUSCETTIBILITÀ DEI VERSANTI A FENOMENI DI INSTABILITÀ SISMOINDOTTA</b>                  | <b>37</b> |
| <b>8</b>   | <b>ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE</b>                       | <b>39</b> |
| 8.1  | Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio                                      | 39        |
| 8.2  | Studi di Microzonazione Sismica  | 41        |
| 8.3  | Aree non coperte da studi di Microzonazione Sismica  | 45        |
| 8.4  | Analisi areale per l'identificazione dei tratti potenzialmente suscettibili a liquefazione | 48        |
| <b>9</b>   | <b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>   | <b>50</b> |
| <b>10</b>  | <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | <b>53</b> |
| <b>ANNESSE 1 - VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO</b> |  | <b>54</b> |
| <b>1</b>   | <b>Verifica strutturale allo scuotimento sismico</b>                                       | <b>55</b> |
| 1.1  | Dati di Input  | 56        |
| 1.2  | Criterio di Verifica   | 58        |
| 1.3  | Elemento di Tubazione Rettilineo   | 59        |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 3 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

|          |                             |           |
|----------|-----------------------------|-----------|
| 1.4      | Elemento di Tubazione Curvo | 63        |
| <b>2</b> | <b>Conclusioni</b>          | <b>68</b> |

## ALLEGATI

**ALLEGATO 1 – CARTA DELLE CATEGORIE TOPOGRAFICHE**

**ALLEGATO 2 – CARTA DELLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO**

**ALLEGATO 3 – CARTA DEI VALORI DI PGA ( $T_R=950$  ANNI)**

**ALLEGATO 4 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI MASW**

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 4 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 1 INTRODUZIONE

Il progetto denominato “Rifacimento metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16”), DP 75 bar e opere connesse” prevede, come intervento principale, la messa in opera di una nuova condotta DN 400 (16”) di lunghezza complessiva pari a 36,755 km che sostituirà alcuni tratti del metanodotto “Derivazione per Sestri Levante DN 400/250 (16”/10”), MOP 70 bar” attualmente in esercizio, che verrà dismesso, allo scopo di incrementare l’affidabilità e la flessibilità della rete di trasporto.

Il progetto prevede la realizzazione di alcuni tratti in sostituzione della linea esistente, che sarà dismessa e rimossa solamente in corrispondenza delle percorrenze di nuova progettazione, nonché l’adeguamento di alcune linee secondarie di vario diametro che prendono origine dalla linea principale, al fine di garantire la fornitura del servizio al bacino delle utenze presenti nell’area.

Nel complesso la nuova linea avrà la lunghezza di 36,755 km di cui 7,745 km già esistenti e 29,010 km di nuova realizzazione.

Il territorio interessato dall’opera è compreso nelle Regioni Emilia-Romagna, Comune di Albareto (PR) e Liguria, Comuni di Varese Ligure, Carro, Maissana in Provincia della Spezia e Castiglione Chiavarese, Casarza Ligure e Sestri Levante nell’ambito della Città Metropolitana di Genova.

Più in dettaglio l’intervento prevede le seguenti opere in progetto (Tab. 1.1/A) e dismissione (Tab. 1.1/B).

**Tab. 1.1/A Linea principale e linee secondarie in progetto**

| Denominazione metanodotto                            | DN<br>(mm) | DP<br>(bar) | Lunghezza<br>(km) |
|--|------------|-------------|-------------------|
| <b>Linea principale</b>                              |            |             |                   |
| Rifacimento Derivazione per Sestri Levante           | 400        | 75          | 36,755*           |
| <b>Linee secondarie</b>                              |            |             |                   |
| Ricollegamento al Comune di Albareto                 | 100        | 75          | 0,095             |
| Allacciamento al Comune di Varese Ligure             | 100        | 75          | 0,045             |
| Ricollegamento All. Comune di Varese Ligure          | 250        | 75          | 0,060             |
| Collegamento Area Trappole ad HPRS1 Casarza Ligure   | 400        | 75          | 0,085             |
| Ricollegamento a Der. per Sestri Levante             | 250        | 24          | 0,035             |
| Tubazioni di servizio per Isolation System (3 linee) | 50         | 24          | 0,090             |
| Variante Torrente Petronio                           | 250        | 24          | 0,585             |
| Ricollegamento al Comune di Sestri Levante           | 200        | 24          | 0,020             |
| Adeguamento cabina HPRS 768/A                        | 400        | 24          | 0,045             |

\* di cui 7,745 km già esistenti e 29,010 km di nuova realizzazione

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 5 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

Oltre alle linee sopra elencate, da progetto è prevista la posa delle seguenti condotte provvisorie:

- “Variante Provvisoria Derivazione per Sestri Levante DN 250 (10”), DP 75 bar”, in località Pezze del Comune di Casarza Ligure (GE) della lunghezza di circa 0,165 km che servirà a garantire il flusso di gas durante la realizzazione dei nuovi tratti e degli impianti in progetto e che sarà rimossa una volta che il nuovo metanodotto DN 400 sarà in esercizio;
- in corrispondenza del punto di linea PIL n. 3, in progetto, un’“Interconnessione di monte DN 250 (10”), DP 75 bar”, in località Casa Storta, Comune di Varese Ligure, della lunghezza di circa 0,010 km;
- in corrispondenza del punto di linea PIL n. 3, in progetto, un’“Interconnessione di valle DN 250 (10”), DP 75 bar”, in località Casa Storta, Comune di Varese Ligure, della lunghezza di circa 0,010 km.

Oltre alle linee in progetto si prevede la dismissione e la rimozione della linea esistente, in corrispondenza dei tratti di nuova progettazione. La dismissione riguarda pertanto 27,590 km e comporta anche l’adeguamento (rifacimento e ricollegamento) di alcune linee secondarie di vario diametro che, prendendo origine dalla linea principale, garantiscono la fornitura del servizio al bacino di utenze dell’area. Tale adeguamento si attua attraverso la contestuale realizzazione di 9 nuove linee secondarie e la dismissione di 4 tubazioni secondarie esistenti.

Inoltre, è previsto l’ampliamento dell’area trappole di Albareto con la realizzazione dell’impianto di riduzione della pressione HPRS-100 in corrispondenza del punto di partenza del tracciato, che terminerà nell’area trappole di Casarza Ligure di nuova realizzazione. In prossimità di quest’ultimo sarà realizzato anche l’impianto di riduzione della pressione HPRS-50 per consentire il “Ricollegamento alla Derivazione per Sestri Levante DN 250 (10”), DP 75 bar”.

**Tab. 1.1/B Linea principale e linee secondarie in dismissione**

| Denominazione metanodotto                          | DN (mm) | MOP (bar) | Lunghezza (km) |
|--|---------|-----------|----------------|
| <b>Linea principale</b>                            |         |           |                |
| Derivazione per Sestri Levante                     | 400/250 | 70        | 27,590         |
| <b>Linee secondarie</b>                            |         |           |                |
| Allacciamento al Comune di Albareto                | 100     | 70        | 0,090          |
| Allacciamento Varese Ligure                        | 100     | 70        | 0,080          |
| Derivazione per Sestri Levante – Variante Petronio | 250     | 70        | 0,595          |
| Allacciamento al Comune di Sestri Levante          | 200     | 70        | 0,020          |

Oltre alla costruzione delle nuove linee è prevista la realizzazione di n. 12 punti di linea in progetto:

- n. 1 punto di intercettazione di derivazione semplice (PIDS);
- n. 5 punto di intercettazione di linea (PIL) dislocati lungo la linea principale;

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 6 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- n. 1 punto di intercettazione di derivazione importante (PIDI);
- n. 1 punto di intercettazione con discaggio di allacciamento (PIDA), ubicato sulla linea secondaria All. Com. Varese Ligure;
- n. 1 area trappole di partenza con impianto di riduzione HPRS-100, Comune di Albareto (PR);
- n. 1 area trappole di arrivo, Comune di Casarza Ligure (GE);
- n. 1 impianto di riduzione della pressione HPRS-50 ubicato lungo la linea principale nel Comune di Casarza Ligure (GE);
- n. 1 ampliamento impianto HPRS 768/A nel Comune di Sestri Levante (GE);

e la dismissione di n. 6 punti di linea:

- n. 1 punto di intercettazione con discaggio di allacciamento (PIDA);
- n. 4 punti di intercettazione di linea (PIL);
- n. 1 punti di intercettazione con discaggio di allacciamento (PIDI + PIDA).

Il progetto della Derivazione per Sestri Levante DN400, in continuità con la linea esistente, si sviluppa lungo la direttrice nord-est / sud-ovest. L'intervento parte dalla Regione Emilia – Romagna, nell'Alta Val di Taro, interessando il territorio del Comune di Albareto (PR) per poi valicare la dorsale appenninica ligure, discendere lungo l'Alta Val di Vara, interessando i territori dei Comuni di Varese Ligure, Maissana e Carro afferenti alla provincia della Spezia, fino a terminare nel Genovesato, attraversando in successione il Comune di Castiglione Chiavarese e quello di Casarza Ligure e Sestri Levante, con un intervento puntuale.

## 1.1 Inquadramento territoriale

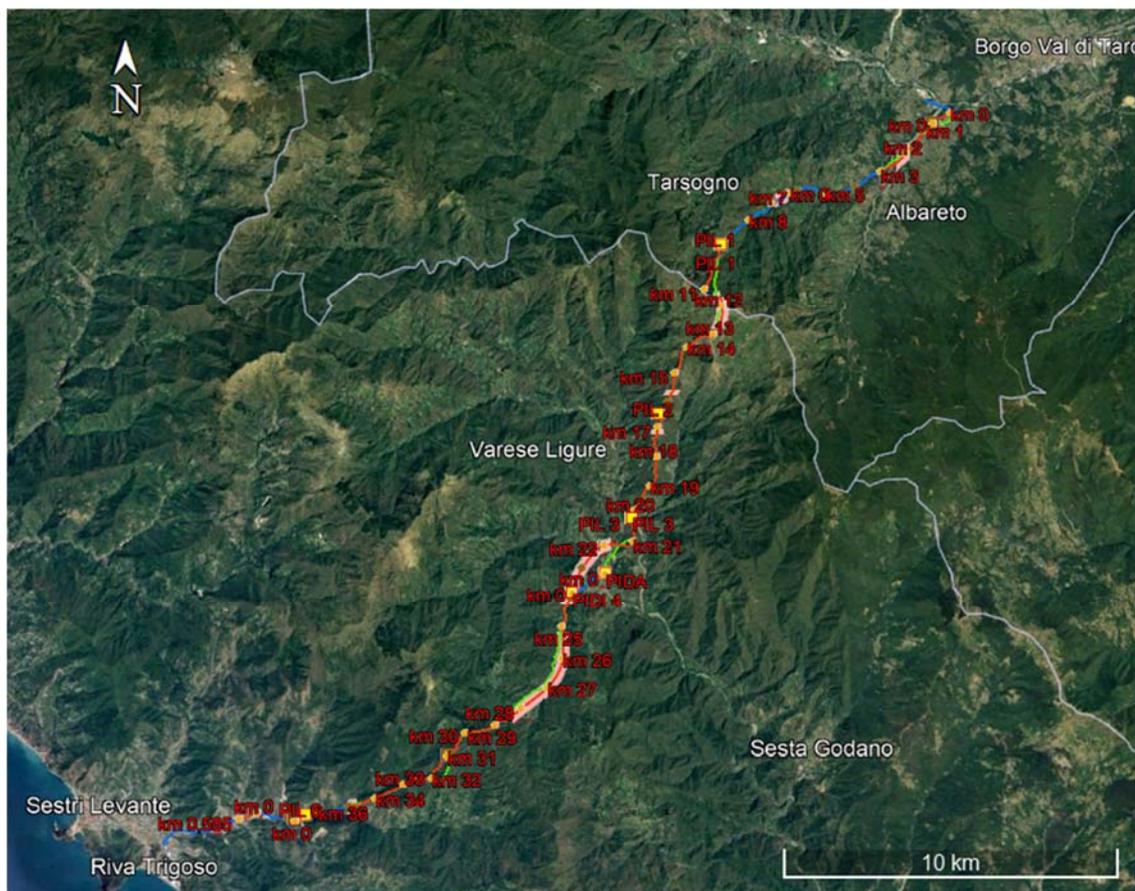
L'intervento si localizza maggiormente, nella porzione orientale della Regione Liguria, interessando i territori della Città Metropolitana di Genova e della provincia di La Spezia e la parte montana della Provincia di Parma, in Emilia Romagna, per i primi 10 km circa della condotta in progetto.

I territori attraversati presentano una morfologia prevalentemente montana con alcuni tratti di fondovalle caratterizzati da piccoli comparti agricoli prevalentemente destinati a prati e pascoli e sporadici appezzamenti ad olivo in Liguria.

In figura si riporta l'inquadramento territoriale dell'opera in progetto (Fig. 1/A).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 7 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



**Fig. 1/A Inquadramento territoriale dell'opera in progetto (linea continua rossa); in blu i tratti che resteranno in esercizio; in verde i tratti in dismissione**

La presente relazione è stata redatta per approfondire la caratterizzazione sismica del territorio interessato dal progetto. Lo studio descrive le caratteristiche sismiche delle aree interessate dai tracciati in progetto al fine di determinare (in accordo alla vigente normativa nazionale 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. Annesso 1: "Verifica allo scuotimento sismico").

La verifica strutturale della condotta in progetto è stata realizzata considerando le seguenti caratteristiche meccaniche dell'infrastruttura:

#### Tubazioni

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

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 8 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

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

**Tab. 1.1/C: Caratteristiche tecniche delle tubazioni**

| Diametro nominale DN | Tensione ammissibile SMYS (N/mm <sup>2</sup> ) | Spessore minimo (mm) | Materiale (acciaio di qualità) |
|----------------------|--|----------------------|--------------------------------|
| DN 400 (16")         | 360  | 11,1                 | EN-L 360NB/MB                  |
| DN 250 (10")         |  | 7,8                  |                                |
| DN 100 (4")          |  | 5,2                  |                                |
| DN 50 (2")           |  | 3,9                  |                                |

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.

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 seguenti caratteristiche (vedi Tab. 1.1/D):

**Tab. 1.1/D: Caratteristiche tecniche dei tubi di protezione**

| Diametro nominale condotta (DN) | Diametro nominale tubo di protezione (DN) | Spessore (mm) | Materiale (acciaio di qualità) |
|---------------------------------|---|---------------|--------------------------------|
| DN 400 (16")                    | 550                                       | 14,3          | EN-L 415MB                     |
| DN 250 (10")                    | 400                                       | 11,1          | EN-L 360MB                     |
| DN 100 (4")                     | 200                                       | 7             | EN-L 360MB                     |
| DN 50 (2")                      |   |               |                                |

#### 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 gasdotto collegandolo ad uno o più impianti di protezione catodica costituiti da apparecchiature che,

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 9 di 68                        | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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 tubi di protezione in acciaio (di solito in numero di 3) aventi le seguenti caratteristiche:

- Diametro nominale 100 (4");
- Spessore 4 mm.

Per quanto riguarda la caratterizzazione del territorio interessato dall'opera in progetto rispetto ad una potenziale franosità dei versanti indotta da eventi sismici, in questo documento è stata analizzata la storicità del fenomeno riportata nei cataloghi tecnici disponibili.

Una analisi areale della suscettibilità dei versanti a fenomeni di instabilità sismo-indotta lungo il corridoio di interesse del gasdotto in progetto è stata sviluppata in dettaglio nella relazione REL-SIS-E-13025.

Inoltre, in questa relazione è stata eseguita anche una analisi di tipo areale, su una fascia di territorio interessata dal tracciato in progetto, finalizzata all'identificazione di zone potenzialmente critiche in termini di fagliazione superficiale e di possibilità di liquefazione dei terreni nei quali sarà posata la condotta in progetto.

La caratterizzazione dell'area è stata realizzata sulla base di informazioni disponibili da fonti ufficiali o da dati acquisiti in fase di progettazione. In particolare, le indagini geognostiche svolte lungo il tracciato in progetto sono state utilizzate per una parametrizzazione più approfondita delle caratteristiche geotecniche locali (rif. REL-GEO-E-13024, Relazione geotecnica).

In questo documento non sono riportate le caratteristiche generali dell'infrastruttura, pertanto, per eventuali approfondimenti si rimanda alla consultazione dello Studio di Impatto Ambientale (REL-SIA-E-13010).

## 1.2 Documenti di Riferimento

- |     |                 |  |
|-----|-----------------|--|
| [1] | REL-CGD-E-13022 | Relazione Geologica;   |
| [2] | REL-GEO-E-13024 | Relazione geotecnica (sintesi indagini eseguite);            |
| [3] | REL-SIS-E-13025 | Analisi areale della stabilità dei pendii;                   |
| [4] | REL-CI-E-13029  | Relazione idrogeologica e censimento pozzi e sorgenti;       |
| [5] | PG-CGD-D-13208  | Geologia e Geomorfologia;                                    |
| [6] | REL-SIA-E-13010 | Studio di Impatto Ambientale;                                |
| [7] | PG-TPSO-D-13221 | Planimetria tracciato di progetto con indagini Geognostiche. |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 10 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 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.
- EN 1998–5. (2004). Eurocode 8  
Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)  
Gruppo di lavoro MS, 2008. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome-Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- EN 1594 (2013) – Annex E  
Gas supply system – Pipelines for maximum operating pressure over 16bar.
- D.M. 17 gennaio 2018, Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018.  
Suppl. Ordinario n. 8, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni".

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 11 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- 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><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 12 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

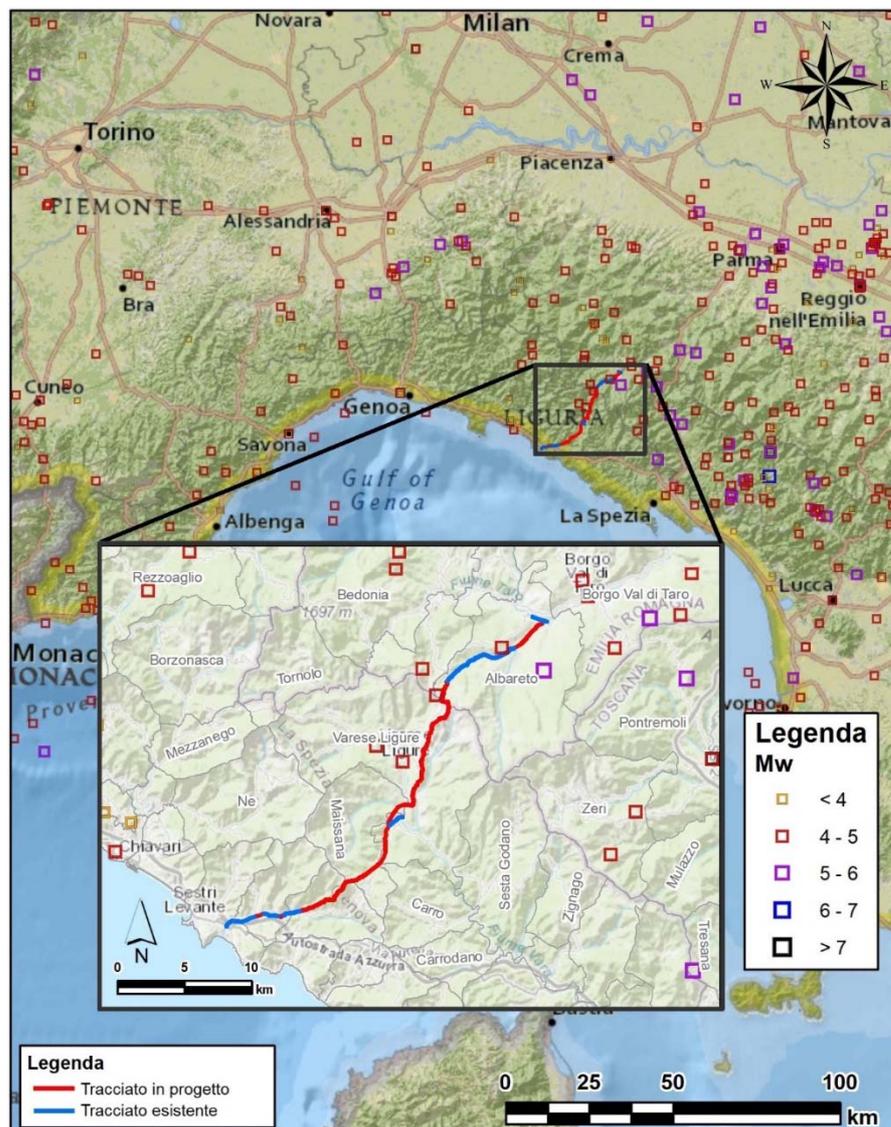
Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

### 3 SISMICITÀ STORICA

La sismicità storica dell'area in esame è stata analizzata consultando i seguenti cataloghi:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) redatto dal Gruppo di lavoro CPTI dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV);
- DataBase Macrosismico Italiano (DBMI15, INGV).

Il Catalogo CPTI15 copre l'intero territorio nazionale italiano, con porzioni delle aree e dei mari confinanti e contiene 4894 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a Mw 4.0 o superiore.



|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 13 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Fig. 3/A: Distribuzione dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: CPTI15)**

La distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 3/A e Tab. 3/A) e dal database DBMI15 (Fig. 3/B) dimostra che la zona in studio è caratterizzata complessivamente da una moderata sismicità, sia dal punto di vista della frequenza di eventi che dei valori di magnitudo.

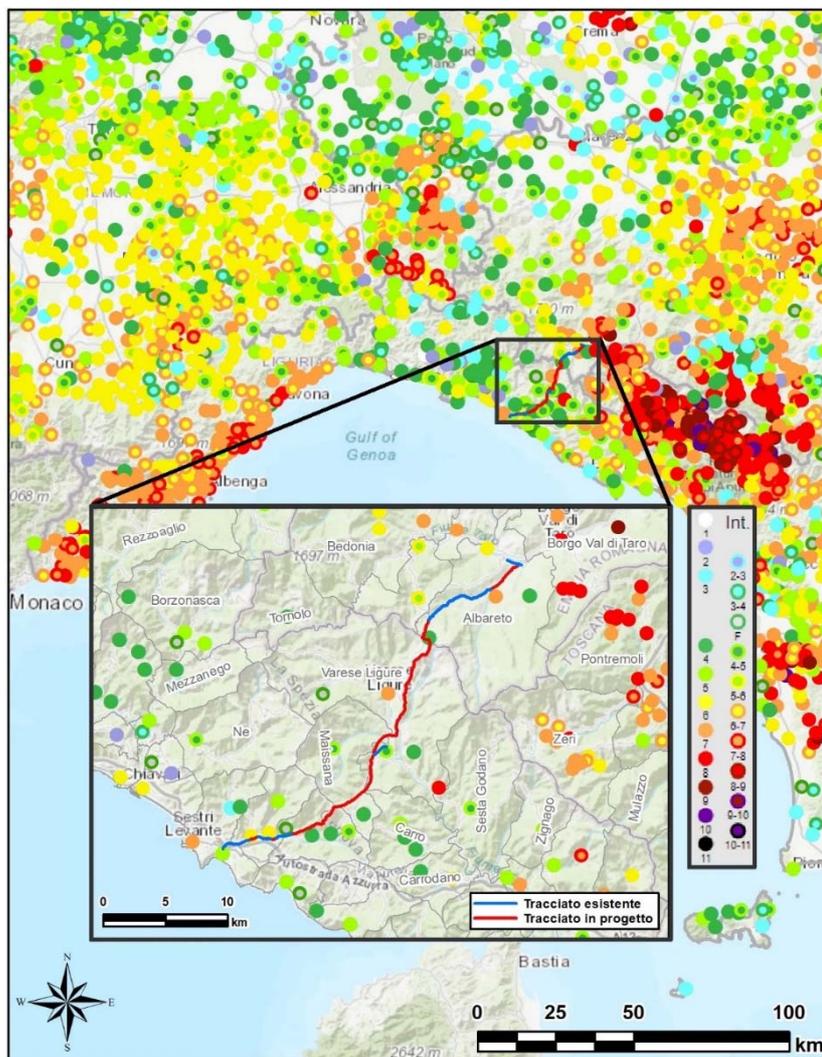
**Tab. 3/A: Elenco dei terremoti estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) per l'area di interesse**

| <b>Estratto da CPTI15-DBMI15 v4.0</b><br><b>Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (INGV)</b> |      |                          |          |         |            |     |      |
|--|------|--------------------------|----------|---------|------------|-----|------|
| N.   | Year | Epicentral Area          | Lat      | Lon     | Depth (km) | Io  | MwM  |
| 323  | 1545 | Val di Taro              | 44,47300 | 9,82500 | -          | 7-8 | 5,38 |
| 452  | 1637 | Chiavari                 | 44,31700 | 9,32200 | -          | 5-6 | 4,40 |
| 462  | 1641 | Lunigiana                | 44,37700 | 9,88200 | -          | 6   | 4,63 |
| 1126   | 1834 | Val di Taro-Lunigiana    | 44,43200 | 9,85900 | -          | 9   | 5,96 |
| 1132   | 1835 | Val di Taro              | 44,48800 | 9,76700 | -          | 5   | 4,16 |
| 1133   | 1835 | Val di Taro              | 44,45400 | 9,68600 | -          | 5-6 | 4,77 |
| 1204   | 1849 | Val di Taro              | 44,45300 | 9,79200 | -          | 6   | 4,63 |
| 1293   | 1861 | Varese Ligure            | 44,37700 | 9,59200 | -          | 6   | 4,63 |
| 1363   | 1873 | Appennino tosco-ligure   | 44,23400 | 9,86200 | -          | 6-7 | 5,26 |
| 1915   | 1906 | Alta Val di Taro         | 44,38800 | 9,56700 | -          | 5   | 4,22 |
| 1949   | 1908 | Chiavari                 | 44,34400 | 9,31200 | -          | 4   | 3,83 |
| 2195   | 1917 | Chiavari                 | 44,33700 | 9,33700 | -          | 4   | 3,70 |
| 2273   | 1921 | Lunigiana                | 44,37700 | 9,88200 | -          | 6   | 4,64 |
| 2352   | 1926 | Lunigiana                | 44,31300 | 9,78600 | -          | 5   | 4,25 |
| 2361   | 1927 | Alta Val di Taro         | 44,52000 | 9,59000 | -          | 6   | 4,66 |
| 2372   | 1928 | Alta Val di Taro         | 44,44000 | 9,61100 | -          | 5   | 4,16 |
| 2380   | 1928 | Alta Val di Taro         | 44,50800 | 9,58700 | -          | 6   | 4,39 |
| 2488   | 1934 | Val di Taro-Lunigiana    | 44,43800 | 9,72500 | -          | 6   | 5,14 |
| 2792   | 1959 | Alta Val di Taro         | 44,42200 | 9,62400 | -          | 5   | 4,27 |
| 2899   | 1965 | Lunigiana                | 44,37700 | 9,88200 | -          | 5   | 4,16 |
| 3059   | 1972 | Appennino settentrionale | 44,50300 | 9,86500 | 67.2       | 5   | 4,87 |
| 3141   | 1976 | Alta Val di Taro         | 44,49900 | 9,76200 | -          | 5   | 4,54 |
| 3571   | 1988 | Alta Val di Taro         | 44,47500 | 9,85400 | 10.0       | -   | 4,08 |
| 4336   | 2008 | Lunigiana                | 44,34200 | 9,81000 | 72.2       | -   | 4,18 |
| 4461   | 2011 | Appennino ligure         | 44,52100 | 9,39300 | 5.1        | -   | 4,22 |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fig. 14 di 68                      | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

|      |      |                  |          |         |      |   |      |
|------|------|------------------|----------|---------|------|---|------|
| 4472 | 2012 | Appennino ligure | 44,49400 | 9,35400 | 10.8 | - | 4,27 |
|------|------|------------------|----------|---------|------|---|------|



**Fig. 3/B: Distribuzione delle registrazioni degli effetti risentiti dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: DBMI15)**

La seguente tabella (Tab. 3/B) mostra l'elenco con il numero degli eventi sismici storici risentiti nei comuni attraversati dall'opera in progetto e provenienti da zone esterne ad essi.

**Tab. 3/B Numero di eventi sismici risentiti**

| ID Comune | Comune        | Provincia | Imax | n. eventi |
|-----------|---------------|-----------|------|-----------|
| IT_35739  | Albareto      | Parma     | 7    | 14        |
| IT_34410  | Varese Ligure | La Spezia | 7    | 27        |
| IT_34279  | Maissana      | La Spezia | 4-5  | 7         |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 15 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

|          |                        |        |   |   |
|----------|------------------------|--------|---|---|
| IT_33173 | Castiglione Chiavarese | Genova | 4 | 3 |
| IT_33155 | Casarza Ligure         | Genova | 6 | 5 |

#### 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 paleo-sismiche al fine di caratterizzare al meglio le sorgenti sismogenetiche localizzate sul territorio nazionale.

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

##### 4.1 Zonazione Sismogenetica "ZS9"

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall'INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004).

Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 42 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 sismo-tettoniche.

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, ecc (Fig. 4.1/A).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fig. 16 di 68                      | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



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

Si rileva che l'area in studio risulta essere interessata direttamente da due zone sismogenetiche presenti nel catalogo: 915 e 916.

La fascia che dalla Lunigiana arriva fino al confine Abruzzo-Molise viene indicata come l'area con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale ed è stata suddivisa in tre zone (915, 919, 923). La zona 915, pur vedendo al suo interno le aree della Garfagnana, della Lunigiana e del Mugello, appare complessivamente caratterizzata da tassi di sismicità inferiori alle zone 919 e 923.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 17 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

La zona sismogenetica 915 racchiude faglie e sistemi di faglie legati all'estensione appenninica mentre la zona sismogenetica 916 rappresenta invece un'area di transizione alla distensione peritirrenica caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

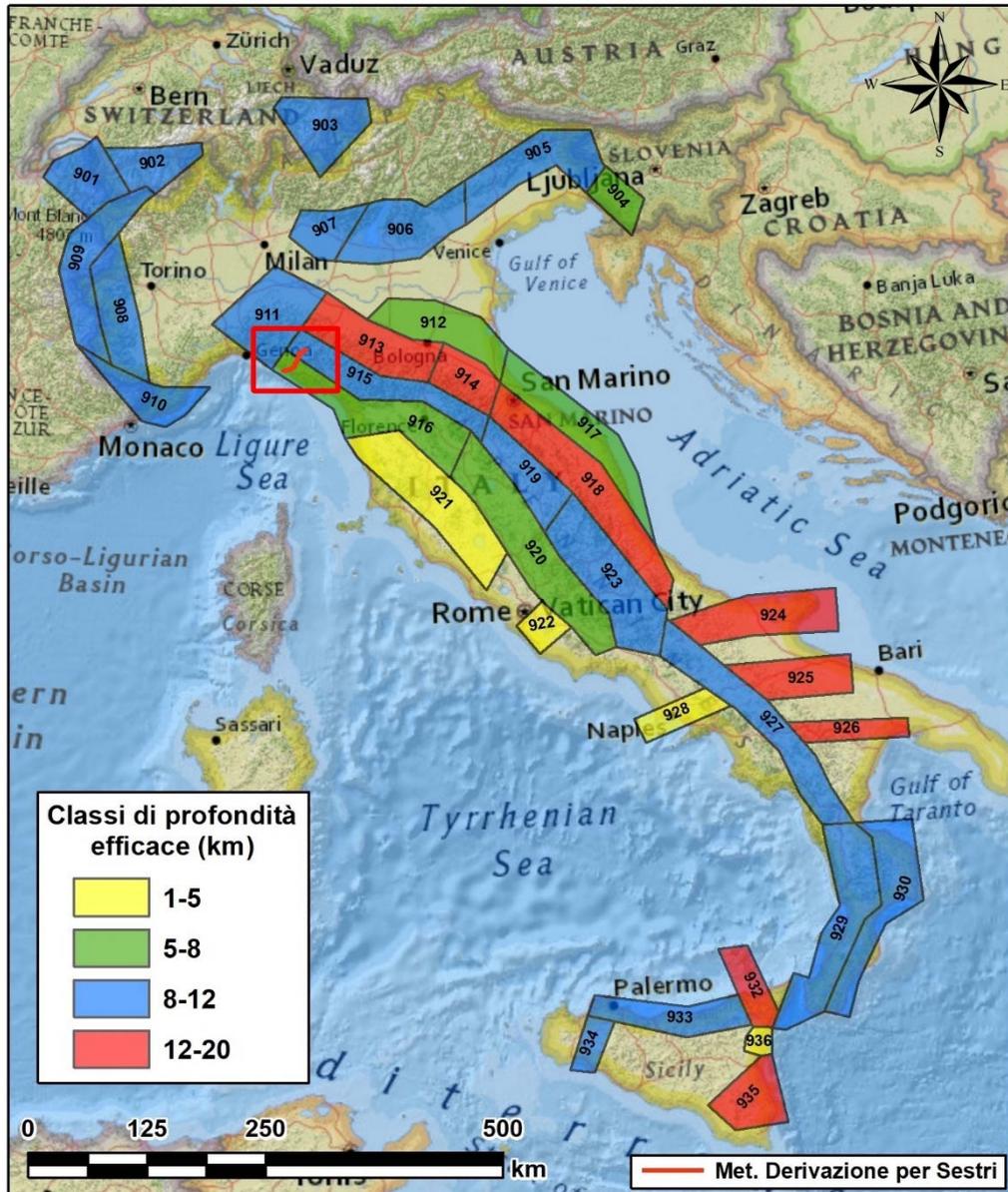
Per ogni zona sismogenetica è stato definito uno strato sismogenetico e ad esso associata una "profondità efficace", ossia la profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona (Meletti C. e Valensise G., 2004).

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. Nella figura seguente (Fig. 4.1/B) sono mostrate le classi di profondità efficace per ciascuna zona. La zona 915 è caratterizzata da profondità efficaci comprese nell'intervallo 8-12 km, mentre la zona 916 da profondità minori, comprese tra i 5-8 km.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fig. 18 di 68                      | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



**Fig. 4.1/B: Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro 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 si 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. Nella figura seguente (Fig. 4.1/C) è mostrata la mappa nazionale con in evidenza le zone interessate dal tracciato in progetto.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 19 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

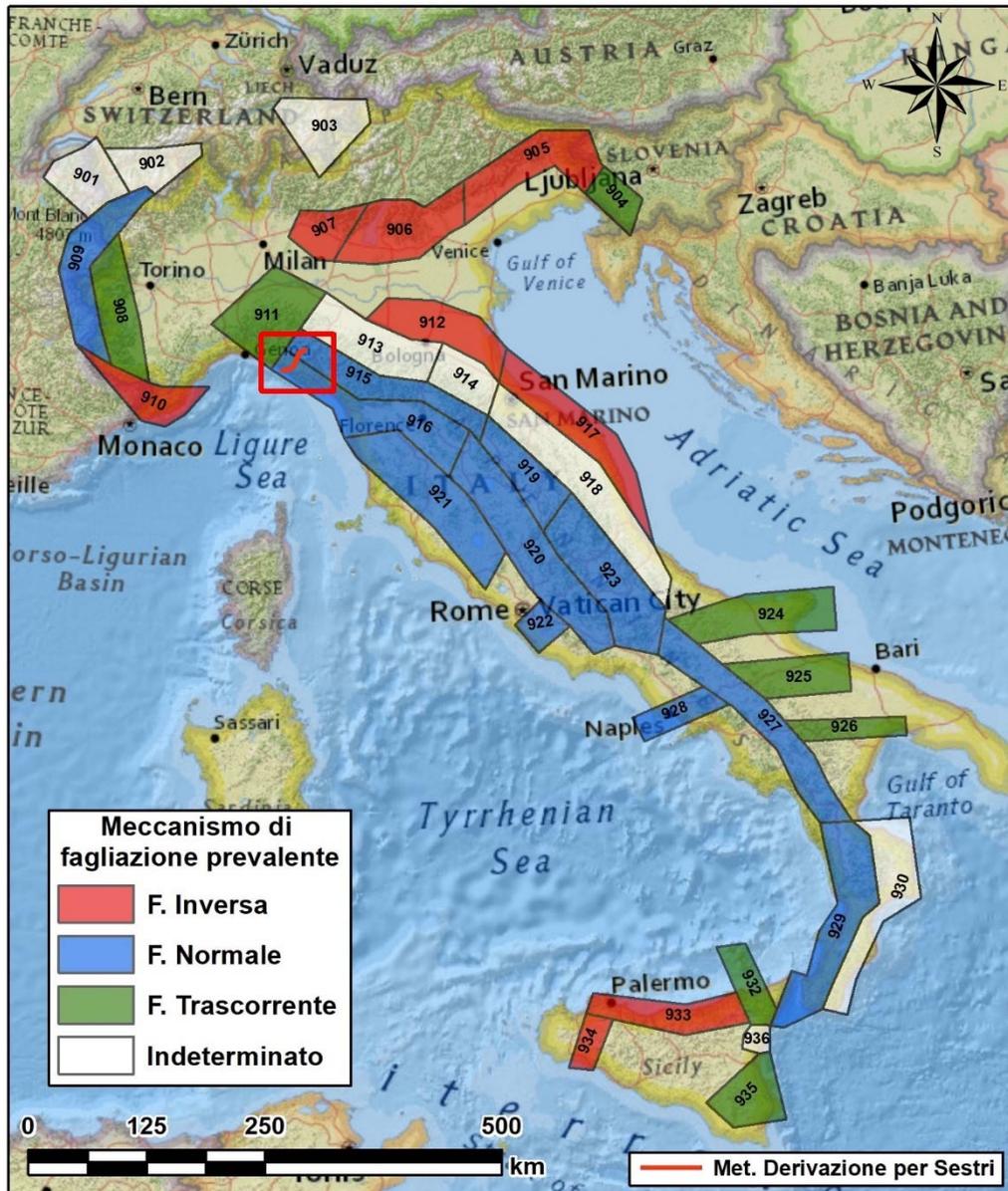


Fig. 4.1/C: Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro è evidenziata l'area interessata dal tracciato.

Per quanto riguarda entrambe le zone 915 e 916, le interpretazioni sismotettoniche formulate descrivono un meccanismo di fagliazione prevalente di tipo normale.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 20 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 4.2 Sorgenti Sismogenetiche “DISS”

La banca dati DISS (“Database of Individual Seismogenic Sources” versione 3.3.0), messa a punto dall’INGV, fornisce una caratterizzazione completa delle principali strutture sismo-tettoniche presenti sul territorio italiano.

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

La magnitudo momento (mw) **equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e la resistenza delle rocce**. Il momento sismico e la magnitudo momento rappresentano quindi la migliore stima della reale grandezza del terremoto.

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

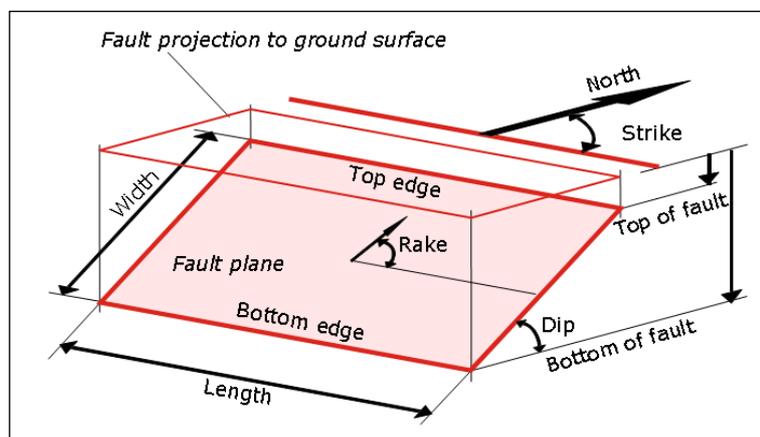
Il DISS include le seguenti categorie di sorgenti sismogenetiche:

- 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 una sorgente sismogenetica individuale (DISS)**

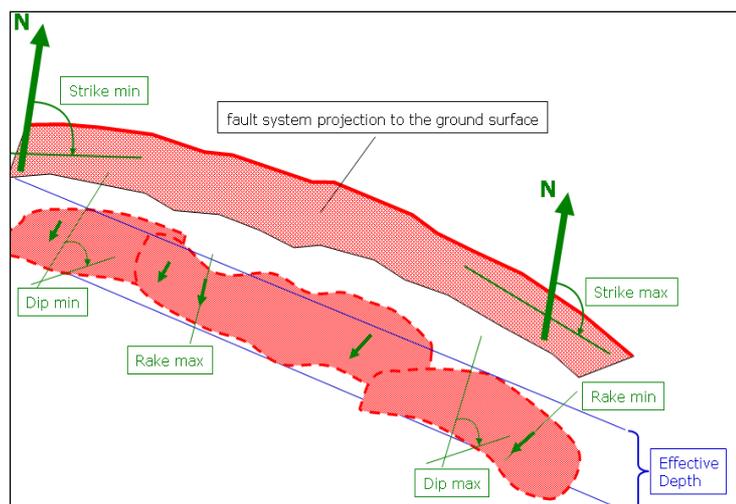
|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 21 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- Sorgenti sismogenetiche composite (precedentemente definite zone sismogenetiche): si tratta di regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti sismogenetiche (Fig. 4.2/B). Le sorgenti sismogenetiche composite 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.



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

- 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.

Il database DISS (v. 3.3.0) è stato interrogato per verificare le possibili interferenze tra il tracciato del gasdotto in progetto e le potenziali sorgenti sismogenetiche in esso riportate.

In Figura 4.2/C sono riportate le sorgenti sismogenetiche cartografate nel DISS e il tracciato della condotta.

Come evidenziato dalla Figura 4.2/C, il gasdotto in progetto interseca, nel tratto ricadente in Regione Emilia-Romagna, una sola zona sismogenetica composta: ITCS026 "Lunigiana".

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fig. 22 di 68                      | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



Fig. 4.2/C: Sorgenti sismogenetiche composite, in campo arancione, e sorgenti sismogenetiche individuali, perimetrata in giallo (DISS v. 3.3.0)

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 23 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

I parametri che caratterizzano la sorgente composta ITCS026 “Lunigiana” sono descritti nella tabella seguente (Tab. 4.2/A):

**Tab. 4.2/A Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta ITCS026**

| <b>Codice</b>                     | ITCS026   |
|-----------------------------------|-----------|
| <b>Nome</b>                       | Lunigiana |
| <b>Minima profondità [km]</b>     | 1         |
| <b>Massima profondità [km]</b>    | 10        |
| <b>Strike (min-max) [deg]</b>     | 310-330   |
| <b>Dip (min-max) [deg]</b>        | 30-45     |
| <b>Rake (min-max) [deg]</b>       | 260-280   |
| <b>Slip rate (min-max) [mm/y]</b> | 0,1/1     |
| <b>Massima magnitudo [Mw]</b>     | 7         |

È 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.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 24 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 5 CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La caratterizzazione 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 (REL-GEO-E-13023) lungo il tracciato (vedi Paragrafo 5.2).

### 5.1 Pericolosità sismica di base lungo il tracciato

Le 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 gasdotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica definita su reticolo di riferimento e nell'intervallo temporale 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  $T_R$  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 NTC08; richiamata al §3.2 delle NTC18), 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 NTC08 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 NTC08, 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><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 25 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 26 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 5.1/B: Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (rif. Tab. 2.4.11 delle NTC 2018)**

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

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 gasdotto 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 3.2.1 delle NTC 2018).

**Tab. 5.1/C: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.1 delle NTC 2018)**

| Stati Limite              | $P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |     |
|---------------------------|--|-----|
| Stati limite di esercizio | SLD  | 81% |
|                           | SLV  | 63% |
|                           | SLC  | 10% |
| Stati limite ultimi       | 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. C3.2.1 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).

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

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

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 27 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- 100 anni per lo Stato Limite di Danno (SLD);
- 950anni 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 10 m lungo il tracciato di progetto.

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

## 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 lito-stratigrafiche 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. La risposta sismica locale è definita comparando e raggruppando terreni che presentano caratteristiche lito-stratigrafiche e contesti geomorfologici omogenei. 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).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 28 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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), è stata eseguita un'analisi delle pendenze, attraverso la quale sono state attribuite le categorie topografiche lungo il tracciato.

Le NTC 2018 assegnano dei coefficienti di amplificazione topografica ( $S_T$ ) (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  $S_T$  (cfr. 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 $30^\circ$ | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$       | 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 presenta una configurazione topografica semplice; pertanto, è possibile fare riferimento alla Tab. 3.2.III delle NTC 2018 (Fig. 5.2/B) per l'identificazione delle categorie topografiche.

L'analisi topografica, derivata dal modello di elevazione digitale del terreno (DTM), ha consentito l'assegnazione della categoria topografica lungo l'asse del tracciato di progetto. In particolare, si è ottenuta la seguente suddivisione:

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 29 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- Categoria topografica **T1** (50,5%)
- Categoria topografica **T2** (21,0%)
- Categoria topografica **T3** (28,5%)

A ciascuna categoria topografica individuata nell'area interessata dal tracciato è stato assegnato il corrispondente coefficiente di amplificazione topografica secondo quanto previsto dalla Tab. 3.2.V delle NTC 2018 (Tab. 5.2/B),:

- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T1:  $S_T=1,0$ ;
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T2:  $S_T =1,2$ ;
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T3:  $S_T =1,2$ .

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

La definizione 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. 3.2.II delle NTC 2018), come descritto in Tab. 5.2/C.

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

| Categoria | Descrizione   |
|-----------|---|
| <b>A</b>  | <i>Anmassi 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>B</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>  |
| <b>C</b>  | <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>   |
| <b>D</b>  | <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> |
| <b>E</b>  | <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:

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

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 30 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

con:

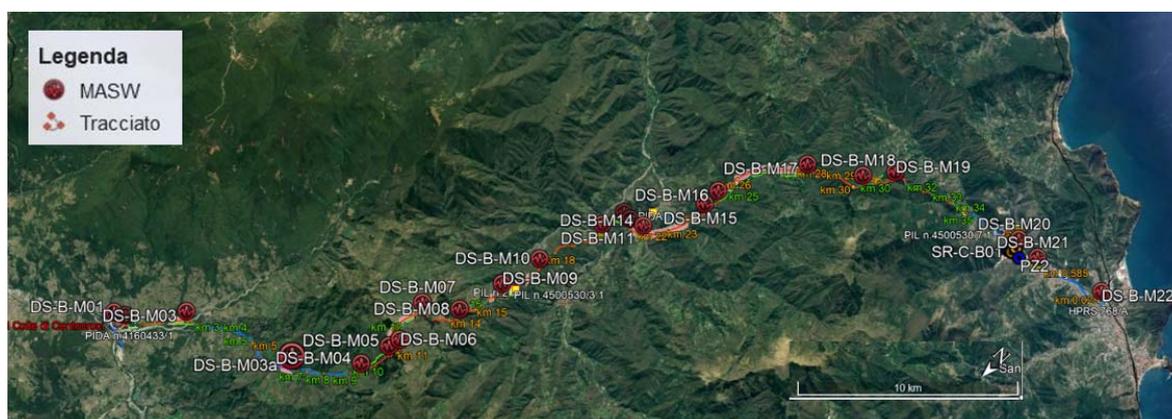
|           |   |
|-----------|---|
| $h_i$     | spessore dell'i-esimo strato;   |
| $V_{S,i}$ | velocità delle onde sismiche di taglio nell'i-esimo strato;   |
| $N$       | numero di strati;   |
| $H$       | profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno rigido, caratterizzata da $V_S$ 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  $H=30$  m 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. 22 prove) 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/A è mostrata, secondo senso gas, l'ubicazione delle prove sismiche eseguite lungo il tracciato del gasdotto in progetto (cfr PG-TPSO-D-13221).



**Fig. 5.2/A: Ubicazione delle prove sismiche MASW eseguite lungo il tracciato del gasdotto in progetto (linea rossa)**

Nella tabella sottostante (Tab. 5.2/D) si riportano l'elenco delle prove sismiche eseguite, il contesto geomorfologico e litologico di riferimento corrispondente, i dati relativi alle velocità equivalenti e la categoria di sottosuolo assegnata (Rif. PG-CGD-E-13022).

Le categorie di sottosuolo sono state assegnate ad unità litotecniche, definite raggruppando formazioni geologiche con caratteristiche omogenee, sia dal punto di vista geotecnico, che in termini di risposta sismica.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 31 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

| ID MASW  | Progressiva (km) | Contesto geomorfologico | Litologia                     | $V_{s,eq}$ (m/s) | Cat. sottosuolo |
|--|------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|
| <b>Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16"), DP 75 bar e opere connesse</b> |                  |                         |                               |                  |                 |
| DS-B-M01   | 0,018            | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 529              | B               |
| DS-B-M02   | 0,418            | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 420              | B               |
| DS-B-M03   | 2,513            | Fondovalle              | Depositi alluvionali          | 431              | B               |
| DS-B-M03a  | 6,805            | Fondovalle              | Depositi alluvionali          | 509              | B               |
| DS-B-M04   | 9,415            | Versante                | Depositi di frana             | 499              | B               |
| DS-B-M05   | 10,625           | Versante                | Argille e Calcari di Canetolo | 473              | B               |
| DS-B-M06   | 11,134           | Versante                | Argille a Palombini           | 425              | B               |
| DS-B-M07   | 13,010           | Versante                | Arenarie di Ponte Bratica     | 381              | B               |
| DS-B-M08   | 14,310           | Versante                | Flysch di Ottone              | 462              | B               |
| DS-B-M09   | 16,014           | Versante                | Complesso di Monte Veri       | 501              | B               |
| DS-B-M10   | 17,681           | Versante                | Arenarie di Monte Gottero     | 499              | B               |
| DS-B-M11   | 20,288           | Versante                | Argille a Palombini           | 538              | B               |
| DS-B-M12   | 21,312           | Versante                | Scisti zonati della Forcella  | 550              | B               |
| DS-B-M13   | 21,704           | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 415              | B               |
| DS-B-M14   | 22,208           | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 491              | B               |
| DS-B-M15   | 24,421           | Fondovalle              | Depositi alluvionali          | 389              | B               |
| DS-B-M16   | 25,076           | Fondovalle              | Depositi alluvionali          | 670              | B               |
| DS-B-M17   | 28,383           | Versante                | Argille a Palombini           | 680              | B               |
| DS-B-M18   | 30,381           | Versante                | Argille a Palombini           | 688              | A               |
| DS-B-M19   | 31,868           | Fondovalle              | Argille a Palombini           | 444              | B               |
| DS-B-M20   | Casarza          | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 493              | B               |
| DS-B-M21   | Casarza          | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 389              | B               |
| DS-B-M22   | Sestri Levante   | Pianura                 | Depositi alluvionali          | 285              | E               |

Come si può osservare dalla Tab. 5.2/D, le velocità equivalenti registrate dalle MASW variano da un minimo di 285 m/s ad un massimo di 688 m/s.

Dai dati ottenuti si può affermare che, ai fini delle NTC 2018, le categorie di sottosuolo dei siti indagati ricadano tra la A e la B, con un unico caso appartenente alla E.

A queste aree, occorre aggiungere una parte di siti con affioramenti rocciosi rilevati nel corso dei sopralluoghi tecnici e che ricadono nella categoria A, per i quali non sono state eseguite prove MASW.

I risultati delle prove sismiche eseguite e dei rilievi tecnici sono stati estesi alle unità litotecniche corrispondenti presenti nell'area interessata dai tracciati di progetto. Pertanto, al termine dell'analisi per la definizione delle categorie di sottosuolo, a tutte le unità litotecniche presenti

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 32 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

lungo il tracciato sono state assegnate le corrispondenti categorie. In particolare, si è ottenuta la seguente suddivisione:

- Categoria di sottosuolo **A** (19,0%)
- Categoria di sottosuolo **B** (76,3%)
- Categoria di sottosuolo **C** (4,7%)

Per la visualizzazione grafica della distribuzione delle classi di sottosuolo lungo l'area attraversata dal tracciato di progetto si rimanda all'Allegato 2 "Carta delle Categorie di Sottosuolo".

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 (Tab. 5.2/E).

**Tab. 5.2/E: 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):

$$S = S_s \cdot S_T$$

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 33 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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 di accelerazione al bedrock ( $a_g$ ) determinati attraverso l'interpolazione della griglia nazionale dell'INGV per ogni punto del tracciato in progetto sono risultati essere:

- $a_g = 0,150 \div 0,255$  g per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni)

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

- **PGA = 0,151 ÷ 0,390g** per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni).

Per la visualizzazione grafica della distribuzione della PGA lungo l'area attraversata dal tracciato di progetto si rimanda all'Allegato 3 "Carta dei valori di PGA".

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  $m/sec^2$ );
- $S$ : 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:

- $T_c^*$  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. 5.2/E).

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 = 0,068 m/s (PGA 0,151 g) ÷ 0,272 m/s (PGA 0,390 g)** per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni).

In Tabella 5.2/F 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.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 34 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 5.2/F: Valori massimi attesi di accelerazione orizzontale al suolo (PGA) e di velocità orizzontale (PGV) per gli Stati Limite di Danno e di salvaguardia della Vita relativi alla linea principale e a quelle secondarie in progetto**

| Denominazione metanodotto                            | DN  | L (km) | TR (anni) = 100      |                        | TR (anni) = 950      |                        |
|--|-----|--------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|  |     |        | a <sub>max</sub> (g) | v <sub>max</sub> (m/s) | a <sub>max</sub> (g) | v <sub>max</sub> (m/s) |
| <b>Linea principale</b>                              |     |        |                      |                        |                      |                        |
| Rifacimento Derivazione per Sestri Levante           | 400 | 36,755 | 0,187                | 0,123                  | 0,390                | 0,272                  |
| <b>Linee secondarie</b>                              |     |        |                      |                        |                      |                        |
| Ricollegamento al Comune di Albareto                 | 100 | 0,095  | 0,133                | 0,076                  | 0,294                | 0,183                  |
| Allacciamento al Comune di Varese Ligure             | 250 | 0,045  | 0,094                | 0,055                  | 0,224                | 0,144                  |
| Ricollegamento All. Comune di Varese Ligure          | 100 | 0,060  | 0,091                | 0,054                  | 0,219                | 0,141                  |
| Collegamento Area Trappole ad HPRS1 Casarza Ligure   | 250 | 0,085  | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Ricollegamento a Der. per Sestri Levante             | 400 | 0,035  | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Tubazioni di servizio per Isolation System (3 linee) | 250 | 0,090  | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Variante Torrente Petronio                           | 50  | 0,585  | 0,089                | 0,060                  | 0,221                | 0,158                  |
| Ricollegamento al Comune di Sestri Levante           | 200 | 0,02   | 0,089                | 0,06                   | 0,221                | 0,158                  |
| Adeguamento cabina HPRS 768/A                        | 400 | 0,045  | 0,089                | 0,06                   | 0,221                | 0,158                  |

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.

Nell'Annesso 1 ("Verifica a scuotimento sismico") 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><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 35 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 6 ANALISI DELLE INTERFERENZE CON FAGLIE ATTIVE E CAPACI

Nell'ambito della caratterizzazione della pericolosità sismica di un territorio è da valutare anche la possibile presenza lungo il corridoio di interesse di Faglie Attive e Capaci (FAC).

La definizione in letteratura scientifica di una Faglia Attiva e Capace (Rif. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci - FAC), è la seguente:

- una faglia è definita Attiva se si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene);
- una faglia è definita Capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.

In questo capitolo è stata eseguita una valutazione della pericolosità del tracciato rispetto all'interferenza con possibili Faglie Attive e Capaci (FAC) in termini areali (analisi di pericolosità di primo livello), ossia analizzando i dati disponibili nel corridoio di interesse dell'opera:

- cartografie e database ufficiali;
- informazioni riportate in letteratura scientifica;
- osservazioni geologico-geomorfologiche eseguite durante i sopralluoghi nel territorio di interesse.

Il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano. In particolare, il catalogo contiene la raccolta di tutte le informazioni disponibili sulle strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Nel database sono riportate le principali faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono dare luogo a deformazioni superficiali.

Come evidenziato dalla Fig. 6/A, due faglie capaci interferiscono con il tratto di metanodotto Derivazione per Sestri DN 400 (16") attualmente in esercizio che è stato oggetto di rifacimento nell'anno 2008.

Le faglie sono denominate:

- Faglia M. Bello - Piacenza (90566);
- Faglia M. Scassella - Piacenza (90563).

Queste faglie interessano esclusivamente il metanodotto in esercizio (di recente realizzazione) e non interessano il tracciato in progetto, oggetto di questo studio.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 36 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



Fig. 6/A: Faglie attive e capaci presenti nel Database ITHACA

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 37 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 7 SUSCETTIBILITÀ DEI VERSANTI A FENOMENI DI INSTABILITÀ SISMOINDOTTA

Nell'ambito di una valutazione della pericolosità sismica di un territorio è da considerare l'eventuale possibilità che l'azione sismica, in termini di scuotimento del terreno, possa determinare condizioni di instabilità in alcuni versanti.

Un'analisi areale della suscettibilità dei versanti a fenomeni di instabilità sismo-indotta lungo il corridoio di interesse del gasdotto in progetto è stata sviluppata nella relazione REL-SIS-E-13025, alla quale si rimanda per ogni considerazione in merito.

La storicità degli effetti cosismici di instabilità dei versanti indotti da eventi sismici nell'area in esame è stata studiata sulla base del catalogo CEDIT (Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti), che riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (dall'anno 1000 d.C. al 2016). Il catalogo CEDIT è stato consultato per verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di franosità sismo-indotta associati ai principali eventi sismici registrati nella zona.

Si evidenzia che nel Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti, non sono censiti fenomeni di instabilità sismoindotta significativi lungo il corridoio del tracciato in progetto (Fig. 7/A).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 38 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



**Fig. 7/A: Fenomeni di instabilità sismoindotta censiti nel catalogo CEDIT**

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 39 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 8 ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE

In generale, il fenomeno della liquefazione dei terreni interessa i depositi incoerenti saturi che, durante ed immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico e dinamico, possono subire una drastica riduzione della rigidezza e della resistenza a taglio a causa dell'incremento di pressioni interstiziali. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Nei casi in cui esiste la possibilità di accadimento del fenomeno, è necessario verificare la suscettibilità dei terreni alla liquefazione e quindi che l'opera risulti stabile nei confronti del fenomeno.

Nel presente studio la valutazione della potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto è stata eseguita con un'analisi areale di primo livello.

La storicità sismica dell'area è stata studiata sulla base del catalogo CEDIT, che riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (dall'anno 1000 d.C. al 2016). Il catalogo CEDIT è stato consultato per verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di liquefazione.

L'individuazione delle aree è stata quindi svolta verificando anche gli eventuali studi di Microzonazione Sismica disponibili per il territorio in esame (rif. Par. 8.2).

Tuttavia, gli studi di Microzonazione Sismica solitamente sono realizzati solo in alcune aree del territorio comunale, quali: le aree più densamente urbanizzate, le aree industriali o le aree soggette ad espansione urbana.

Pertanto, in questo studio la verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni affioranti in aree comunali non caratterizzate da studi di Microzonazione Sismica interessate dal tracciato in progetto è stata realizzata in accordo alle linee guida per gli studi di microzonazione, come riportato nel paragrafo 8.3.

### 8.1 Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio

Il CEDIT è gestito dal Centro di Ricerca sui Rischi Geologici "CERI" dell'Università "Sapienza" di Roma. Questo catalogo è stato costruito attraverso un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (frane, fratturazioni, fagliazione superficiale, liquefazione e variazioni topografiche del livello del suolo). La ricerca è stata integrata anche con la consultazione dei rapporti tecnici e le pubblicazioni scientifiche sui terremoti recenti e passati.

Il database costruito è organizzato in forma di schede, in cui ognuna di queste contiene le informazioni relative sia agli effetti cosismici indotti sul territorio, che ai relativi eventi sismici che li hanno generati (Fortunato et al., 2012).

A tal proposito, è stato consultato il catalogo al fine di verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di liquefazione associati ai principali eventi sismici avvenuti (Fig. 8.1/A).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 40 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026



**Fig. 8.1/A: Fenomeni di liquefazione censiti nel catalogo CEDIT**

In Figura 8.1/A, si evidenzia che all'interno del corridoio interessato dal tracciato in progetto non si registrano fenomeni di liquefazione associati ai terremoti storici presenti nel catalogo CEDIT.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 41 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 8.2 Studi di Microzonazione Sismica

La Microzonazione Sismica consiste nella valutazione della pericolosità sismica locale attraverso la caratterizzazione di zone del territorio aventi comportamento sismico omogeneo. In ambito nazionale per l'esecuzione degli studi di Microzonazione Sismica sono stati definiti degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS) nel 2008 dalla Conferenza delle Regioni e Province Autonome e il Dipartimento di Protezione Civile.

La Microzonazione Sismica (MS) ha solitamente lo scopo di riconoscere ad una scala comunale o sub comunale, le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso e possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi degli studi di MS, le analisi possono essere effettuate a livelli di dettaglio crescenti, passando dal livello 1 (analisi areale o preliminare), fino al livello 3 (analisi o verifica di dettaglio specifica per il sito di interesse).

Il livello 1 degli studi di Microzonazione Sismica (MS1) ha per obiettivo l'individuazione areale delle microzone a comportamento sismico omogeneo su una carta generalmente a scala compresa tra 1:5.000 e 1:10000.

In particolare, l'obiettivo del livello 1, è la definizione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (carta delle MOPS), atta ad individuare le microzone, ove sulla base delle osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici, è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Il livello 2, punta a compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi e, parallelamente, a fornire quantificazioni numeriche, solitamente con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Il terzo livello di approfondimento generalmente si applica a siti specifici, nei quali sussistono determinate condizioni: (1) nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, o qualora l'estensione della zona in studio renda conveniente un'analisi di dettaglio o, ancora, per opere di particolare importanza; (2) nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologie semplificate.

In generale, gli studi di Microzonazione Sismica realizzati dalle autorità locali rappresentano una documentazione tecnica di supporto alle seguenti attività:

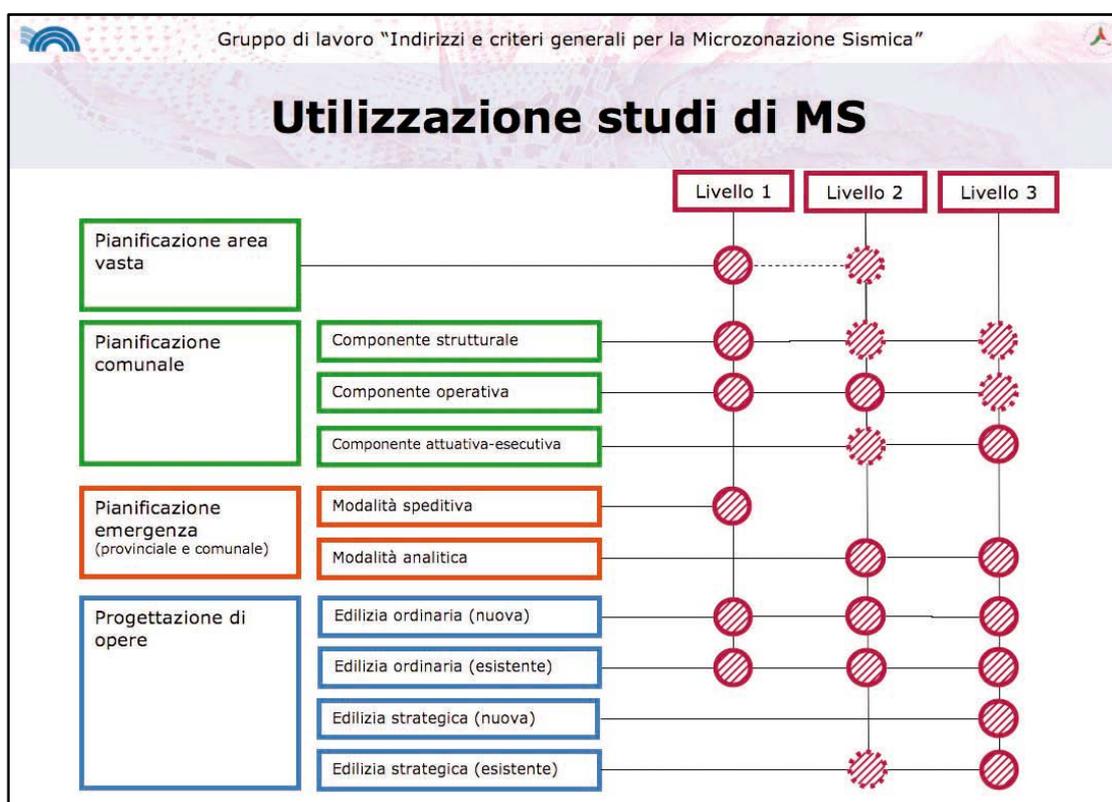
- pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli d'intervento, gli studi di MS sono condotti su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini, o prevedono l'uso ai fini di Protezione Civile.
- pianificazione d'emergenza sia di livello comunale che provinciale, gli studi di MS consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza e in generale delle risorse di Protezione Civile.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 42 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- progettazione di opere nuove o di interventi su opere esistenti, gli studi di MS forniscono un contributo preliminare per la caratterizzazione del territorio in relazione a possibili fenomeni cosismici.

Nella figura sottostante si riporta lo schema generale sull'utilizzo degli studi di Microzonazione Sismica (MS).



**Fig. 8.2/A: Studi di MS e utilizzazione nella pianificazione territoriale, nella pianificazione dell'emergenza e nella progettazione delle opere (Fig. 1.5-1 degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, Parti I e II).**

Al fine di valutare la possibile interferenza dell'opera in progetto con aree potenzialmente suscettibili a liquefazione individuate dagli studi di Microzonazione Sismica, sono stati consultati gli studi di MS dei comuni interessati dall'opera in progetto.

Tuttavia, da quanto riportato in Figura 8.2/B, risulta che i Comuni abbiano disponibili studi di MS di Livello 2 o 3, prevalentemente per le principali aree urbanizzate o di futura espansione, mentre il resto del territorio non è stato caratterizzato o al massimo presenta un'analisi di Livello 1.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 43 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

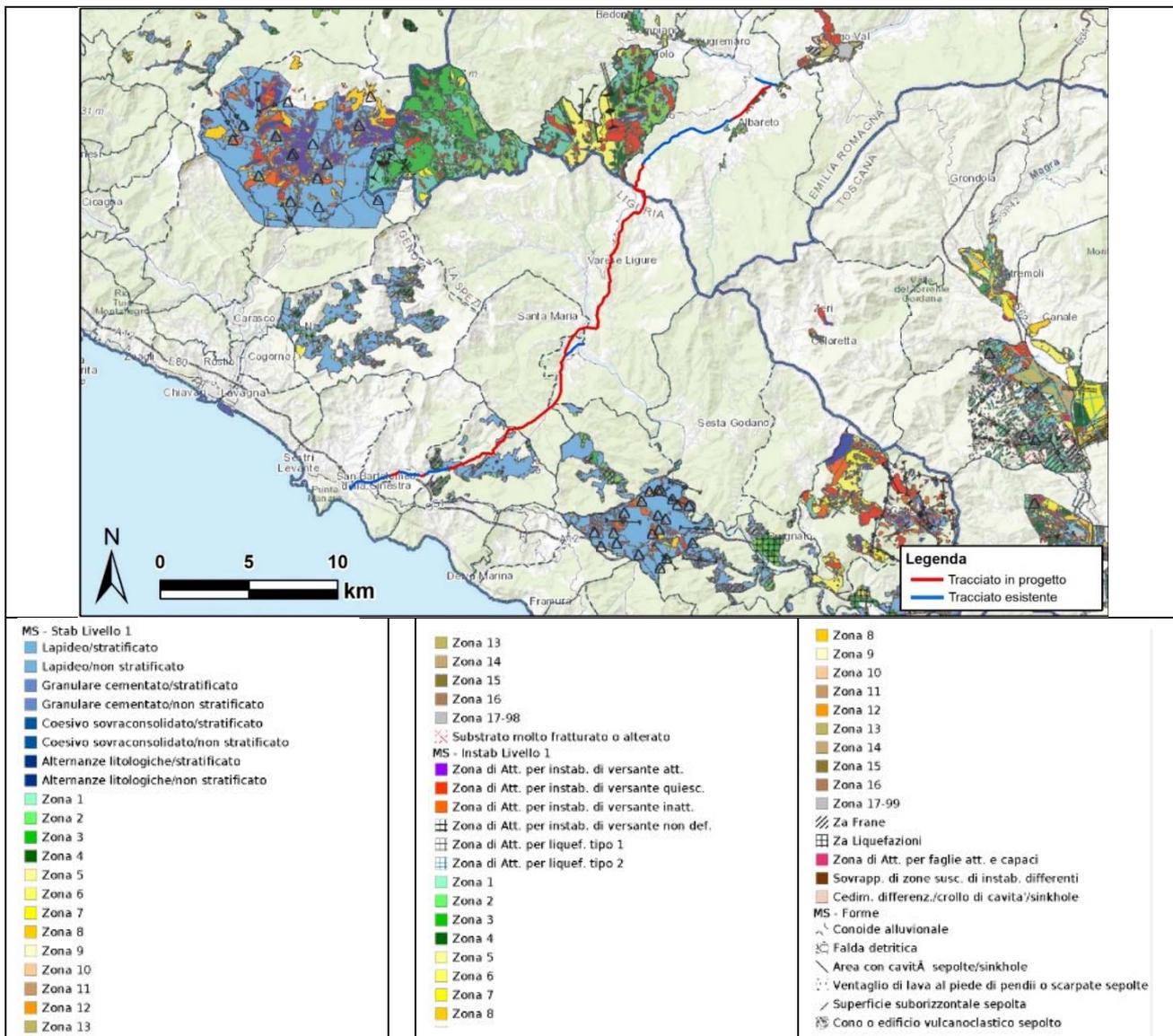


Fig. 8.2/B: Copertura degli studi di Microzonazione Sismica. Il tracciato (in rosso) non interessa aree ritenute a rischio liquefazione (rif. <https://www.webms.it/servizi/viewer.php>)

Tab. 8.2/A: Studi di microzonazione disponibili nei comuni interessati dal tracciato

| Comuni                 | Provincia | Livello MS      |
|------------------------|-----------|-----------------|
| Albareto               | Parma     | 2/3             |
| Varese Ligure          | La Spezia | Non Disponibile |
| Carro                  | La Spezia | Non Disponibile |
| Maissana               | La Spezia | Non Disponibile |
| Castiglione Chiavarese | Genova    | 1               |
| Casarza Ligure         | Genova    | Non Disponibile |
| Sestri Levante         | Genova    | Non Disponibile |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 44 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

Le aree MOPS presenti negli studi di microzonazione sismica disponibili per i comuni attraversati (Albareto e Castiglione Chiavarese) che interferiscono con il tracciato in progetto (Fig. 8.2/B) non danno indicazioni di aree liquefacibili.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 45 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

### 8.3 Aree non coperte da studi di Microzonazione Sismica

Le aree attraversate dal tracciato in progetto e non caratterizzate da studi di Microzonazione Sismica sono state classificate nelle cartografie MS ufficiali come aree "No Data".

La caratterizzazione areale di primo livello della suscettibilità a liquefazione dei terreni è stata definita considerando:

1. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) (ICMS, 2017);
2. Criteri della Normativa Tecnica per le Costruzioni (NTC18, par. 7.11.3.4.2).

#### Linee Guida ICSM (2017)

In accordo alle Linee guida ICSM (2017), la perimetrazione delle zone viene effettuata sulla base degli elementi informativi minimi.

Questi elementi sono definiti in accordo a criteri qualitativi riconosciuti in letteratura tecnico-scientifica che si basano sulla storia sismica, sulla geologia e sulla geomorfologia dei depositi affioranti.

A tal proposito, in accordo alla classificazione di Youd e Perkins (1978), i fattori che intervengono sulla suscettibilità alla liquefazione includono i processi di sedimentazione, l'età dei depositi, la storia geologica, la profondità della falda, la distribuzione granulometrica, la profondità di posa, la pendenza del terreno e la prossimità a zone di scarpata. Pertanto, sulla base del tipo di deposito sedimentario e della sua età, viene fornita un'indicazione sul grado di vulnerabilità del deposito stesso. Nella tabella sottostante (Tab. 8.3/A) vengono riportati esclusivamente i depositi continentali.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 46 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 8.3/A: Probabilità di liquefazione in base alla tipologia di deposito (Youd & Perkins, 1978)**

| Tipo di deposito              | Distribuzione generale dei depositi non coesivi | Susceptibilità alla liquefazione dei depositi non coesivi, quando saturi (in funzione dell'età del deposito) |          |             |                 |
|-------------------------------|---|--|----------|-------------|-----------------|
|                               |   | <500 anni  | Olocene  | Pleistocene | Pre-pleistocene |
| Canali fluviali               | Localmente variabile                            | Molto alta   | Alta     | Bassa       | Molto bassa     |
| Pianure di esondazione        | Localmente variabile                            | Alta   | Moderata | Bassa       | Molto bassa     |
| Pianure e conoidi alluvionali | Diffusa   | Moderata   | Bassa    | Bassa       | Molto bassa     |
| Spianate e terrazzi marini    | Diffusa   | -  | Bassa    | Molto bassa | Molto bassa     |
| Deltaici                      | Diffusa   | Alta   | Moderata | Bassa       | Molto bassa     |
| Lacustri                      | Variabile                                       | Alta   | Moderata | Bassa       | Molto bassa     |
| Colluvium                     | Variabile                                       | Alta   | Moderata | Bassa       | Molto bassa     |
| Talus                         | Diffusa   | Bassa  | Bassa    | Molto bassa | Molto bassa     |
| Dune                          | Diffusa   | Alta   | Moderata | Bassa       | Molto bassa     |
| Loess                         | Variabile                                       | Alta   | Alta     | Alta        | Molto bassa     |
| Glaciali                      | Variabile                                       | Bassa  | Bassa    | Molto bassa | Molto bassa     |
| Tufo                          | Rara  | Bassa  | Bassa    | Molto bassa | Molto bassa     |
| Piroclastiti                  | Diffusa   | Alta   | Alta     | ?           | ?               |
| Terreni residuali             | Rara  | Bassa  | Bassa    | Molto bassa | Molto bassa     |
| Sabkha                        | Localmente variabile                            | Alta   | Moderata | Bassa       | Molto bassa     |

A parità di composizione e di altre condizioni nello stesso deposito, terreni più antichi possono aver sviluppato nel tempo legami intergranulari e cementazioni tali da impedire l'annullamento della resistenza a taglio. Inoltre, la struttura di un deposito antico potrebbe essere addensata per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità, risultando più stabile nei confronti di fenomeni di liquefazione indotta da azioni cicliche e dinamiche.

Relativamente al fattore geologico, Bruschi (2014) fornisce inoltre indicazioni sulla suscettibilità alla liquefazione legate all'età geologica, alla profondità della falda (Tab. 8.3/B) e alla morfologia del sito (Tab. 8.3/C).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 47 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 8.3/B: Suscettibilità secondo il criterio geologico (Bruschi, 2014)**

| Età del deposito    | Profondità della falda (metri) |             |             |
|---------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
|                     | <9                             | 9 ÷ 15      | >15         |
| Olocene recente     | Elevata                        | Bassa       | Molto bassa |
| Olocene antico      | Moderata                       | Bassa       | Molto bassa |
| Pleistocene recente | Bassa                          | Bassa       | Molto bassa |
| Pleistocene antico  | Molto bassa                    | Molto bassa | Molto bassa |

**Tab. 8.3/C: Probabilità di liquefazione in base alla morfologia (Bruschi, 2014)**

| Morfologia del sito   | Liquefacibilità |
|---|-----------------|
| Letti di fiume sia antiche che recenti, terreni paludosi, terreni di bonifica, zone interdunali | Probabile       |
| Conoidi, argini naturali, dune, spiagge, pianure di esondazione                                 | Possibile       |
| Terrazzi, zone collinari e montuose   | Improbabile     |

L'identificazione delle aree, pertanto, è stata eseguita caratterizzando lungo il tracciato la presenza di determinate tipologie di depositi, soprattutto non coesivi e recenti (Olocenici recenti ed antichi), con condizioni morfologiche di sito predisponenti la suscettibilità alla liquefazione.

Criteri NTC18 (Par. 7.11.3.4.2)

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (decreto ministeriale 17/01/18) definiscono la liquefazione "intendendo con tale termine (liquefazione) quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate".

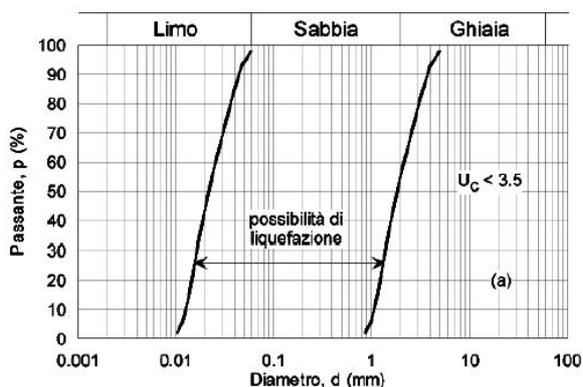
Si riportano nel seguito i criteri indicati nel paragrafo 7.11.3.4.2. delle norme NTC 2018 per i quali è possibile omettere la verifica a liquefazione:

- [1] accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- [2] profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- [3] depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{C1N} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{C1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- [4] distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 8.3/C (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_C < 3.5$  e in Fig. 8.3/C (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_C > 3.5$ .

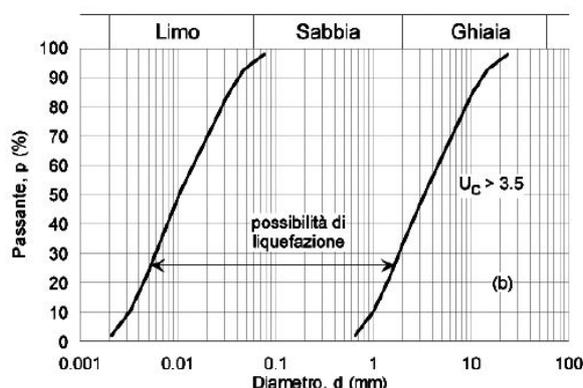
|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 48 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

Vale la pena osservare che le NTC2018 fanno esplicito riferimento a terreni prevalentemente sabbiosi, uniformemente all'Eurocodice 8 secondo cui: "Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso/argillosa".



a)



b)

**Fig. 8.3/C: Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Fig. 7.11.1 delle NTC 2018).**

#### 8.4 Analisi areale per l'identificazione dei tratti potenzialmente suscettibili a liquefazione

La caratterizzazione areale di primo livello della suscettibilità a liquefazione dei terreni presenti nelle aree interessate dall'opera in progetto non coperte da studi di MS è stata eseguita applicando le linee guida (Linee guida ICSM 2017) e verificando i criteri di esclusione (NTC18) indicati nel paragrafo precedente.

In accordo alle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)", l'attribuzione delle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche è stata realizzata considerando i dati di progetto disponibili - indagini geognostiche svolte lungo il tracciato in progetto (REL-CGD-E-13022, REL-GEO-E-13024, REL-SIS-E-13025, REL-CI-E-13029) e in base ai dati litologici, morfologici, idrogeologici e sismici presenti in letteratura.

Inoltre, l'intero tracciato è stato verificato considerando anche i criteri definiti nelle NTC18.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 49 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

Dall'analisi eseguita, l'unica porzione di tracciato che presenta alcune caratteristiche potenzialmente predisponenti al fenomeno della liquefazione è quella lungo la piana alluvionale del fiume Gotra (Tab. 8.4/A).

**Tab. 8.4/A: Tratti esclusi dalla verifica**

| Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16"), DP 75 bar e opere connesse |       |       |        |                         |            |                      |                         |
|---|-------|-------|--------|-------------------------|------------|----------------------|-------------------------|
| ID Tratto   | Da km | A km  | PGA    | Superficie piezometrica | Morfologia | Litologia prevalente | Criteri di esclusione * |
| L01   | 0     | 3     | >0,1 g | < 15 metri              | Fondovalle | Depositi alluvionali | [4]                     |
| Ricollegamento al Comune di Albareto DN 100 (4"), DP 75 bar             |       |       |        |                         |            |                      |                         |
| ID Tratto   | Da km | A km  | PGA    | Superficie piezometrica | Morfologia | Litologia prevalente | Criteri di esclusione * |
| /   | 0.000 | 0.092 | >0,1 g | < 15 metri              | Fondovalle | Depositi alluvionali | [4]                     |

\* Criteri di esclusione NTC18 (vedi elenco puntato paragrafo 8.2)

In questo tratto sono stati eseguiti alcuni sondaggi geognostici e prove DPSH (Tab. 8.4/B) che hanno rivelato la presenza di depositi alluvionali grossolani prevalentemente composti da ghiaie medio grossolane in matrice sabbioso limosa (cfr. REL-GEO-E-13023).

**Tab. 8.4/B: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

| Tipo | ID       | km   | Profondità (m) |
|------|----------|------|----------------|
| BH   | DS-B-B01 | 0,5  | 10             |
| BH   | DS-B-B02 | 1,8  | 15             |
| BH   | DS-B-B03 | 1,9  | 25             |
| BH   | DS-B-B04 | 2,05 | 30             |
| BH   | DS-B-B05 | 2,4  | 15             |
| BH   | DS-B-B06 | 2,5  | 15             |
| DPSH | DS-B-C01 | 1,0  | 1,4(Rif. 50)   |
| DPSH | DS-B-C02 | 2,5  | 1,2 (Rif. 50)  |

Pertanto, date le premesse sopra riportate, i terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto non sono da considerarsi liquefacibili, e in accordo a quanto previsto nelle N.T.C., al punto 7.11.3.4.2, la verifica a liquefazione può essere omessa per:

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 50 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi della pericolosità sismica (Seismic Hazard), che caratterizza il territorio nel quale si sviluppa il tracciato del Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16"), DP 75 bar e opere connesse 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 la progettazione dell'opera.

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 una sismicità moderata sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo attesi.

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 20 m) definito sul tracciato in progetto, che ha consentito una più accurata assegnazione delle categorie lungo la linea principale e le linee secondarie.

Le categorie topografiche assegnate lungo il tracciato principale, sono le seguenti:

- Categoria topografica **T1** (50,5%)
- Categoria topografica **T2** (21,0%)
- Categoria topografica **T3** (28,5%)

Nelle 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. 22 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:

- Categoria di sottosuolo **A** (19,0%)
- Categoria di sottosuolo **B** (76,3%)
- Categoria di sottosuolo **C** (4,7%)

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 9.1/A.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 51 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 9.1/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**

| Denominazione metanodotto                            | DN  | L (km) | TR (anni) = 100      |                        | TR (anni) = 950      |                        |
|--|-----|--------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|  |     |        | a <sub>max</sub> (g) | v <sub>max</sub> (m/s) | a <sub>max</sub> (g) | v <sub>max</sub> (m/s) |
| <b>Linea principale</b>                              |     |        |                      |                        |                      |                        |
| Rifacimento Derivazione per Sestri Levante           | 400 | 36,755 | 0,187                | 0,123                  | 0,390                | 0,272                  |
| <b>Linee secondarie</b>                              |     |        |                      |                        |                      |                        |
| Ricollegamento al Comune di Albareto                 | 100 | 0,095  | 0,133                | 0,076                  | 0,294                | 0,183                  |
| Allacciamento al Comune di Varese Ligure             | 250 | 0,045  | 0,094                | 0,055                  | 0,224                | 0,144                  |
| Ricollegamento All. Comune di Varese Ligure          | 100 | 0,060  | 0,091                | 0,054                  | 0,219                | 0,141                  |
| Collegamento Area Trappole ad HPRS1 Casarza Ligure   | 250 | 0,085  | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Ricollegamento a Der. per Sestri Levante             | 400 | 0,035  | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Tubazioni di servizio per Isolation System (3 linee) | 250 | 0,090  | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Variante Torrente Petronio                           | 50  | 0,585  | 0,089                | 0,060                  | 0,221                | 0,158                  |
| Ricollegamento al Comune di Sestri Levante           | 200 | 0,02   | 0,089                | 0,06                   | 0,221                | 0,158                  |
| Adeguamento cabina HPRS 768/A                        | 400 | 0,045  | 0,089                | 0,06                   | 0,221                | 0,158                  |

Nell'Annesso 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 interrato 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 dello Studio di Impatto Ambientale (REL-SIA-E-13010).

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 (Rif. Annesso 1 - Verifica allo scuotimento sismico).

Inoltre, nello studio è stato eseguito un primo livello di valutazione della pericolosità del tracciato rispetto all'interferenza con possibili Faglie Attive e Capaci (FAC).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 52 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

Si rileva che l'area interessata dall'opera in progetto non presenta interferenze con nessuna delle faglie capaci presenti in letteratura scientifica e censite nei database di riferimento (ITHACA).

Per quanto riguarda la valutazione della stabilità dei versanti in condizioni sismiche, si rimanda allo studio sviluppato nel documento di riferimento (Rif. REL-SIS-E-13025). In questo studio è stata applicata una metodologia specifica per l'analisi areale della stabilità dei pendii interessati dall'opera in progetto.

Infine, il territorio in esame è stato caratterizzato con una analisi di primo livello per definire l'eventuale suscettibilità dei terreni presenti lungo il corridoio dell'opera in progetto a fenomeni di liquefazione dei terreni.

I risultati ottenuti dalle verifiche effettuate indicano che in generale i terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto non sono liquefacibili.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 53 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 10 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>).
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.
- IAEA SSG-9 (Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards. Series SSG-9, 2010) ([https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1448\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1448_web.pdf)).
- IAEA TECDOC 1767 (The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA TECDOC 1767, 2015) ([https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1767\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1767_web.pdf)).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 54 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## ANNESSE 1 - VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 55 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 1 Verifica strutturale allo scuotimento sismico

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

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

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

Secondo le indicazioni degli studi presenti nella letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento offerta dal terreno circostante la tubazione 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), infine le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente alla propria direzione di propagazione.

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 Ref. [2], richiama le "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" delle ASCE.

Queste ultime sono state aggiornate nel 2001/05 dalle ASCE-ALA 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 che massimizzano gli effetti sulla tubazione.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 56 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 1.1 Dati di Input

In Tab. 1.1A sono riportati i tratti delle tubazioni interrato, potenzialmente interessate da un evento sismico di progetto e da sottoporre ad analisi sismica.

Sulla base dei dati relativi alla sismicità storica e strumentale, sono state calcolate le accelerazioni e velocità massime al suolo (ag e vg) lungo i tracciati delle tubazioni a seguito dell'evento sismico di progetto corrispondente sia allo Stato Limite di Danno (SLD, periodo di ritorno di 101 anni), che allo Stato Limite di Vita (SLV, periodo di ritorno di 949 anni).

Dei tubi presentati in tabella 1.1A sono stati selezionati quelli con le condizioni di sisma più gravose (in rosso) perché, a parità di caratteristiche meccaniche/dimensionali e condizioni operative massime, il risultato strutturale calcolato per queste tubazioni può ritenersi conservativamente rappresentativo (a vantaggio di sicurezza) anche per le altre.

**Tab. 1.1A: Tubazioni oggetto di studio e caratteristiche sismiche di progetto**

| Denominazione Metanodotto                            | DN  | D.I. (mm) | D.E. (mm) | Sp. Nom. (mm) | DP (bar) | L (km) | Curve | Acciaio      | TR (anni) = 100      |                        | TR (anni) = 950      |                        |
|--|-----|-----------|-----------|---------------|----------|--------|-------|--------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|  |     |           |           |               |          |        |       |              | a <sub>max</sub> (g) | v <sub>max</sub> (m/s) | a <sub>max</sub> (g) | v <sub>max</sub> (m/s) |
| <b>Linea principale</b>                              |     |           |           |               |          |        |       |              |                      |                        |                      |                        |
| Rifacimento Derivazione per Sestri Levante           | 400 | 384,2     | 406,4     | 11,1          | 75       | 36,76  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,187                | 0,123                  | 0,390                | 0,272                  |
| <b>Linea secondarie</b>                              |     |           |           |               |          |        |       |              |                      |                        |                      |                        |
| Ricollegamento al Comune di Albareto                 | 100 | 103,9     | 114,3     | 5,2           | 75       | 0,095  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,133                | 0,076                  | 0,294                | 0,183                  |
| Allacciamento al Comune di Varese Ligure             | 100 | 103,9     | 114,3     | 5,2           | 75       | 0,045  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,094                | 0,055                  | 0,224                | 0,144                  |
| Ricollegamento All. Comune di Varese Ligure          | 250 | 257,5     | 273,1     | 7,8           | 75       | 0,06   | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,091                | 0,054                  | 0,219                | 0,141                  |
| Collegamento Area Trappole ad HPRS1 Casarza Ligure   | 400 | 384,2     | 406,4     | 11,1          | 75       | 0,085  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Ricollegamento a Der. per Sestri Levante             | 250 | 257,5     | 273,1     | 7,8           | 75       | 0,035  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Tubazioni di servizio per Isolation System (3 linee) | 50  | 52,5      | 60,3      | 3,9           | 75       | 0,09   | 40DN  | EN L360NB/MB | 0,090                | 0,060                  | 0,223                | 0,159                  |
| Variante Torrente Petronio                           | 250 | 257,5     | 273,1     | 7,8           | 24       | 0,585  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,089                | 0,060                  | 0,221                | 0,158                  |
| Ricollegamento al Comune di Sestri Levante           | 200 | 205,1     | 219,1     | 7,0           | 24       | 0,02   | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,089                | 0,06                   | 0,221                | 0,158                  |
| Adeguamento cabina HPRS 768/A                        | 400 | 384,2     | 406,4     | 11,1          | 24       | 0,045  | 7 DN  | EN L360NB/MB | 0,089                | 0,06                   | 0,221                | 0,158                  |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 57 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

Nella tabella successiva (Tab. 1.1B), sono presentate le caratteristiche geometriche e meccaniche dei tubi analizzati nella relazione.

**Tab. 1.1B: Caratteristiche delle tubazioni e condizioni di progetto**

|                                      |                   | DN 400<br>(16") | DN 250<br>(10") | DN 200<br>(8") | DN 100<br>(4") | DN 50<br>(2") |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
| Diametro esterno tubazione           | mm                | 406,4           | 273,1           | 219,1          | 114,3          | 60,3          |
| Spessore minimo di linea             | mm                | 11,1            | 7,8             | 7,0            | 5,2            | 3,9           |
| Modulo elastico di Young             | N/mm <sup>2</sup> | 206000          | 206000          | 206000         | 206000         | 206000        |
| Coefficiente di Poisson              | adm               | 0,3             | 0,3             | 0,3            | 0,3            | 0,3           |
| Materiale tubazioni                  | -                 | EN L 360        | EN L 360        | EN L 360       | EN L 360       | EN L 360      |
| Peso specifico tubazioni             | kg/m <sup>3</sup> | 7850            | 7850            | 7850           | 7850           | 7850          |
| Snervamento minimo acciaio tubazione | N/mm <sup>2</sup> | 360             | 360             | 360            | 360            | 360           |
| Coefficiente dilatazione termica     | mm/m<br>m/°C      | 1,17 E-5        | 1,17 E-5        | 1,17 E-5       | 1,17 E-5       | 1,17 E-5      |
| Raggio curve 7DN                     | mm                | 2844,8          | 1778,0          | 1422,4         | 711,2          | 2032          |
| Pressione di progetto                | bar               | 75              | 75              | 24             | 75             | 75            |
| Differenza temperatura $\Delta T$    | °C                | 45              | 45              | 45             | 45             | 45            |

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

- H = 1,5 m altezza di copertura minima sui tubi
- $\gamma$  = 18000 N/m<sup>3</sup> peso specifico
- f = 30° angolo di attrito interno
- $\phi$  = 18° angolo di attrito tubo-terreno (da ASCE-ALA 2001 = 0,6\*f)
- K<sub>0</sub> = 0,5 coefficiente di spinta a riposo

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

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 58 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

## 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, SV, è determinata secondo la formula di seguito riportata

$$SV = [ SL^2 - SL SH + SH^2 ]^{1/2}$$

dove:

SH è la tensione circonferenziale (hoop stress) dovuta alla pressione interna del fluido contenuto nel tubo.

SL 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 2013) la suddetta tensione equivalente totale è confrontata col 100% dello snervamento minimo specificato per il materiale della tubazione,  $\sigma_Y$ , (in gergo anglosassone SMYS = Specified Minimum Yield Stress).

$$SV = [ SL^2 - SL SH + SH^2 ]^{1/2} \leq \sigma_Y = SMYS$$

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,  $\epsilon$ .

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

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

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 59 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

### 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:

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

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

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  $\vartheta = 35^\circ 16'$ :

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 60 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 61 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

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 i tratti rettilinei di ciascuna tubazione (diametro), le massime tensioni sismiche calcolate con le formule precedentemente riportate sono presentate nelle tabelle seguenti tabelle 1.3/A e 1.3/B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno ( $a_{g,SLD}$  relativo ad un periodo di ritorno di 101 anni) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita ( $a_{g,SLV}$  relativo ad un periodo di ritorno di 949 anni).

**Tab. 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           |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|---|
|                     | $\sigma_{a,S}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{b,S}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,P}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{b,P}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,R}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{b,R}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{sism}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| <b>DN 400 (16")</b> | 6,33                                   | 0,02                                   | 12,67                                  | 0,01                                   | 12,67                                  | 0,02                                   | 19,03                                   |
| <b>DN 250 (10")</b> | 3,09                                   | 0,01                                   | 6,18                                   | 0,00                                   | 6,18                                   | 0,01                                   | 9,28                                    |
| <b>DN 200 (8")</b>  | 3,09                                   | 0,00                                   | 6,18                                   | 0,00                                   | 6,18                                   | 0,00                                   | 9,28                                    |
| <b>DN 100 (4")</b>  | 3,91                                   | 0,00                                   | 7,83                                   | 0,00                                   | 7,83                                   | 0,00                                   | 11,75                                   |
| <b>DN 50 (2")</b>   | 3,09                                   | 0,00                                   | 6,18                                   | 0,00                                   | 6,18                                   | 0,00                                   | 9,27                                    |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 62 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 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> ) |  |
| <b>DN 400 (16")</b> | 14,01                               | 0,04                                | 28,02                               | 0,02                                | 28,02                               | 0,04                                | 42,08  |
| <b>DN 250 (10")</b> | 8,19                                | 0,02                                | 16,38                               | 0,01                                | 16,38                               | 0,02                                | 24,59  |
| <b>DN 200 (8")</b>  | 8,14                                | 0,01                                | 16,27                               | 0,00                                | 16,27                               | 0,01                                | 24,43  |
| <b>DN 100 (4")</b>  | 9,42                                | 0,01                                | 18,85                               | 0,00                                | 18,85                               | 0,01                                | 28,29  |
| <b>DN 50 (2")</b>   | 8,19                                | 0,00                                | 16,38                               | 0,00                                | 16,38                               | 0,00                                | 24,57  |

Combinando le tensioni delle tabelle precedenti (Tab. 1.3/A e 1.3/B) secondo i criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle seguenti Tab. 1.3/C e 1.3/D sono riportati i risultati delle verifiche a scuotimento sismico eseguite per ciascuna delle tubazioni, allo Stato Limite di Danno e allo Stato Limite di Vita dei relativi terremoti di progetto.

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

| Tubazione           | Tensione equivalente $S_v$ (N/mm <sup>2</sup> ) | Tensione ammissibile SMYS (N/mm <sup>2</sup> ) | Tasso di lavoro $S_v/SMYS$ (adm) | Deformazione massima $\epsilon$ (adm) | Deformazione ammissibile $\epsilon_{cr}$ (adm) | Tasso di lavoro $\epsilon/\epsilon_{cr}$ (adm) |
|---------------------|---|--|----------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| <b>DN 400 (16")</b> | 195,31  | 360  | 0,54                             | 4,19E-4                               | 9,83E-3  | 0,04   |
| <b>DN 250 (10")</b> | 183,48  | 360  | 0,51                             | 3,80E-4                               | 1,03E-2  | 0,04   |
| <b>DN 200 (8")</b>  | 129,40  | 360  | 0,36                             | 5,17E-4                               | 1,16E-2  | 0,04   |
| <b>DN 100 (4")</b>  | 154,21  | 360  | 0,43                             | 4,63E-4                               | 1,67E-3  | 0,03   |
| <b>DN 50 (2")</b>   | 138,73  | 360  | 0,39                             | 4,87E-4                               | 2,42E-2  | 0,02   |

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 63 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

|                     | Tensione equivalente                   | Tensione ammissibile         | Tasso di lavoro               | Deformazione massima | Deformazione ammissibile | Tasso di lavoro            |
|---------------------|--|------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Tubazione</b>    | S <sub>v</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | SMYS<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | S <sub>v</sub> /SMYS<br>(adm) | ε<br>(adm)           | ε <sub>cr</sub><br>(adm) | ε/ε <sub>cr</sub><br>(adm) |
| <b>DN 400 (16")</b> | 214,06                                 | 360                          | 0,59                          | 5,31E-4              | 9,83E-3                  | 0,05                       |
| <b>DN 250 (10")</b> | 195,72                                 | 360                          | 0,54                          | 4,55E-4              | 1,03E-2                  | 0,04                       |
| <b>DN 200 (8")</b>  | 186,50                                 | 360                          | 0,52                          | 4,74E-4              | 1,16E-2                  | 0,04                       |
| <b>DN 100 (4")</b>  | 169,04                                 | 360                          | 0,47                          | 5,44E-4              | 1,67E-2                  | 0,03                       |
| <b>DN 50 (2")</b>   | 153,09                                 | 360                          | 0,43                          | 5,61E-4              | 2,42E-2                  | 0,02                       |

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, i tratti rettilinei delle tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate agli scuotimenti sismici attesi al terreno.

#### 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 tu (ASCE 1984):

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

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

dove:

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 64 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

- $A_p$  = area della sezione trasversale del tubo
- $\lambda = (k_0/4EI)^{1/4}$
- $k_0$  = modulo di reazione del suolo
- $I$  = momento di inerzia della sezione trasversale del tubo
- $\varepsilon_{max}$  = massima deformazione del terreno
- $K_0$  = coefficiente di pressione del suolo a riposo

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

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

dove  $r_0$  è il raggio di curvatura dell'elemento curvo.

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

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

con:

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

Il momento flettente sulla curva è:

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

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 65 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

K1 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 SV, sono riportati nelle tabelle seguenti Tab. 1.4/A e Tab. 1.4/B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (ag,SLD) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita (ag,SLV)).

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 66 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

**Tab. 1.4/A: Spostamento e tensione sismica sull'elemento curvo di 90° per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)**

| Tubazione           | $\varepsilon$<br>(adm) | $\Delta$<br>(mm) | S<br>(kN) | M<br>(kNm) | $\sigma_a$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_b$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------|------------------------|------------------|-----------|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>DN 400 (16")</b> | -6,95E-4               | 54,9             | 263,1     | 107,4      | 19,08                              | 78,76                              |
| <b>DN 250 (10")</b> | -6,80E-4               | 36,2             | 99,7      | 32,5       | 15,34                              | 76,44                              |
| <b>DN 200 (8")</b>  | -8,47E-4               | 27,1             | 57,1      | 18,1       | 12,23                              | 70,74                              |
| <b>DN 100 (4")</b>  | -1,00E-3               | 23,6             | 22,5      | 6,5        | 12,64                              | 120,94                             |
| <b>DN 50 (2")</b>   | -1,16E-3               | 17,9             | 4,5       | 0,4        | 6,48                               | 147,06                             |

**Tab. 1.4/B: Spostamento e tensione sismica sull'elemento curvo di 90° per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)**

| Tubazione           | $\varepsilon$<br>(adm) | $\Delta$<br>(mm) | S<br>(kN) | M<br>(kNm) | $\sigma_a$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_b$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------|------------------------|------------------|-----------|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>DN 400 (16")</b> | -8,29E-4               | 70,4             | 337,3     | 137,6      | 24,47                              | 100,96                             |
| <b>DN 250 (10")</b> | -7,71E-4               | 43,5             | 120,0     | 39,0       | 18,45                              | 91,94                              |
| <b>DN 200 (8")</b>  | -8,43E-4               | 38,7             | 81,4      | 25,8       | 17,45                              | 100,92                             |
| <b>DN 100 (4")</b>  | -1,16E-3               | 29,2             | 27,9      | 8,0        | 15,64                              | 149,65                             |
| <b>DN 50 (2")</b>   | -1,34E-3               | 22,3             | 5,6       | 0,5        | 8,08                               | 183,39                             |

Combinando i valori delle tabelle precedenti (Tab. 1.4/A e Tab. 1.4/B), con la formulistica del paragrafo 1.4 sono stati calcolati gli stati tensionali indotti sulle tubazioni per lo Stato Limite di Danno e per lo Stato Limite di Vita dei relativi terremoti di progetto.

Nelle seguenti Tabelle 1.4/C e Tab. 1.4/D, per ciascuna linea esaminata, sono riportati i risultati delle analisi e verifiche strutturali eseguite.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 67 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

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

|                     | <b>Diametro esterno</b> | <b>Stress equivalente</b>              | <b>Stress ammissibile</b>    | <b>Tasso di lavoro</b>        |
|---------------------|-------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Tubazione</b>    | D<br>(mm)               | S <sub>v</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | SMYS<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | S <sub>v</sub> /SMYS<br>(adm) |
| <b>DN 400 (16")</b> | 406,4                   | 242,96                                 | 360                          | 0,67                          |
| <b>DN 250 (10")</b> | 273,1                   | 235,13                                 | 360                          | 0,65                          |
| <b>DN 200 (8")</b>  | 219,1                   | 195,93                                 | 360                          | 0,54                          |
| <b>DN 100 (4")</b>  | 114,3                   | 257,66                                 | 360                          | 0,72                          |
| <b>DN 50 (2")</b>   | 60,3                    | 272,17                                 | 360                          | 0,76                          |

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

|                     | <b>Diametro esterno</b> | <b>Stress equivalente</b>              | <b>Stress ammissibile</b>    | <b>Tasso di lavoro</b>        |
|---------------------|-------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Tubazione</b>    | D<br>(mm)               | S <sub>v</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | SMYS<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | S <sub>v</sub> /SMYS<br>(adm) |
| <b>DN 400 (16")</b> | 406,4                   | 267,35                                 | 360                          | 0,74                          |
| <b>DN 250 (10")</b> | 273,1                   | 251,59                                 | 360                          | 0,70                          |
| <b>DN 200 (8")</b>  | 219,1                   | 253,66                                 | 360                          | 0,70                          |
| <b>DN 100 (4")</b>  | 114,3                   | 288,27                                 | 360                          | 0,80                          |
| <b>DN 50 (2")</b>   | 60,3                    | 309,52                                 | 360                          | 0,86                          |

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate agli scuotimenti sismici atteso al terreno per il terremoto di progetto corrispondente sia allo Stato Limite di Danno, che allo Stato Limite di Vita.

|   |  |                                    |                            |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|
|  | <b>PROGETTISTA</b><br>                         | <b>COMMESSA</b><br><b>NR/20045</b> | <b>UNITÀ</b><br><b>000</b> |
|   | <b>LOCALITÀ</b><br>Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria  | <b>REL-SIS-E-13026</b>             |                            |
|   | <b>PROGETTO/IMPIANTO</b><br>Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante<br>DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse | Fg. 68 di 68                       | <b>Rev.</b><br><b>0</b>    |

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83026

## 2 Conclusioni

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità delle condotte di gas in progetto ai requisiti del D.M. della norma EN 1594 (e quindi ai criteri delle linee guida sismiche nelle "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" delle ASCE, richiamate nella Ref. [2] dell'annex E, ed alla relativa revisione ultima del 2001/5), nei confronti dello scuotimento al suolo (o shaking) provocato da un evento sismico, caratterizzato da picchi di accelerazione e velocità massima del terreno presentate in Tab. 1.1A per lo Stato Limite di Danno e per lo Stato Limite di Vita.

I risultati delle analisi presentate ai paragrafi 1.3 e 1.4, rispettivamente per i tratti rettilinei e per l'elemento curvo 90°, hanno infatti evidenziato l'idoneità dello spessore delle tubazioni a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l'evento sismico.

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

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

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