

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Rifacimento metanodotto Livorno - Piombino**  
**DN 750 (30"), DP 75 bar**  
**ed opere connesse**

**Progetto di fattibilità tecnica ed economica**

**CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITÀ**  
**E**  
**VERIFICA ALLO SCUOTIMENTO SISMICO**



0	Emissione	Onori	Nisii	Santi	Feb. '22
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Documenti di Riferimento</b>	<b>7</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>8</b>
<b>3. SISMICITÀ STORICA</b>	<b>10</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE SIMOGENETICA</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Zonazione Sismogenetica "ZS9"</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Sorgenti Sismogenetiche "DISS"</b>	<b>15</b>
<b>5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Pericolosità sismica di base lungo il tracciato</b>	<b>19</b>
<b>5.2. Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato</b>	<b>22</b>
<b>6. ANALISI DELLE INTERFERENZE CON FAGLIE ATTIVE E CAPACI</b>	<b>30</b>
<b>7. SUSCETTIBILITÀ DEI VERSANTI A FENOMENI DI INSTABILITÀ SIMOINDOTTA</b>	<b>32</b>
<b>8. ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE</b>	<b>33</b>
<b>8.1. Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio</b>	<b>33</b>
<b>8.2. Aree coperte da studi di Microzonazione Sismica</b>	<b>35</b>
<b>8.3. Aree non coperte da studi di Microzonazione Sismica</b>	<b>38</b>
<b>8.4. Analisi areale per l'identificazione dei tratti potenzialmente suscettibili a liquefazione</b>	<b>41</b>
<b>8.5. Metodo di analisi delle aree soggette a verifica</b>	<b>44</b>
8.5.1. Tratto L01 (KM 0-8,75)	45
8.5.2. Tratto L03 (KM 9,3-12,2)	46
8.5.3. Tratto L05 (KM 14-15,2)	48
8.5.4. Tratto L07 (KM 16,1-17,35)	49
8.5.5. Tratto L09 (KM 18,1-28)	50
8.5.6. Tratto L11 (KM 30,4-31,2)	51
8.5.7. Tratto L13 (KM 33-64,6)	52
8.5.8. Tratto L15 (KM 68,5-70,1)	57
8.5.9. Altre linee in progetto	58

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 3 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE** **60**

**BIBLIOGRAFIA** **63**

**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***

***ALLEGATO 5 – VERIFICHE DELLE AREE POTENZIALMENTE LIQUEFACIBILI***

**ANNESI**

***ANNESSO 1 – VERIFICA A SCUOTIMENTO SISMICO***

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 1. INTRODUZIONE

Il progetto denominato "Rifacimento Met. Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar e opere connesse" prevede, come intervento principale, la messa in opera di una nuova condotta DN 750 (30") di lunghezza pari a 84,240 km, che fiancheggerà l'attuale metanodotto "Livorno-Piombino DN 400 (16"), MOP 70 bar" in esercizio.

La nuova infrastruttura, in generale, incrementerà l'affidabilità e la flessibilità di trasporto della rete esistente, consentendo, inoltre, il futuro declassamento a MOP 24 bar del gasdotto in esercizio "Livorno-Piombino" citato.

Fanno parte del progetto in esame anche la messa in opera di 7 linee secondarie (Tab. 1/A) e la rimozione di 4 linee secondarie esistenti (Tab. 1/B).

**Tab. 1/A - Linea principale e linee secondarie in progetto**

Denominazione metanodotto	DN (mm)	DP (bar)	Lunghezza (km)
<b>Linea principale</b>			
Rifacimento met. Livorno-Piombino	750	75	84,240
<b>Linee secondarie</b>			
Ricollegamento All.to 4160603 Rosen Rosignano	400	75	0,785
Variante per inserimento PIDI su met. 4160603 Rosen Rosignano	400	75	0,080
Nuova Derivazione dal gasdotto 4160603 Rosen Rosignano	250	75	0,820
Rifacimento All.to Solvay Rosignano	150	75	0,065
Rifacimento All.to Solvay Chimica	150	75	0,055
Rifacimento All.to Comune di Rosignano	100	75	0,025
Rifacimento All.to Tirrenomet	100	75	0,770

**Tab. 1/B - Linee secondarie in dismissione**

Denominazione metanodotto	DN	MOP (bar)	Lunghezza (km)
<b>Linee secondarie</b>			
All.to Solvay di Rosignano	250	70	3,290
Dismissione associata a variante per inserimento PIDI su met. 4160603 Rosen Rosignano	400	75	0,080
Met. All.to TirrenoMet	100	75	0,675
All.to Comune di Rosignano	100	75	0,015

In particolare, il tracciato di progetto si sviluppa nei territori dei comuni di Collesalveti, Rosignano Marittimo, Cecina, Bibbona, Castagneto Carducci, San Vincenzo, Campiglia Marittima e Piombino in Provincia di Livorno e Fauglia, Santa Luce, Castellina Marittima e Riparbella in Provincia di Pisa.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

La presente relazione è stata redatta per approfondire la caratterizzazione sismica del territorio interessato dal progetto. La condotta in progetto si sviluppa integralmente nel territorio della regione Toscana, interessando le province di Livorno e Pisa.

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.

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. 2/B).

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

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

Diametro nominale DN	Tensione ammissibile SMYS (N/mm <sup>2</sup> )	Spessore minimo (mm)	Materiale (acciaio di qualità)
DN 750 (30")	415	14,3	EN L415NB/MB
DN 400 (16")	360	11,1	EN L360NB/MB
DN 250 (10")		7,8	
DN 150 (6")		7,1	
DN 100 (4")		5,2	

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

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

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

Diametro nominale condotta (DN)	Diametro nominale tubo di protezione (DN)	Spessore (mm)	Materiale (acciaio di qualità)
DN 750 (30")	900	19,6	EN L450MB
DN 400 (16")	550	14,3	EN L415MB
DN 150 (6")	250	7,8	EN L360MB
DN 100 (4")	200	7	EN L360MB

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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

#### 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, attraverso circuiti automatici, provvedono a mantenere il potenziale della condotta più negativo o uguale a -1 V rispetto all'elettrodo di riferimento Cu-CuSO<sub>4</sub> saturo.

#### Telecontrollo

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

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

- Diametro nominale 100 (4")/200 (8");
- Spessore 4/7 mm.

Nel Capitolo 8.4 sono riportati anche i risultati dell'analisi di suscettibilità a liquefazione dei terreni interessati dalla condotta in progetto. Si precisa che in questa relazione non è riportata l'analisi di suscettibilità a liquefazione specifica per i punti di linea (impianti). Per questi siti, l'analisi sarà sviluppata nelle relazioni geologico-geotecniche di ciascun impianto.

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 rigidità 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.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (decreto ministeriale 17/01/18) sono infatti relative ad analisi di un "sito specifico" e mancano riferimenti alle infrastrutture con elevato sviluppo lineare. Per tale ragione, dato l'elevato sviluppo lineare dell'infrastruttura oggetto di studio, la valutazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto è stata eseguita su due livelli di analisi.

Un primo livello di valutazione della pericolosità è stato realizzato mediante un'analisi di tipo areale, in cui sono state identificate le aree potenzialmente suscettibili a

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 7 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

liquefazione. I metodi ed i risultati sono descritti nel capitolo 7. In questa fase sono state utilizzate tutte le informazioni disponibili. In particolare, sono state individuate le aree riportate negli studi di microzonazione sismica come potenzialmente suscettibili di liquefazione che interferiscono con il tracciato in progetto. Per le aree non coperte da tali studi, indicate nella presente relazione come "No Data", l'analisi è stata svolta utilizzando le informazioni disponibili (es: cataloghi ufficiali, banche dati, cartografia ufficiale, dati di progetto, etc.). I risultati dello studio sono riportati su mappe che evidenziano le interferenze del tracciato in progetto con aree in cui affiorano terreni potenzialmente suscettibili a liquefazione (Zone di Attenzione, ZALQ), ossia unità litotecniche che, a valle di questa prima analisi, non presentano localmente le caratteristiche geologico-geotecniche che consentono l'esclusione di una verifica alla liquefazione dei terreni.

### 1.1. Documenti di Riferimento

- [1] REL-CGD-E-03021 Relazione Geologica
- [2] REL-GEO-E-03022 Relazione geotecnica
- [3] REL-SIS-E-03023 Analisi areale della stabilità dei pendii
- [4] REL-CI-E-03027 Studio Idrogeologico
- [5] PG-CGD-D-03207 Geologia e Geomorfologia

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 8 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 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".
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 9 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Suppl. Ordinario n.5, Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2019.

- Linee Guida n. 13 Comitato Italiano Gas (CIG)

Linee guida per l'applicazione della normativa sismica nazionale alle attività di progettazione, costruzione e verifica dei sistemi di trasporto e distribuzione per gas combustibile. Edizione di Marzo 2009.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 10 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

### 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.



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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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 da una sismicità medio-bassa, 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**

File scaricato da CPTI15-DBMI15 v4.0							
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano							
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)							
N	Year	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	Io	MwM
331	1549	Livorno	43.551	10.309		6-7	4.86
469	1646	Livorno	43.551	10.309		6	4.63
690	1732	Livorno	43.551	10.309		4-5	3.93
725	1742	Livornese	43.551	10.309		6	4.87
821	1771	Livorno	43.551	10.309		5-6	4.4
1011	1808	Livorno	43.551	10.309		6	4.63
1027	1814	Costa pisano-livornese	43.635	10.355		6-7	5.12
1191	1846	Colline Pisane	43.47	10.562		9	6.04
1346	1871	Val di Cecina	43.301	10.619		7-8	5.15
1629	1894	Livorno	43.551	10.309		5	4.16
1709	1897	Valdarno inferiore	43.636	10.655		5-6	4.27
2091	1914	Livornese	43.47	10.433		5	4.33
2668	1950	Livornese	43.392	10.463		6	4.9
2669	1950	Livornese	43.533	10.333			
3386	1984	Costa pisano-livornese	43.558	10.229		6	4.63
3387	1984	Costa pisano-livornese	43.58	10.381		5	4.4
3393	1984	Costa pisano-livornese	43.561	10.296		5	4.35
3413	1984	Costa pisano-livornese	43.408	10.278	0.1		
3511	1987	Costa pisano-livornese	43.541	10.188	5.8	5-6	4.37
4220	2003	Costa pisano-livornese	43.651	10.189	6.5		
4293	2006	Costa pisano-livornese	43.621	10.213	9.1		

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

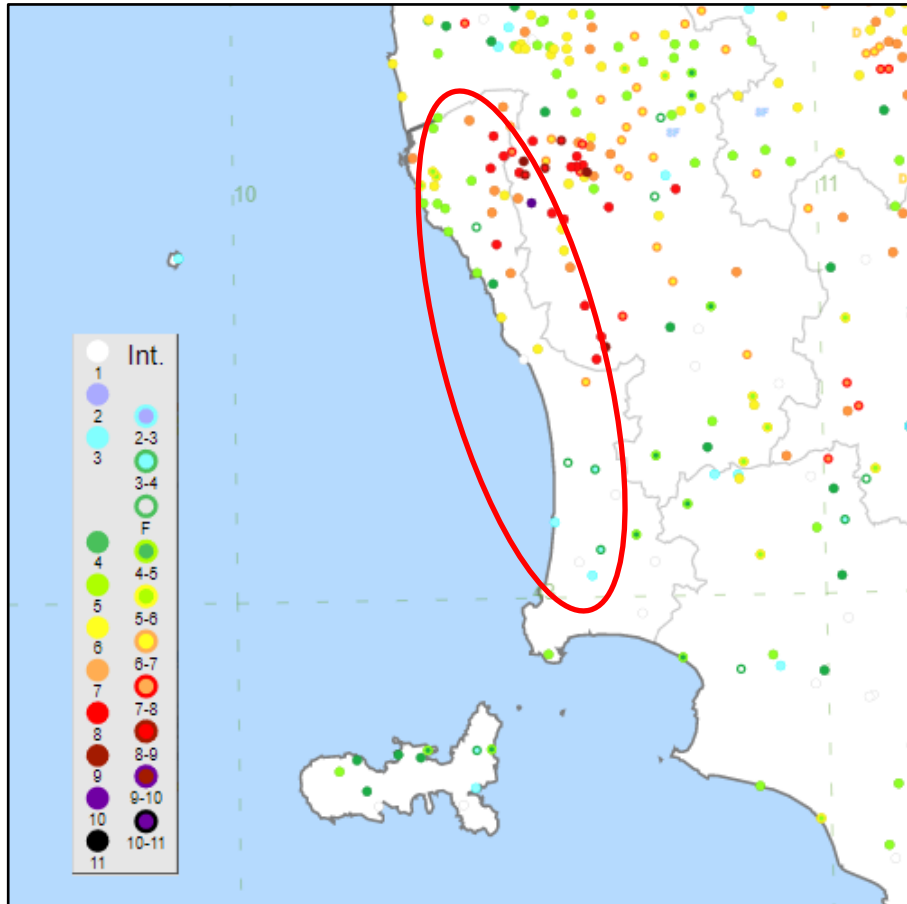


Fig. 3/B: Distribuzione dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: DBMI15)

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

#### 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.

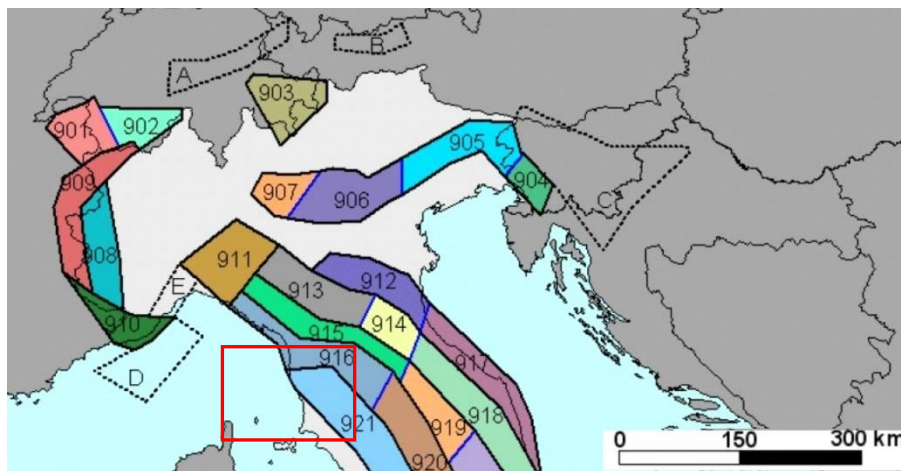
Entrambe le fonti sono elaborate a cura dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

##### 4.1. Zonazione Sismogenetica "ZS9"

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente 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).



**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 è evidenziata l'area interessata dal tracciato.**

L'area in studio è interessata nella sua porzione settentrionale dalla zona sismogenetica 921 e marginalmente dalla zona 916.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 14 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

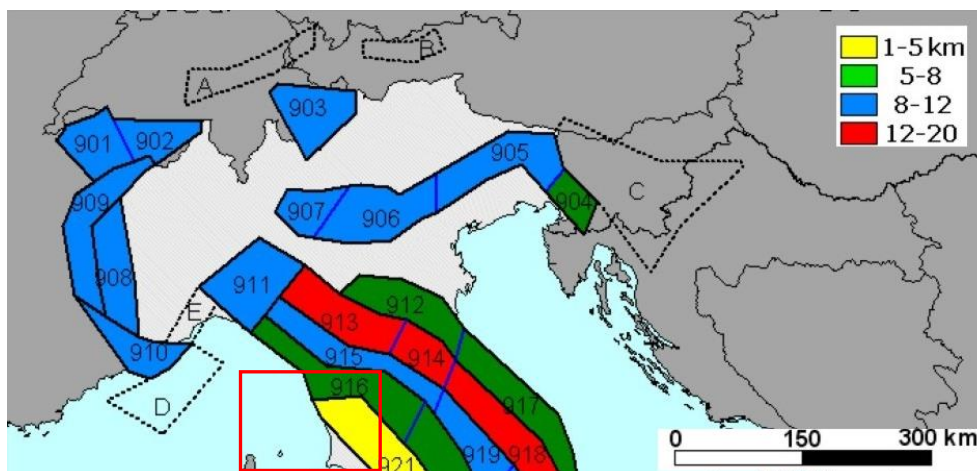
La zona 921, definita lungo la fascia tirrenica, racchiude aree caratterizzate da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri.

L'area in studio potenzialmente potrebbe risentire di eventi sismici appartenenti alla vicina zona 916. Questa zona, che coincide con la porzione più settentrionale del settore in distensione tirrenica definito nei più recenti modelli sismo-tettonici, è 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 dell'Appennino centro-settentrionale. La zona 921 è caratterizzata da profondità efficaci molto superficiali, comprese nell'intervallo 1-5 km. L'area in studio, inoltre, è prossima anche alla zona 916, che mostra profondità ipocentrali abbastanza superficiali (tra i 5 km e gli 8 km).



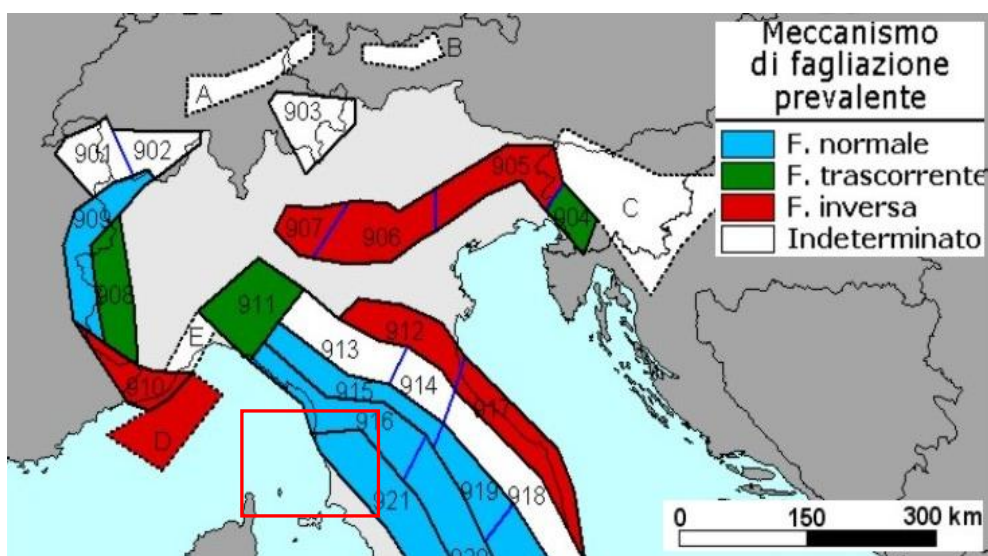
**Fig. 4.1/B: Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro è evidenziata l'area interessata dal tracciato.**

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 15 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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 mostrato uno stralcio della mappa nazionale con in evidenza le zone interessate dal tracciato in progetto.



**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.**

La tettonica a regime distensivo in atto nella zona 921 e nella 916 si manifesta con eventi sismici aventi prevalentemente meccanismi focali di tipo "Faglia Normale".

#### 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 attesa superiore di M 5.5 localizzate sul territorio nazionale.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 16 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

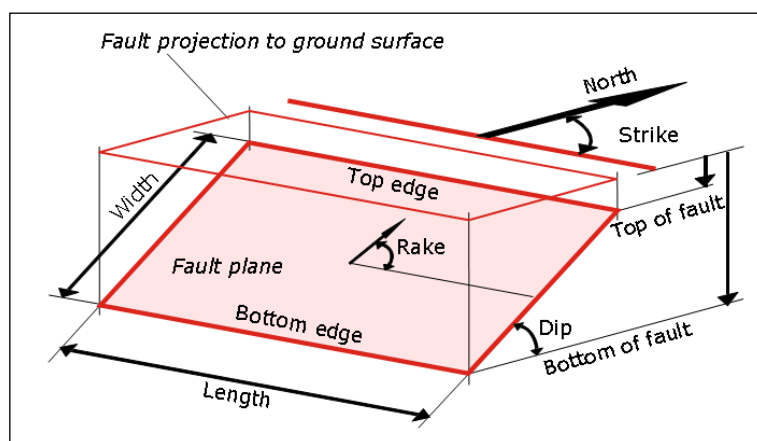
Il DISS include le seguenti categorie di sorgenti sismogenetiche:

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

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

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

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



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

- 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.

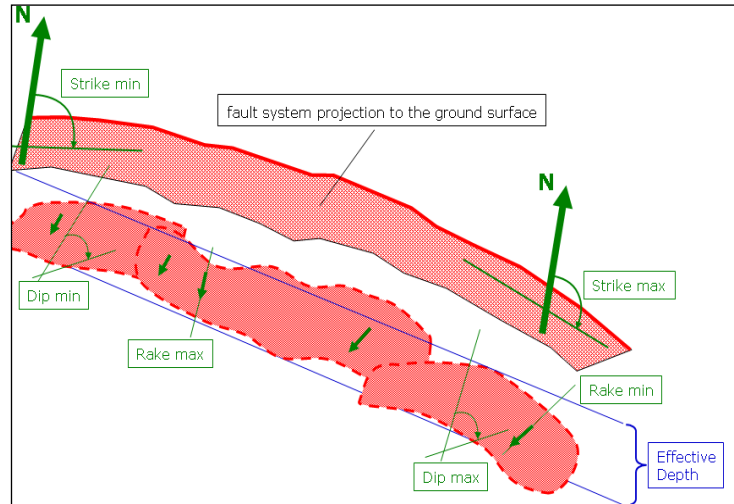
Una sorgente sismogenetica composita è sostanzialmente una struttura dedotta sulla base dei dati geologici regionali di superficie e profondi. Tipicamente comprende un numero non specificato di sorgenti individuali, per cui la rottura attesa per terremoti è mal definita o sconosciuta.

Il potenziale sismico di questa categoria di sorgenti può essere stimato dai cataloghi sismici esistenti.
- Sorgenti sismogenetiche "dibattute"**, ovvero faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziali sorgenti sismogenetiche, ma che non sono state considerate abbastanza affidabili da essere introdotte nel database.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 17 di 63	<b>Rev.</b> 0

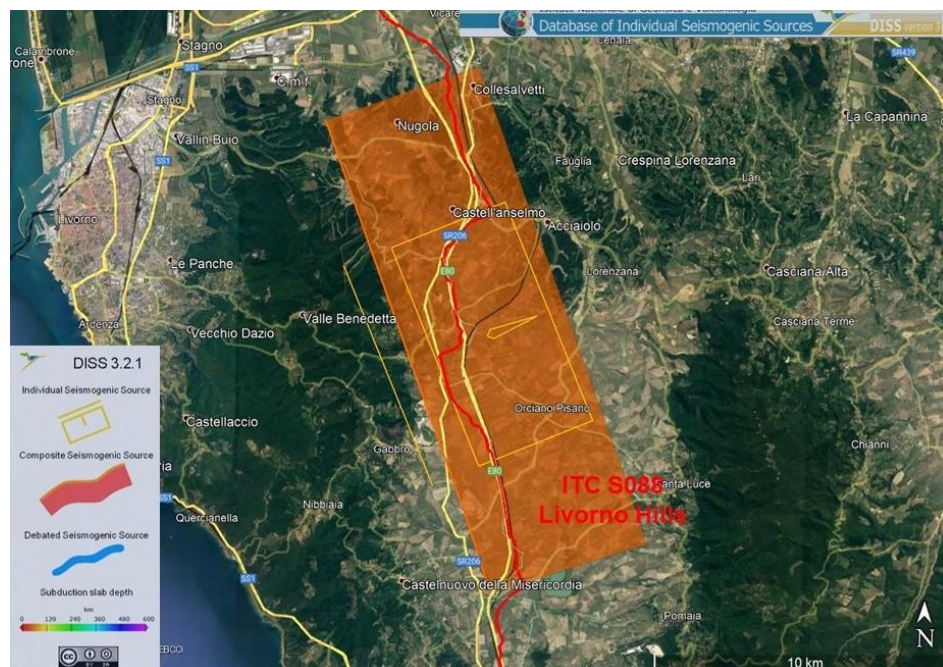
Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024



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

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 in progetto (linea rossa).



**Fig. 4.2/C: Sorgenti sismogenetiche composite, in campo arancione, e sorgenti sismogenetiche individuali, perimetrare in giallo (DISS v. 3.3.0). La linea rossa rappresenta il metanodotto in progetto.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 18 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Come evidenziato dalla Figura 4.2/C, il metanodotto in progetto interseca una zona sismogenetica composta e una sorgente individuale.

I parametri che caratterizzano la sorgente composta sono descritti nella Tabella seguente.

**Tab. 4.2/A: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta di ITC S088**

Codice	ITC S088
Nome	Livorno Hills
Minima profondità (km)	1.0
Massima profondità (km)	7.0
Strike (deg)	330 - 350
Dip (deg)	40 - 60
Rake (deg)	260 - 280
Slip rate (mm/y)	0.1 - 1.0
Massima magnitudo	5.7

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.

Come evidenziato dalla Figura 4.2/C, il metanodotto in progetto interseca n.1 sorgente sismogenetica (perimetro giallo) riportata nel database DISS (v. 3.2.1) come *sorgente sismogenetica individuale*. Queste zone sorgente sono rappresentate da principali linee tettoniche (faglie attive), per le quali esistono evidenze sismologiche e geologiche di possibile attivazione.

Sebbene questa faglia attiva sia considerata nel catalogo come potenziale sorgente sismogenetica, ossia in grado di produrre terremoti, è da evidenziare che il processo di dislocazione lungo un piano di faglia non necessariamente raggiunge la superficie topografica e si manifesta con effetti quali deformazioni permanenti del terreno in occasione di un evento sismico.

Queste deformazioni (vedi Capitolo 6) possono potenzialmente costituire un elemento di rischio per una condotta solo se la faglia attiva risulta "capace", ossia in grado di raggiungere la superficie topografica provocando una frattura del terreno con dislocazioni significative.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 19 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La caratterizzazione sismica dell'azione sismica attesa lungo il territorio interessato dall'opera è stata definita considerando le norme attualmente in vigore (NTC 2018) e sulla base di indagini svolte lungo il tracciato (vedi Paragrafo 5.2).

### 5.1. Pericolosità sismica di base lungo il tracciato

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

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

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

- **a<sub>g</sub>**: accelerazione orizzontale massima al bedrock con superficie topografica orizzontale;
- **F<sub>0</sub>**: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro elastico di risposta in accelerazione orizzontale;
- **T<sub>c</sub>\***: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro elastico di risposta in accelerazione orizzontale.

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

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

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$ ) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 20 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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).

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 21 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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:

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

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

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

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

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

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

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

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno ( $T_R$ ) per i due stati limite in accordo alla seguente espressione (cfr. Par. 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):

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 22 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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.

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 23 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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

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

Sulla base dei dati *Digital Terrain Model* (DTM), ottenuti mediante rilievo aereo LIDAR realizzato lungo il corridoio di progetto, largo circa 3000 metri, 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 ( $S_T$ ) (cfr. Tab. 3.2.V delle NTC 2018), per ciascuna delle categorie topografiche definite in Tab. 5.2/A.

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

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	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. 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 tutta l'area interessata dal tracciato di progetto. In particolare, si è ottenuta la seguente suddivisione:

- Categoria topografica T1 (92,5%)
- Categoria topografica T2 (7,5%)

In diretta correlazione alla Tab. 3.2.V delle NTC 2018 (Fig. 2/H), sono stati definiti i seguenti coefficienti di amplificazione topografica ( $S_T$ ):

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 24 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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 caratterizzazione delle unità geologiche presenti lungo il tracciato in progetto è stata realizzata sulla base di mappe e informazioni geologiche, geomorfologiche disponibili (cartografia di base e letteratura tecnico-scientifica), integrate con informazioni ottenute da sopralluoghi, da risultati delle indagini geognostiche in sito (Rif. REL-CGD-E-03021; REL-GEO-E-03022).

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

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

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

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

con:

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

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

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



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 25 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

indirette di tipo MASW (N. 23 indagini) e una prova Downhole lungo il tracciato in progetto (Rif REL-GEO-E-03022)

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 l'ubicazione delle prove sismiche eseguite lungo il tracciato del metanodotto in progetto.



**Fig. 5.2/A: Ubicazione delle prove sismiche MASW eseguite lungo il tracciato del metanodotto 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-D-03207). L'ubicazione delle prove sismiche eseguite è riportata nell'Allegato 4.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 26 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**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>Rif. Met. Livorno-Piombino</b>					
<b>DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>					
LP-A-M01	0.11	Pianura	Depositi alluvionali	196	C
LP-A-M01a	1.77	Pianura	Depositi alluvionali	236	C
LP-A-M02	1.91	Pianura	Depositi alluvionali	224	C
LP-A-M03	3.59	Fondovalle	Depositi alluvionali	273	C
LP-A-M04	13.19	Sommità collina	Formazione argillosa	398	B
LP-A-M05	15.49	Versante	Deposito di frana	491	B
LP-A-M06	21.48	Fondovalle	Depositi alluvionali	276	C
LP-A-M07	23.42	Versante	Formazione argillosa	410	B
LP-A-M08	27.27	Fondovalle	Depositi alluvionali	298	C
LP-A-M09	28.54	Versante	Formazione argillosa	420	B
LP-A-M10	30.28	Sommità collina	Formazione argillosa	422	B
LP-A-M11	37.89	Fondovalle	Depositi alluvionali	417	B
LP-A-M12	39.82	Fondovalle	Depositi alluvionali	268	C
LP-A-M13	54.77	Pianura	Depositi alluvionali	272	C
LP-A-M14	56.72	Pianura	Depositi alluvionali	357	C
LP-A-M15	59.78	Pianura	Depositi lagunari e palustri	313	C
LP-A-M16	61.50	Pianura	Depositi alluvionali	355	C
LP-A-M17	65.90	Fondovalle	Depositi alluvionali	410	B
LP-A-M17a	66.91	Versante	Depositi sabbiosi addensati	359	C
LP-A-M19	75.16	Pianura	Depositi lagunari e palustri	246	C
LP-A-M20	75.53	Pianura	Depositi lagunari e palustri	253	C
LP-A-M21	77.52	Pianura	Depositi alluvionali	265	C
LP-A-M22	84.23	Pianura	Depositi alluvionali	286	C

Come si può osservare dalla Tab. 5.2/F, le velocità equivalenti registrate dalle MASW variano da un minimo di 196 m/s ad un massimo di 422 m/s. Dai dati ottenuti si può affermare che, ai fini delle NTC 2018, le categorie di sottosuolo dei siti indagati ricadano tra la C e la B. A queste, occorre aggiungere una parte di terreni con affioramenti rocciosi rilevati nel corso dei sopralluoghi tecnici e che ricadono nella categoria A.

I risultati delle prove sismiche eseguite e dei rilievi tecnici sono stati estesi alle unità litotecniche corrispondenti presenti nell'area interessata dal tracciato di progetto. Pertanto, al termine dell'analisi per la definizione delle categorie di sottosuolo, a tutte le unità litotecniche presenti lungo il tracciato sono state assegnate le corrispondenti categorie. In particolare, si è ottenuta la seguente suddivisione:

- Categoria di sottosuolo A (4,6%)
- Categoria di sottosuolo B (18,2%)
- Categoria di sottosuolo C (77,2%)

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".

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 27 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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

$$S = S_s \cdot S_T$$

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:

- $a_g = 0.05 \div 0.175$  g per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni)

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 28 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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 = 0.068 ÷ 0.301 g** 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:

- ag: accelerazione di picco attesa al substrato rigido (espressa in g);
- S: fattore di risposta sismica locale;
- T<sub>c</sub>: 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<sub>c</sub>\* definito, insieme al valore di a<sub>g</sub>, per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2008);
- C<sub>c</sub> un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.IV delle NTC 2018, riportata in Tab. 6/G).

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

- **PGV = 0.043 m/s (PGA 0.068 g) ÷ 0.209 m/s (PGA 0.301 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> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 29 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**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>						
Met. Livorno - Piombino	750 (30")	84,24	<b>0,135</b>	<b>0,088</b>	<b>0,301</b>	<b>0,209</b>
<b>Allacciamenti</b>						
Ricollegamento All. Rosen Rosignano	400 (16")	0,785	<b>0,098</b>	<b>0,064</b>	<b>0,281</b>	<b>0,161</b>
Variante inserimento PIDI su met. Rosen Rosignano	400 (16")	0,080	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Nuova Der. All. Rosen Rosignano	250 (10")	0,820	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Solvay Rosignano	150 (6")	0,065	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Solvay chimica Rosignano	150 (6")	0,055	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Comune di Rosignano	100 (4")	0,025	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Tirrenomet.	100 (4")	0,770	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>

Le verifiche degli stati tensionali indotti dallo scuotimento sismico del terreno (*ground shaking*) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni interrato 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> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 30 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 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.

Si rileva che l'area interessata dai lavori per la realizzazione dell'opera in esame non presenta interferenze con nessuna delle faglie capaci censite nel database (Fig. 6.1/A). La distanza con la struttura tettonica più prossima al tracciato è superiore agli 8 km.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 31 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024



Fig. 6.1/A: Faglie attive e capaci presenti nel Database ITHACA

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 32 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 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.

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 nella relazione REL-SIS-E-03023, alla quale si rimanda per ogni considerazione in merito.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 33 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 8. ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE

Nel presente studio la valutazione della potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto è stata eseguita su due livelli di analisi: una prima analisi areale, per individuare le zone dove si riscontrano fattori che potenzialmente potrebbero dar luogo a fenomeni di liquefazione dei terreni (Par. 8.4); una seconda analisi finalizzata ad una verifica di dettaglio della suscettibilità a liquefazione dei terreni per le aree identificate nella prima fase (Par. 8.5).

Questo approccio è necessario a causa dell'elevato sviluppo lineare dell'infrastruttura. In questo capitolo è stata eseguita una analisi preliminare per caratterizzare la suscettibilità del territorio interessato dall'opera a fenomeni di liquefazione dei terreni.

La storicità sismica dell'area 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 liquefazione associati ai principali eventi sismici registrati nella zona, come riportato nel paragrafo 8.1.

L'individuazione delle aree è stata quindi svolta sulla base degli studi di Microzonazione Sismica. La Microzonazione Sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (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, come la liquefazione. I risultati dello studio delle interferenze del tracciato con gli studi di microzonazione sono riportati nel paragrafo 8.2.

La cartografia di Microzonazione Sismica dei comuni interessati non è tuttavia completa per l'intero territorio attraversato dal tracciato. Alcune aree non sono state caratterizzate nelle carte MOPS per assenza di informazioni (cfr. aree "No Data" nelle carte MOPS). Pertanto, in questo studio la verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni affioranti è stata estesa anche alle aree "No Data" delle carte MOPS attraversate dall'opera. Lo studio di tali aree è stato eseguito seguendo le 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).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 34 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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).



**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.

Infatti, gli unici punti censiti in prossimità del tracciato sono ubicati nei Comuni di Fauglia e Lorenzana, ma ad una distanza di circa 1 km.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 35 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 8.2. Aree coperte da 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 sufficientemente 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 possono essere effettuati a livelli di dettaglio crescenti, passando dal livello 1 (analisi areale o preliminare), fino al livello 3 (analisi o verifica di dettaglio al 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 (zone instabili suscettibili di amplificazioni locali) 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 metodologia semplificate.

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

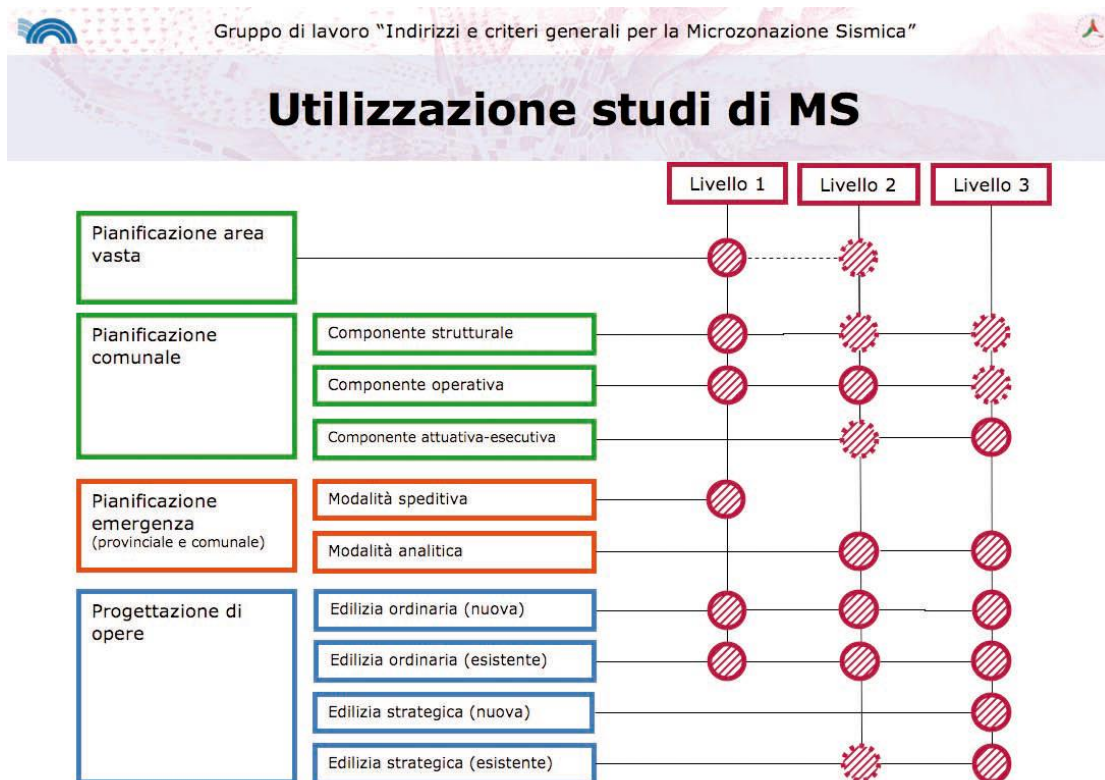
- pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli d'intervento, gli studi di MS sono condotti su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini, o prevedono l'uso ai fini di Protezione Civile.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 36 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

- 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.
- 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 transienti (es: possibili amplificazioni dello scuotimento legate alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area), o permanenti (es: fenomeni di instabilità di versante o di deformazione superficiale).

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).**

Pertanto, 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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 37 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

espansione, mentre il resto del territorio non è stato caratterizzato o al massimo presenta un'analisi di Livello 1.

La progettazione di tracciati di gasdotti predilige aree lontane da centri abitati e, infatti, da una verifica degli studi di MS preparati dai comuni interessati dal tracciato in progetto non risultano disponibili studi di Livello 2 e 3, ma solo studi areali di Livello 1 (Vedi Tab. 8.2/A e Fig. 8.2/B).

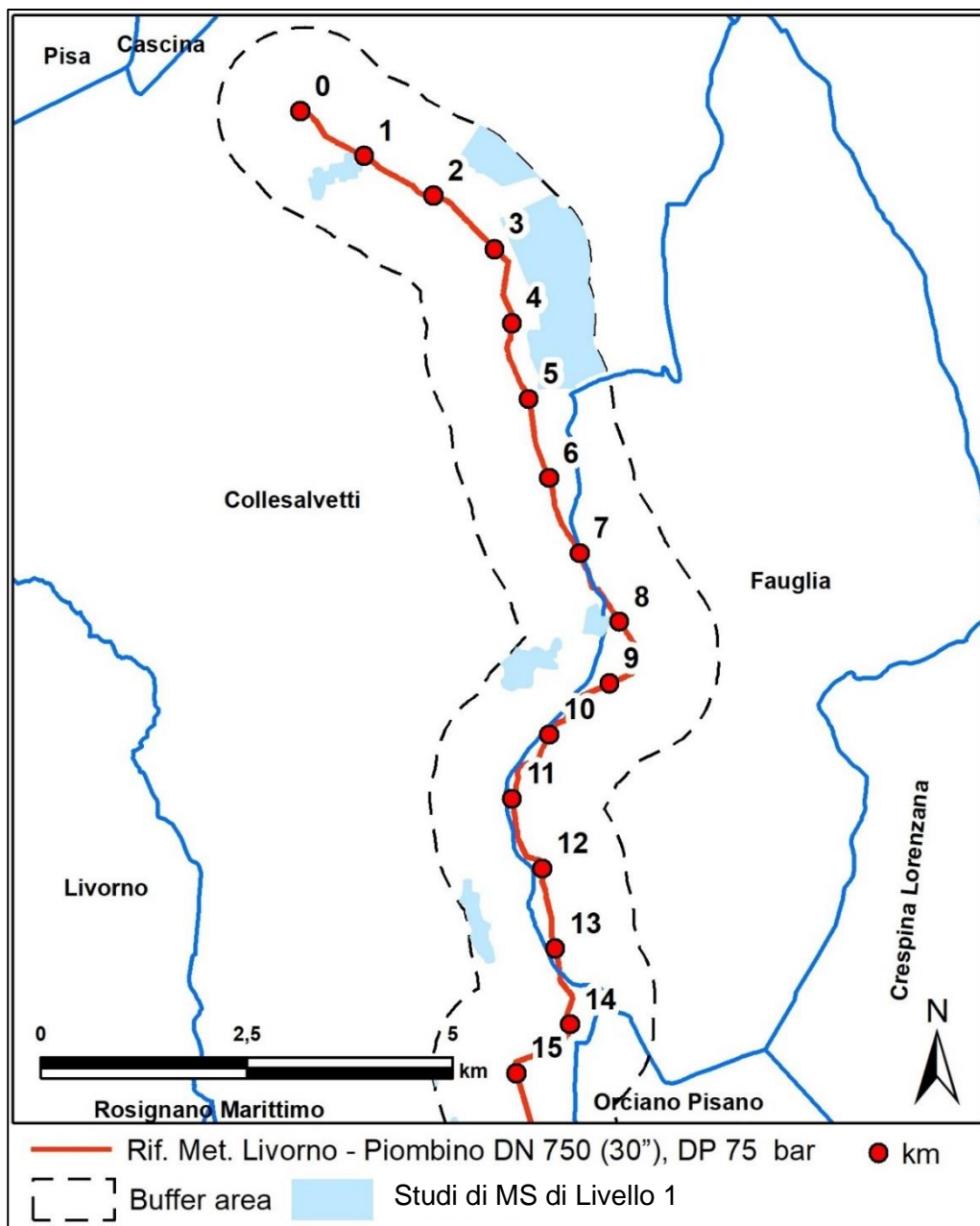


Fig. 8.2/B: Copertura degli studi di MS di Livello 1 nel Comune di Collesalvetti

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 38 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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

Comuni	Provincia	MS Livello 1
Collesalveti	Livorno	x
Rosignano M.mo	Livorno	x

Le aree MOPS presenti negli studi di microzonazione sismica disponibili per i comuni attraversati (Collesalveti e Rosignano Marittimo) non interferiscono con il tracciato in progetto (Fig. 8.2/B).

### 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 presenti in queste aree ("No Data") 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 (NTC12, 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> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 39 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**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	Suscettibilità 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> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 40 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**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 interdunari	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.

Criteria NTC18 (Par. 7.11.3.4.2)

Le NTC 2018 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:

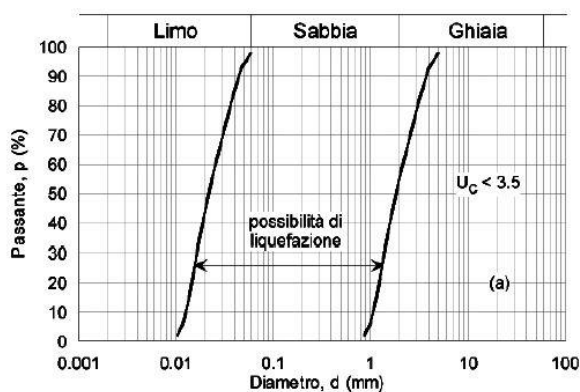
- [1] accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- [2] profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- [3] depositi costituiti 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/A (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e in Fig. 8.3/A (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



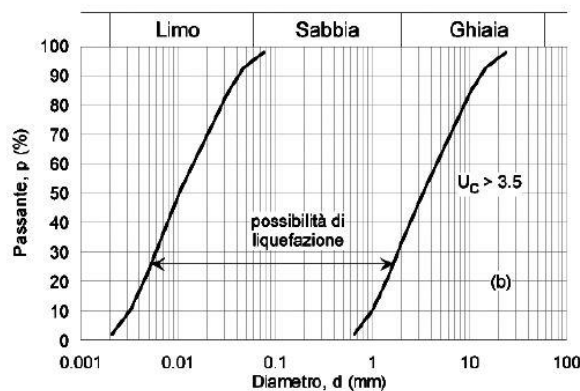
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 41 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

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/A: 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

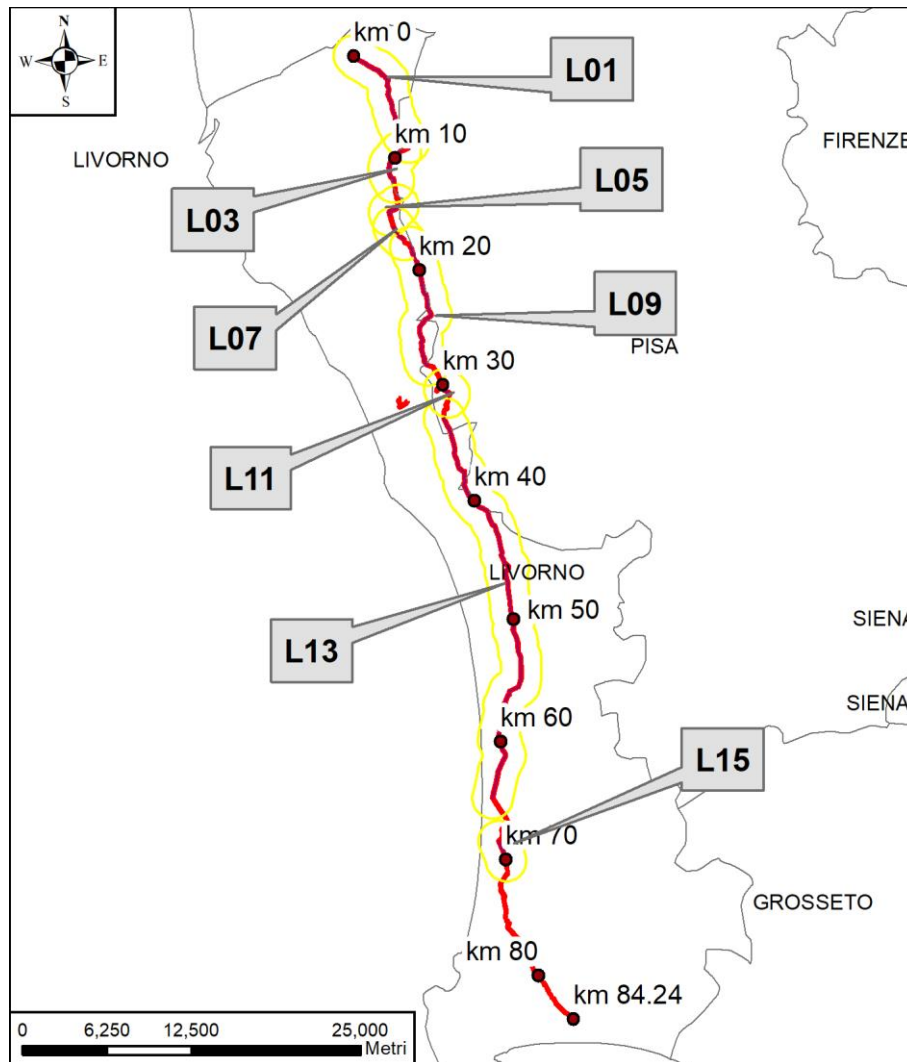
La caratterizzazione areale di primo livello della suscettibilità a liquefazione dei terreni presenti nelle aree interessate dall'opera in progetto non coperte da studi di MS è stata eseguita applicando le linee guida (Linee guida ICSM 2017) e verificando i criteri di esclusione (NTC18) indicati nel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

L'attribuzione delle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche è stata realizzata considerando i dati di progetto disponibili (rif. REL-CGD-E-03021, REL-GEO-E-03022, REL-SIS-E-03023, REL-CI-E-03027), e in base ai dati litologici, morfologici, idrogeologici e sismici presenti in letteratura.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 42 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

L'intero tracciato è stato quindi suddiviso in tratti che possono essere considerati omogenei dal punto di vista della suscettibilità a liquefazione (Fig. 8.4/A).



**Fig. 8.4/A: Tratti soggetti a verifica**

In particolare, le tabelle sottostanti, forniscono le caratteristiche dei tratti della linea principale rispettivamente soggetti (Tab. 8.4/A) ed esclusi dalla verifica a liquefazione (Tab. 8.4/B).

Per quanto riguarda la suscettibilità a liquefazione delle linee secondarie in progetto (allacciamenti), la Tabella 8.4/C specifica che solamente il Ricollegamento All. Rosen Rosignano può essere escluso dalla verifica a liquefazione.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 43 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Tab. 8.4/A: Tratti soggetti a verifica**

ID Tratto	Da km	A km	PGA	Superficie piezometrica	Morfologia	Litologia	Indagini geognostiche
L01	0	8,75	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	BH + CPTU
L03	9,3	12,2	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	BH + CPTU
L05	14	15,2	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	BH + CPTU
L07	16,1	17,35	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	BH + CPTU
L09	18,1	28	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	BH + CPTU
L11	30,4	31,2	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	CPTU
L13	33	64,6	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle + Ondulata	Depositi alluvionali	BH + CPTU
L15	68,5	70,1	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	BH + CPTU

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

ID Tratto	Da km	A km	PGA	Superficie piezometrica	Morfologia	Litologia	Criteri di esclusione *
L02	8,75	9,3	>0,1 g	> 15 metri	Collinare	Formazioni argillose	[2] + [4]
L04	12,3	14	>0,1 g	> 15 metri	Collinare	Formazioni argillose	[2] + [4]
L06	15,25	16,1	>0,1 g	> 15 metri	Collinare	Formazioni argillose	[2] + [4]
L08	17,35	18,1	>0,1 g	> 15 metri	Collinare	Formazioni argillose	[2] + [4]
L10	28	30,4	>0,1 g	> 15 metri	Ondulata	Formazioni argillose	[2] + [3] + [4]
L12	31,2	33	>0,1 g	> 15 metri	Ondulata	Formazioni argillose	[2] + [4]
L14	64,6	68,5	>0,1 g	> 15 metri	Collinare	Formazioni argillose e rocciose	[2] + [4]
L16	70,1	84,24	<0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	[1]

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

**Tab. 8.4/C: Altre linee in progetto**

Denominazione	PGA	Superficie piezometrica	Morfologia	Litologia	Criteri di esclusione *
Ricollegamento All. Rosen Rosignano	>0,1 g	> 15 metri	Collinare	Formazioni argillose	[2] + [4]
Variante inserimento PIDI su met. Rosen Rosignano	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	Da verificare
Nuova Der. All. Rosen Rosignano	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	Da verificare
Rif. All. Solvay Rosignano	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	Da verificare
Rif. All. Solvay chimica Rosignano	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	Da verificare
Rif. All. Comune di Rosignano	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	Da verificare
Rif. All. Tirrenomet.	>0,1 g	0-15 metri	Fondovalle	Depositi alluvionali	Da verificare

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 44 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Nei casi in cui nessuno dei criteri sopra indicati sia soddisfatto e il terreno in fondazione comprende strati o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, è stata eseguita la verifica a liquefazione secondo i metodi indicati nel prossimo paragrafo.

### 8.5. Metodo di analisi delle aree soggette a verifica

Come richiesto dalla normativa vigente (Rif. 7.11.3.4.3 NTC2018) per le aree soggette potenzialmente suscettibili di liquefazione è necessario ricorrere alla valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. La verifica può essere effettuata con metodologie semplificate di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

Nel presente studio, la resistenza alla liquefazione è stata valutata sulla base dei risultati di prove in sito, mentre la sollecitazione indotta dall'azione sismica è stata stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione e della magnitudo massime attese. La valutazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni affioranti è stata eseguita in accordo ai requisiti riportati nella normativa vigente (NTC 2018).

La valutazione del potenziale di liquefazione è stata eseguita utilizzando il software dedicato LiqIT v.4.7.7.5 (*GeoLogismiki – Geotechnical Software*) che ha permesso di analizzare i risultati delle prove dinamiche standard (SPT) in foro di sondaggio e delle prove penetrometriche statiche (CPT), facendo riferimento ad approcci di tipo deterministico-probabilistico. In particolare, è stata seguita la procedura proposta dal NCERR (Youd et al., 2001) relativamente al calcolo dei CRR e CSR (*Cyclic Resistance Ratio & Cyclic Stress Ratio*), MSF (*Magnitude Scale Factor*) e  $K\sigma$  (*Overburden Correction Factor*); Liao & Whitman (1986) per il calcolo del Rd (*Stress Reduction Factor*) e Idriss & Seed (1982) per la correzione della frazione fine.

Il risultato che si ottiene è il Fattore di Sicurezza (FS) alla liquefazione, che rappresenta il rapporto tra la resistenza alla liquefazione del terreno ed il carico indotto dal sisma, espressi in base al rapporto di tensione di taglio ciclica. Esso indica la suscettibilità alla liquefazione dei terreni investigati:

$$FS = CRR_M / CSR$$

Se FS risulta maggiore di 1 il potenziale di liquefazione viene considerato trascurabile. Nel caso in cui il coefficiente FS risulti inferiore a 1, si procede con il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione ( $I_L$ ) basato sul metodo di Iwasaki et al. (1982) e definito come:

$$I_L = \int_0^{20} F(z) \times w(z) \times dz$$

dove:  $F(z)$  = funzione del fattore di sicurezza;  
 $w(z)$  = spessore del suolo tra i vari intervalli registrati dalla prova;  
 $dz$  = incremento differenziale della profondità.

Esso si divide in cinque classi di pericolosità proposte nella Tab. 8.5/A Tab. 8.5/A sottostante:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 45 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Tab. 8.5/A: Classi di potenziale di liquefazione e suscettibilità a liquefazione secondo Iwasaki et al. (1982).**

$I_L$	Suscettibilità a liquefazione
$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 5$	Poco probabile
$5 < I_L \leq 15$	Probabile
$I_L > 15$	Certa

### 8.5.1. Tratto L01 (KM 0-8,75)

#### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa in un territorio caratterizzato da una morfologia quasi completamente pianeggiante all'interno di depositi alluvionali prevalentemente argillosi appartenenti al bacino del Torrente Tora e del Torrente Morra.

Il territorio appartiene ai comuni di Collesalveti (LI) e, per la parte finale, Fauglia (PI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/B) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/B: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
BH	LP-A-B01	0	20	-			6
BH	LP-A-B01a	1,7	15	3,40	1,55 – 2	9	3
					3 – 3,45	13	
BH	LP-A-B02	1,9	15	3,35	1,5 – 1,95	10	3
					3 – 3,45	12	
CPTU	LP-A-C02	2,2	15	-	-	-	-
BH	LP-A-B03	2,35	20	-	15,45 – 15,9	30	5
BH	LP-A-B04	2,45	20	-			5
BH	LP-A-B05	3,3	15	8,7			5
BH	LP-A-B06	3,6	15	13,5	3 – 3,45	13	3
					4,55 – 5	16	
CPTU	LP-A-C03	3,6	15	-	-	-	-

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 46 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Tipo	ID	km	Profondità	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine		(m)		z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-A-C04	4,85	15	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C06	7,2	15	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C07	7,5	15	-	-	-	-
BH	LP-A-B07	7,7	15	12,8			5
BH	LP-A-B08	7,85	15	2,65			5
BH	LP-A-B09	8,7	15	2,2			5

### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni prevalentemente argillosi su tutte le verticali rilevate. I terreni granulari sono presenti solamente nella porzione più superficiale di alcuni punti indagati. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per tutte le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/C) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

**Tab. 8.5/C: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C02	0,25	4,75	3,5	0	0
CPTU	LP-A-C03	0,25	4,75	13,5	0	0
CPTU	LP-A-C04	0,25	4,76	7,5	0	0
CPTU	LP-A-C06	0,25	4,76	7,5	0	0
CPTU	LP-A-C07	0,25	4,76	7,5	0	0

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L01 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

### **8.5.2. Tratto L03 (KM 9,3-12,2)**

#### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa in un territorio caratterizzato da una morfologia quasi completamente pianeggiante all'interno di depositi alluvionali prevalentemente argillosi appartenenti al bacino del Torrente Morra e del Rio Rimazzano.

Il territorio appartiene ai comuni di Collesalveti (LI) e Fauglia (PI).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 47 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/D) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/D: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
BH	LP-A-B11	9,3	10	-	3 – 3,45	13	2
CPTU	LP-A-C08	10,75	10	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C09	10,95	9,5	-	-	-	-
BH	LP-A-B11a	11,85	15	-	3 – 3,45	40	3
CPTU	LP-A-C10	12,15	9,6	-	-	-	-

### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni prevalentemente argillosi su tutte le verticali rilevate. I terreni granulari sono presenti solamente nella porzione più superficiale di alcuni punti indagati. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per tutte le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/E) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

**Tab. 8.5/E: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C08	0,25	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C09	0,25	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C10	0,25	4,76	1	0	0,2

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L03 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 48 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

### 8.5.3. Tratto L05 (KM 14-15,2)

#### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa lungo il fondovalle del Fosso Cunella, nel territorio appartenente al comune di Collesalveti (LI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/F) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/F: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-A-C11	14,85	8,4	-	-	-	-
BH	LP-A-B14	15,15	10	-	-	-	3

#### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni prevalentemente argillosi. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per la CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/G) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

**Tab. 9.3/G: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C11	0,25	4,75	1	0	0

Si osserva che le verifiche eseguite lungo il tratto L05 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 49 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

#### 8.5.4. Tratto L07 (KM 16,1-17,35)

##### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa lungo il fondovalle del Torrente Savalano, nel territorio appartenente al comune di Collesalveti (LI).

##### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo.

La tabella sottostante (Tab. 8.5/H) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/H: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
BH	LP-A-B16	16,1	10	-	-	-	3
CPTU	LP-A-C12	17,2	6,75	-	-	-	-

##### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni prevalentemente argillosi. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per la CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/I) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

**Tab. 8.5/I: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C12	0,25	4,76	1	0	0

Si osserva che le verifiche eseguite lungo il tratto L07 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 50 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

### 8.5.5. Tratto L09 (KM 18,1-28)

#### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa in un territorio caratterizzato da una morfologia quasi completamente pianeggiante all'interno di depositi alluvionali prevalentemente argillosi appartenenti al bacino del Torrente Savalano e del Fiume Fine.

Il territorio appartiene ai comuni di Rosignano Marittimo (LI) e Santa Luce (PI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/L) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/L: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-A-C13	18,8	13	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C14	21,8	9,2	-	-	-	-
BH	LP-A-B17	23,4	15	-	1,5 – 1,95	46	2
					3 – 3,45	50	
					7,5 – 7,95	63	
BH	LP-A-B18	26,45	15	13,4			5
BH	LP-A-B19	27,3	15	-			4
BH	LP-A-B20	27,5	15	-			5

#### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni prevalentemente argillosi su tutte le verticali rilevate. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/M) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 51 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Tab. 8.5/M: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C13	0,25	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C14	0,24	4,77	1	0	0

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L09 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

### 8.5.6. Tratto L11 (KM 30,4-31,2)

#### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto attraversa i depositi alluvionali prevalentemente argillosi in prossimità del Botro del Caricatoio e del Botro del Gonnellino, nel territorio appartenente al comun di Castellana Marittima (PI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/N) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/N: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	Km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-A-C15	30,8	2	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C16	31,15	6,2	-	-	-	-

#### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per entrambe le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/O) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 52 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Tab. 8.5/O: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C15	0,24	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C16	0,19	4,76	5	0	0

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L11 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

### 8.5.7. Tratto L13 (KM 33-64,6)

#### Descrizione dell'area

Questo tratto ha una lunghezza di oltre 31 chilometri. Tuttavia, le caratteristiche geologiche e geomorfologiche possono essere considerate piuttosto omogenee.

Infatti, il territorio si estende dalla piana costiera alla base dei rilievi collinari che si sviluppano paralleli alla linea di costa ed è caratterizzato da una morfologia quasi completamente pianeggiante o blandamente ondulata.

La litologia è costituita da depositi alluvionali sabbioso argillosi o da sedimenti lagunari a granulometria generalmente fine.

Il territorio appartiene ai comuni di Cecina (LI), Bibbona (LI) e Castagneto Carducci (LI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo.

La tabella sottostante (Tab. 8.5/P) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/P: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-A-C17	33,8	4	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C17a	34,6	15	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C17b	35,1	1	-	-	-	-
BH	LP-A-B26	34,75	15	-	3 – 3,45	52	
					6 – 6,45	23	
					9 – 9,45	27	
					12 – 12,45	30	
					15 – 15,03	Rif.	
CPTU	LP-A-C18	35,65	4,3	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C19	36,65	8,9	-	-	-	-

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 53 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
BH	LP-B-B27	37,85	15	-	3 - 3,45	27	1
					4,55 - 5	29	
					8 - 8,45	21	
					12 - 12,45	58	
BH	LP-B-B28	38,35	15	-	6 - 6,45	34	1
					9 - 9,45	71	
					12 - 12,45	82	
					14,55 - 15	38	
BH	LP-B-B29	38,9	15	-	3 - 3,45	21	1
					6 - 6,05	Rif.	
					9 - 9,1	Rif.	
					14,55 - 15	29	
BH	LP-B-B30	39,15	15	-	6 - 6,45	40	3
					12 - 12,45	46	
BH	LP-B-B31	39,55	15	-	6 - 6,45	41	3
					12 - 12,45	47	
BH	LP-B-B32	39,8	15	-	3 - 3,45	32	3
					7,5 - 7,95	38	
BH	LP-B-B32a	40,75	20	-	15 - 15,1	Rif.	4
					18 - 18,23	Rif.	
CPTU	LP-B-C19a	42,3	7,9	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C19b	42,4	7,1	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C20	43,15	1,8	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C20a	45,7	5,7	-	-	-	-
BH	LP-B-B33	46,15	20	-	3 - 3,45	16	1
					9 - 9,45	39	
					12 - 12,45	40	
					15 - 15,45	28	
					18 - 18,45	34	
CPTU	LP-B-C21	46,3	10	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C21a	46,75	12,2	-	-	-	-
BH	LP-B-B33a	46,9	25	-	6 - 6,45	24	3
					12 - 12,45	29	
					18 - 18,45	40	
					21 - 21,45	28	
					24 - 24,45	25	
CPTU	LP-B-C21b	47,1	9,4	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C22	48,9	13,9	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C22a	50,5	11,7	-	-	-	-



PROGETTISTA

COMMESSA  
NR/20049UNITA'  
000

LOCALITA'

REGIONE TOSCANA

REL-SIS-E-03024

PROGETTO / IMPIANTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO  
DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse

Fg. 54 di 63

Rev.  
0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
BH	LP-B-B34	51,2	20	7,4	5,7 – 6,15	15	1
					9 – 9,45	21	
					12,2 – 12,65	23	
					15 – 15,45	34	
					18 – 18,45	41	
CPTU	LP-B-C22b	51,75	11,7	-	-	-	-
BH	LP-B-B34a	52,1	25	-	3 – 3,45	14	1
					6 – 6,45	27	
					9 – 9,45	32	
					12 – 12,45	38	
					15 – 15,45	41	
					21 – 21,12	Rif.	
24 – 24,45	49						
CPTU	LP-B-C22c	52,2	9	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C23	54,15	5,9	-	-	-	-
BH	LP-B-B35	54,65	20	7,4	6 – 6,45	26	1
					9 – 9,45	21	
					12 – 12,45	24	
					15 – 15,45	26	
					18 – 18,45	27	
					19,5 – 19,95	31	
BH	LP-B-B36	54,8	15	5,8	1,5 – 1,95	18	1
					3 – 3,45	23	
					7,6 – 8,05	26	
					12 – 12,45	40	
CPTU	LP-B-C24	56,2	12,8	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C25	56,75	15	-	-	-	-
BH	LP-B-B37	56,75	15	-	1,5 – 1,95	11	-
					3 – 3,45	16	
					4,5 – 4,95	26	
					7,5 – 7,95	33	
					12 – 12,45	34	
BH	LP-B-B37a	56,9	15	-	3 – 3,45	8	-
					6 – 6,45	11	
					9 – 9,45	14	
					12 – 12,45	16	
					15 – 15,45	18	
CPTU	LP-B-C26	57,25	12,8	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C27	58,25	14,5	-	-	-	-

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 55 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Tipo	ID	km	Profondità	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine		(m)		z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-B-C28	59,8	15	-	-	-	-
BH	LP-B-B38	59,8	15	-	1,5 – 1,95	25	-
					3 – 3,45	15	
					4,5 – 4,95	29	
					7,5 – 7,95	33	
					12 – 12,45	40	
CPTU	LP-B-C29	60,2	15	-	-	-	-
BH	LP-B-B39	60,3	15	-	3 – 3,45	23	2
					9 – 9,45	36	
					12 – 12,45	25	
CPTU	LP-B-C30	61,5	6,9	-	-	-	-
BH	LP-B-B40	61,5	15	-	1,5 – 1,95	50	-
					3 – 3,45	56	
					4,5 – 4,95	64	
					7,5 – 7,95	31	
					12 – 12,45	37	
CPTU	LP-B-C31	62,35	4	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C31a	62,7	3,75	-	-	-	-
BH	LP-B-B40a	62,9	25	-	3 – 3,45	23	3
					6 – 6,45	19	
					9 – 9,45	20	
					21 – 21,27	Rif.	
					24 – 24,20	Rif.	
CPTU	LP-B-C32	63,4	11,9	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C32a	63,7	2,7	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C32b	63,9	0,7	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C32c	64,2	6,8	-	-	-	-
CPTU	LP-B-C33	64,35	3	-	-	-	-

#### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

In generale, le indagini svolte mostrano la presenza di terreni granulari, prevalentemente sabbiosi sulla maggior parte delle verticali rilevate. Tuttavia, si tratta spesso di sabbie addensate mentre la falda è stata rinvenuta molto raramente. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per tutte le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/Q) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 56 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

**Tab. 8.5/Q: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C17	0,23	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C17a	0,23	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C17b	0,23	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C18	0,22	4,76	1	0	0
CPTU	LP-A-C19	0,22	4,76	1	0	0
CPTU	LP-B-C19a	0,20	4,78	6	0	0,1
CPTU	LP-B-C19b	0,20	4,78	6	0	0
CPTU	LP-B-C20	0,20	4,78	15	0	0
CPTU	LP-B-C20a	0,19	4,82	11	0	0
CPTU	LP-B-C21	0,19	4,82	10	0	0
CPTU	LP-B-C21a	0,18	4,82	10	0	0
CPTU	LP-B-C21b	0,18	4,82	10	0	0
CPTU	LP-B-C22	0,17	4,82	6,15	0	0
CPTU	LP-B-C22a	0,16	4,85	6,15	0	0
CPTU	LP-B-C22b	0,16	4,85	3,5	0	0
CPTU	LP-B-C22c	0,15	4,85	9	0	0
CPTU	LP-B-C23	0,14	4,85	4,50	0	0
CPTU	LP-B-C24	0,13	4,85	1	0	0
CPTU	LP-B-C25	0,13	4,85	1	0	0
CPTU	LP-B-C26	0,13	4,85	2	0	0
CPTU	LP-B-C27	0,13	4,85	3	0	0
CPTU	LP-B-C28	0,12	4,85	6,2	0	0
CPTU	LP-B-C29	0,12	4,85	10	0	0
CPTU	LP-B-C30	0,12	4,85	12	0	0
CPTU	LP-B-C31	0,11	4,85	15	0	0
CPTU	LP-B-C31a	0,11	4,85	15	0	0
CPTU	LP-B-C32	0,11	4,85	15	0	0
CPTU	LP-B-C32a	0,11	4,85	15	0	0
CPTU	LP-B-C32b	0,11	4,85	15	0	0
CPTU	LP-B-C32c	0,11	4,85	15	0	0
CPTU	LP-B-C33	0,11	4,85	15	0	0

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L13 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 57 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

### 8.5.8. Tratto L15 (KM 68,5-70,1)

#### Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto attraversa un territorio che si estende dalla piana costiera alla base dei rilievi collinari che si sviluppano paralleli alla linea di costa ed è caratterizzato da una morfologia quasi completamente pianeggiante o blandamente ondulata. La litologia è costituita da depositi alluvionali prevalentemente sabbioso argillosi.

L'intero tratto si sviluppa all'interno del comune di San Vincenzo (LI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/R) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/R: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	km	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine				z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-B-C36	68,75	5,9	-	-	-	-
BH	LP-B-B45	69,65	15	-	3,1 – 3,22	Rif.	2
					6 – 6,1	Rif.	
					12 – 12,45	59	
BH	LP-B-B45a	69,85	15	-	3 – 3,45	49	-
					6 – 6,1	Rif.	
					9 – 9,45	58	
CPTU	LP-B-C36a	70,15	2,3	-	-	-	-

#### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni granulari, prevalentemente sabbiosi molto addensati mentre la falda non è stata mai rinvenuta.

La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per entrambe le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/S) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 58 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Tab. 8.5/S: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-B-C36	0,1	4,92	15	0	0
CPTU	LP-B-C36a	0,1	4,92	15	0	0

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L11 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

### 8.5.9. Altre linee in progetto

#### Descrizione dell'area

I tracciati delle linee di progetto considerate attraversano la piana alluvionale del Fiume Fine, caratterizzata da un'alternanza di litologie coesive e granulari. L'intero tratto si sviluppa all'interno del comune di Rosignano Marittimo (LI).

#### Indagini geognostiche

Nell'area di studio sono state eseguite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione dei terreni e al riconoscimento delle litologie presenti nel sottosuolo. La tabella sottostante (Tab. 8.5/T) indica le caratteristiche principali delle indagini eseguite in questo tratto mentre per tutte le altre informazioni si rimanda alla relazione geotecnica (REL-GEO-E-03022).

**Tab. 8.5/T: Sintesi delle indagini geognostiche svolte.**

Tipo	ID	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		Campioni Indisturbati
	Indagine			z (m)	NSPT	N
CPTU	LP-A-C45	15	-	-	-	-
CPTU	LP-A-C46	16	-	-	-	-

#### Verifiche di liquefacibilità dei terreni

La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per entrambe le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.5/U) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 5).

Si precisa che i valori di PGA sono stati ricavati dal presente studio sismico e misurati nel punto di esecuzione dell'indagine, i valori di magnitudo (M) derivano dal grafico di disaggregazione reso disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre per quanto riguarda la profondità della falda sono indicati i valori rilevati nel corso dell'indagine o ricavati dallo studio idrogeologico.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 59 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**Tab. 9.3/U: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione**

Tipo	ID	PGA (g)	M	Falda da p.c. (m)	Indice di Liquefazione (LI)	Cedimenti (cm)
	Indagine					
CPTU	LP-A-C45	0,22	4,75	1	0	0
CPTU	LP-B-C46	0,22	4,75	1	0	0

Si osserva che tutte le verifiche eseguite nella zona di interesse indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 60 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi della pericolosità sismica (*seismic hazard*), che caratterizza il territorio nel quale si sviluppa il tracciato in progetto denominato "Rifacimento metanodotto Livorno - Piombino", DN 750 (30") - DP 75bar", è stata eseguita considerando i dati disponibili nei cataloghi ufficiali (es: INGV; ISPRA; etc.) e i dati acquisiti in sopralluoghi e campagne geognostiche realizzate durante questo studio.

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

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

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

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

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

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

- Categoria topografica T1 (92,5%)
- Categoria topografica T2 (7,5%)

Nelle nuove norme NTC 2018 la definizione dell'azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) in campo. Pertanto, sono state eseguite una serie di prove indirette (N. 22 indagini tipo MASW e un Downhole), 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 (4,6%)
- Categoria di sottosuolo B (18,2%)
- Categoria di sottosuolo C (77,2%)

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> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 61 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

**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>						
Met. Livorno - Piombino	750 (30")	84,24	<b>0,135</b>	<b>0,088</b>	<b>0,301</b>	<b>0,209</b>
<b>Allacciamenti</b>						
Ricollegamento All. Rosen Rosignano	400 (16")	0,785	<b>0,098</b>	<b>0,064</b>	<b>0,281</b>	<b>0,161</b>
Variante inserimento PIDI su met. Rosen Rosignano	400 (16")	0,080	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Nuova Der. All. Rosen Rosignano	250 (10")	0,820	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Solvay Rosignano	150 (6")	0,065	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Solvay chimica Rosignano	150 (6")	0,055	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Comune di Rosignano	100 (4")	0,025	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>
Rif. All. Tirrenomet.	100 (4")	0,770	<b>0,094</b>	<b>0,062</b>	<b>0,221</b>	<b>0,154</b>

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 interrate in occasione dell'azione sismica massima attesa e in concomitanza con l'esercizio dell'opera. Le verifiche sono state elaborate per tutti i diametri e gli spessori previsti per le condotte in esame, in accordo ai parametri meccanici riportati nel documento dello Studio di Impatto Ambientale (SIA).

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).

Si è quindi eseguito un primo livello di valutazione della pericolosità del tracciato rispetto all'interferenza con possibili Faglie Attive e Capaci (FAC).

Si rileva che l'area interessata dai lavori per la realizzazione dell'opera in esame non presenta interferenze con nessuna delle faglie capaci presenti in letteratura scientifica e censite nei database di riferimento (ITHACA).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 62 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

Infatti, la distanza con la faglia più prossima al tracciato è superiore agli 8 km.

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-03023). In questo studio è stata applicata una metodologia specifica per l'analisi areale della stabilità dei pendii interessati dall'opera in progetto.

I risultati indicano una bassa suscettibilità a franosità sismo-indotta.

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.

In accordo alle Linee guida ICSM (2017) e ai criteri delle NTC18 (paragrafo 7.11.3.4.2), sono state individuate le aree in cui i criteri di esclusione non erano soddisfatti. Queste aree sono state oggetto di verifica mediante le più recenti e consolidate metodologie di analisi.

In conclusione, l'analisi di suscettibilità a liquefazione indica che i terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto non sono liquefacibili.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-SIS-E-03024</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 63 di 63	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83024

## 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)).