

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 1 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

**Rifacimento derivazione per Porto Empedocle
 DN 300 (12"), DP 24 bar
 ed opere connesse**

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

| | | | | | |
|-------------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0 | Emissione | Onori | Nisii | Mattei | Giu. '22 |
| Rev. | Descrizione | Elaborato | Verificato | Approvato | Data |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 2 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 4 |
| 1.1. Documenti di Riferimento | 7 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 8 |
| 3. SISMICITÀ STORICA | 10 |
| 4. CARATTERIZZAZIONE SIMOGENETICA | 13 |
| 4.1. Zonazione Sismogenetica "ZS9" | 13 |
| 4.2. Sorgenti Sismogenetiche "DISS" | 15 |
| 5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA | 20 |
| 5.1. Pericolosità sismica di base lungo il tracciato | 20 |
| 5.2. Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato | 23 |
| 6. ANALISI DELLE INTERFERENZE CON FAGLIE ATTIVE E CAPACI | 31 |
| 6.1.1. Faglia "Porto Empedocle" | 32 |
| 6.1.2. Faglia "Realmonte" | 33 |
| 7. SUSCETTIBILITÀ DEI VERSANTI A FENOMENI DI INSTABILITÀ SIMOINDOTTA | 35 |
| 8. ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE | 37 |
| 8.1. Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio | 37 |
| 8.2. Studi di Microzonazione Sismica | 38 |
| 8.3. Analisi areale per l'identificazione dei tratti potenzialmente suscettibili a liquefazione | 44 |
| 8.4. Metodo di analisi delle aree soggette a verifica | 46 |
| 8.4.1. Tratto L03 (KM 8,7-13,2) | 47 |
| 8.4.2. Tratto L06 (KM 21,7-24,8) | 48 |
| 8.4.3. Tratto L13 (KM 0,55-1,05) | 50 |
| 9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 51 |
| 10. BIBLIOGRAFIA | 54 |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 3 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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 – VERIFICHE DELLE AREE POTENZIALMENTE LIQUEFACIBILI

ANNESI

ANNESSO 1 – VERIFICA A SCUOTIMENTO SISMICO

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 4 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

1. INTRODUZIONE

Il progetto denominato "Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle DN 300 (12"), DP 24 bar e opere connesse" prevede, come intervento principale, la messa in opera di una nuova condotta DN 300 (12") di lunghezza pari a 35,050 km, che sostituirà il gasdotto "Derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), MOP 24 bar" attualmente in esercizio e che verrà dismesso.

La nuova infrastruttura, in generale, garantirà un livello di sicurezza ottimale incrementando l'affidabilità e la flessibilità di trasporto della rete esistente.

Fanno parte del progetto in esame anche la messa in opera di 9 linee secondarie (Tab. 1/A) e la rimozione di 9 linee secondarie esistenti (Tab. 1/B).

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

| Denominazione metanodotto | DN (mm) | DP (bar) | Lunghezza (km) |
|--|------------|-------------|-------------------|
| Linea principale | | | |
| Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle | 300 | 24 | 35,050 |
| Linee secondarie | | | |
| Ricollegamento All.to Comune di Bompensiere | 150 | 24 | 1,770 |
| Rifacimento Diramazione per Agrigento | 150 | 24 | 4,045 |
| Rifacimento All.to Laterizi Akragas S.p.A. | 100 | 24 | 0,110 |
| Rifacimento All.to Comune di Agrigento | 100 | 24 | 1,240 |
| Rifacimento Collegamento Impianto Riduzione di Joppolo | 300 | 24 | 0,280 |
| Rifacimento Allacciamento Comune di Aragona | 150 | 24 | 0,050 |
| Ricollegamento Allacciamento Comune di Comitini | 100 | 24 | 0,030 |
| Rifacimento Allacciamento M&A Rinnovabili | 100 | 24 | 0,245 |
| Rifacimento Allacciamento Comune di Campofranco | 100 | 24 | 0,070 |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 5 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tab. 1/B – Linea principale e linee secondarie in dismissione

| Denominazione metanodotto | DN (mm) | MOP (bar) | Lunghezza (km) |
|--|------------|--------------|-------------------|
| Linea principale | | | |
| Derivazione per Porto Empedocle | 250 | 24 | 39,230 |
| Linee secondarie | | | |
| Derivazione per Bompensiere | 150 | 24 | 2,510 |
| Diramazione per Agrigento | 150 | 24 | 4,140 |
| All.to Laterizi Akragas S.p.A. | 100 | 24 | 0,030 |
| All.to Comune di Agrigento | 100 | 24 | 1,115 |
| Collegamento Impianto Riduzione di Joppolo | 200 | 24 | 0,275 |
| All.to Comune di Aragona | 150 | 24 | 0,030 |
| All.to Comune di Comitini | 100 | 24 | 0,010 |
| All.to M&A Rinnovabili | 100 | 24 | 0,010 |
| All.to Comune di Campofranco | 100 | 24 | 0,080 |

In particolare, il tracciato di progetto si sviluppa nei territori dei comuni di Campofranco, Casteltermini, Aragona, Joppolo Giancaxio, Raffadali, Agrigento, Porto Empedocle e le province interessate dal progetto sono quelle di Caltanissetta e di Agrigento.

La presente relazione è stata redatta per approfondire la caratterizzazione sismica del territorio interessato dal progetto. Lo studio descrive le caratteristiche sismiche delle aree interessate dai tracciati in progetto al fine di determinare (in accordo alla vigente normativa nazionale NTC18), le eventuali azioni sismiche a cui potrebbe essere soggetta l'infrastruttura in caso di evento sismico.

Sulla base delle azioni sismiche attese si verificano le risposte strutturali di ciascuna condotta in progetto rispetto al massimo scuotimento sismico atteso (rif. Annesso 1: "Verifica allo scuotimento sismico").

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

Tubazioni

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

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

La pressione di progetto, adottata per il calcolo dello spessore delle tubazioni, è pari a 24 bar.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 6 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tab. 1/C: Caratteristiche tecniche delle tubazioni

| Diametro nominale DN | Tensione ammissibile SMYS (N/mm ²) | Spessore minimo (mm) | Materiale (acciaio di qualità) |
|----------------------|--|----------------------|--------------------------------|
| DN 300 (12") | 360 | 7,1 | EN L360NB/MB |
| 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 3 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/D):

Tab. 1/D: Caratteristiche tecniche dei tubi di protezione

| Diametro nominale condotta (DN) | Diametro nominale tubo di protezione (DN) | Spessore (mm) | Materiale (acciaio di qualità) |
|---------------------------------|---|---------------|--------------------------------|
| DN 300 (12") | 450 | 11,3 | EN L415MB |
| DN 150 (6") | 250 | 7,8 | EN L360MB |
| DN 100 (4") | 200 | 7 | EN L360MB |

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-CuSO₄ 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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 7 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Per quanto riguarda la caratterizzazione del territorio interessato dall'opera in progetto rispetto ad una potenziale franosità dei versanti indotta da eventi sismici, in questo documento è stata analizzata la storicità del fenomeno riportata nei cataloghi tecnici disponibili. Una analisi areale della suscettibilità dei versanti a fenomeni di instabilità sismo-indotta lungo il corridoio di interesse del gasdotto in progetto è stata sviluppata in dettaglio nella relazione REL-SIS-E-03023.

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

La caratterizzazione dell'area è stata realizzata sulla base di informazioni disponibili da fonti ufficiali o da dati acquisiti in fase di progettazione. In particolare, le indagini geognostiche svolte lungo il tracciato in progetto sono state utilizzate per una parametrizzazione più approfondita delle caratteristiche litotecniche locali.

I risultati dello studio sono descritti in schede monografiche e riportati su mappe che identificano le eventuali zone lungo il tracciato che a valle di questa prima analisi risultano potenzialmente suscettibili, e che quindi potrebbero essere oggetto di una più accurata verifica nelle successive fasi progettuali.

In questo documento non sono riportate le caratteristiche generali dell'infrastruttura, pertanto, per eventuali approfondimenti si rimanda alla consultazione dello Studio di Impatto Ambientale (REL-SIA-E-03010).

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 |
| [6] | REL-SIA-E-03010 | Studio di Impatto Ambientale |
| [7] | PG-TPSO-D-03219 | Planimetria tracciato con punti di sondaggio |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 8 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 9 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 10 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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.

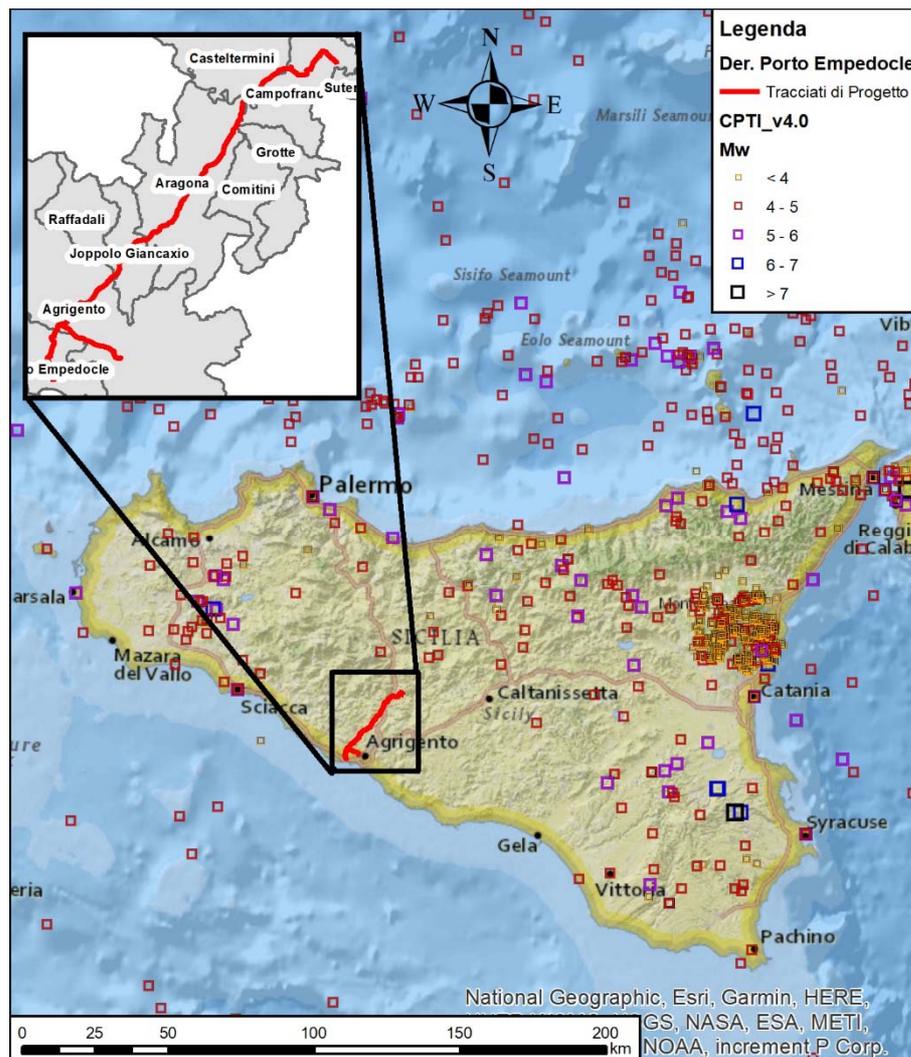


Fig. 3/A: Distribuzione dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: CPTI15)

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 11 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

La distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse estratti dal catalogo CPT115 (Fig. 3/A) e dal database DBMI15 (Fig.3/B) dimostra che la zona in studio è caratterizzata da una sismicità bassa, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo. Infatti, non si registrano terremoti all'interno dell'area di studio ma solamente gli effetti risentiti di eventi sismici provenienti da zone esterne ad essa.

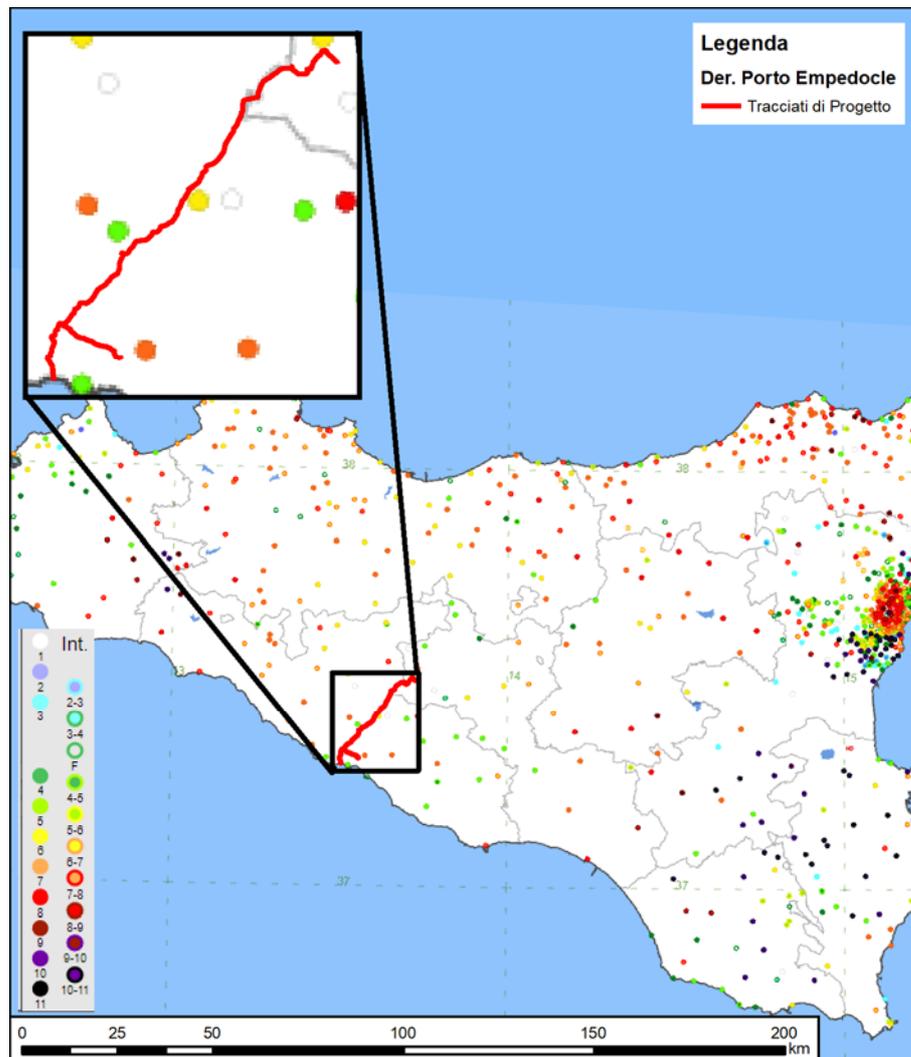


Fig. 3/B: Distribuzione delle registrazioni degli effetti risentiti dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: DBMI15)

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 12 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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

Tab. 3/A: Numero di eventi sismici risentiti

| ID Comune | Comune | Provincia | I _{max} | n. Eventi |
|--------------|-------------------|-----------|------------------|-----------|
| IT_67493 | Agrigento | AG | 7 | 23 |
| IT_67498 | Aragona | AG | 6 | 7 |
| IT_67587 | Bompensiere | CL | NF | 3 |
| IT_67615 | Campofranco | CL | 6 | 10 |
| IT_67522 | Casteltermini | AG | 7-8 | 12 |
| IT_67533 | Joppolo Giancaxio | AG | 5 | 3 |
| IT_67546 | Porto Empedocle | AG | 5 | 10 |
| IT_67555 | Realmonte | AG | 5 | 3 |
| IT_67647 | Sutera | CL | 7 | 6 |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 13 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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 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).

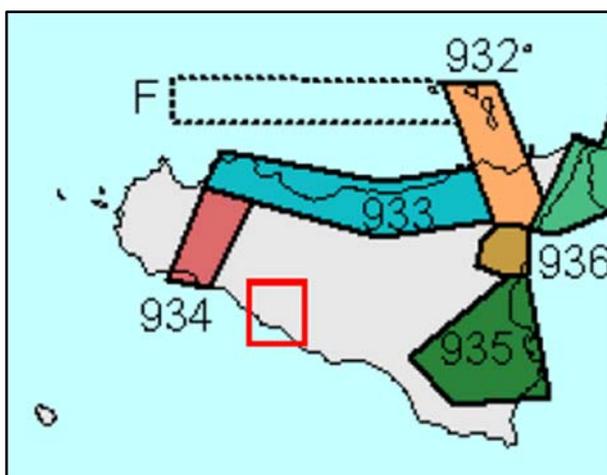


Fig. 4.1/A: Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero, il colore non è significativo (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro è evidenziata l'area interessata dal tracciato.

Si rileva che l'area in studio non risulta interessata direttamente da nessuna delle zone sismogenetiche presenti nel catalogo.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 14 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

La zona sismogenetica più prossima è l'area del Belice (racchiusa nella zona **934** che modifica la 77 di ZS4). La zona è caratterizzata da un'unica grande sequenza sismica, quella del gennaio 1968, ma le analisi geologiche svolte non forniscono dati conclusivi in merito alla geometria della sua sorgente. Infatti, le interpretazioni che vedono nel Belice una zona dell'avampese interessata da movimenti trascorrenti e che originano una struttura "a fiore", si contrappongono a quelle che ipotizzano un thrust cieco con direzione E-W e vergenza meridionale.

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 della Sicilia. La zona 934 è caratterizzata da profondità efficaci comprese nell'intervallo 8-12 km.

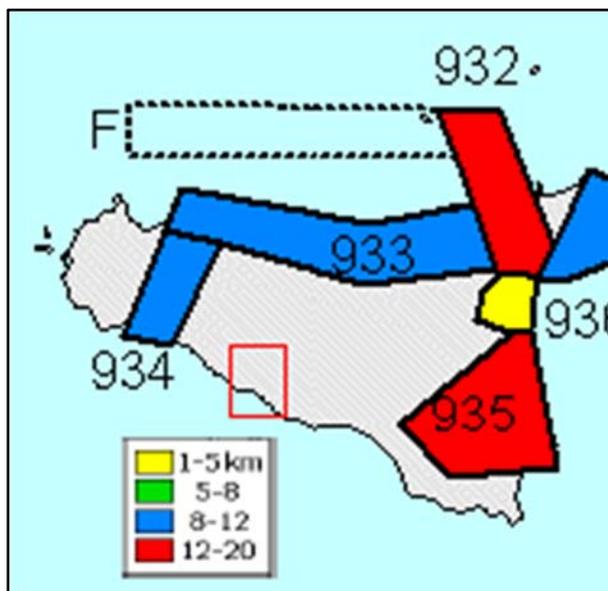


Fig. 4.1/B: Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro è evidenziata l'area interessata dal tracciato.

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 che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 15 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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.

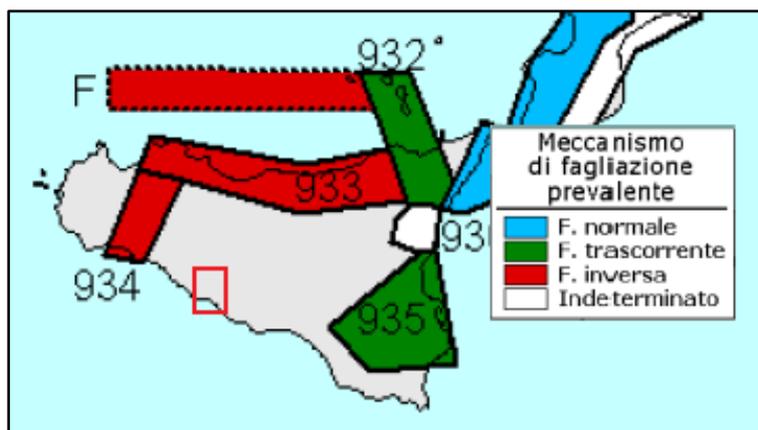


Fig. 4.1/C: Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro è evidenziata l'area interessata dal tracciato.

Per quanto riguarda la zona 934, il meccanismo focale medio calcolato e le interpretazioni sismotettoniche formulate non forniscono una soluzione univoca; per le peculiarità di questa area si è scelta il tipo di fagliazione che si traduce in valori di pericolosità più conservativi, quindi la faglia inversa.

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.

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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 16 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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.

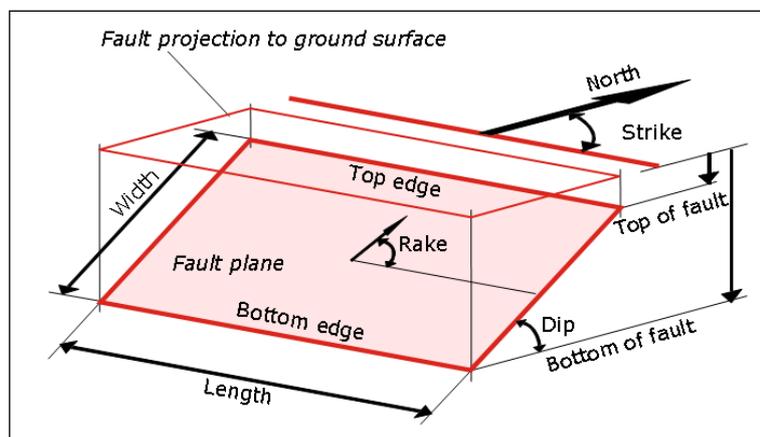


Fig. 4.2/A: Schematizzazione di sorgente sismogenetica individuale (DISS)

- 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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 17 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

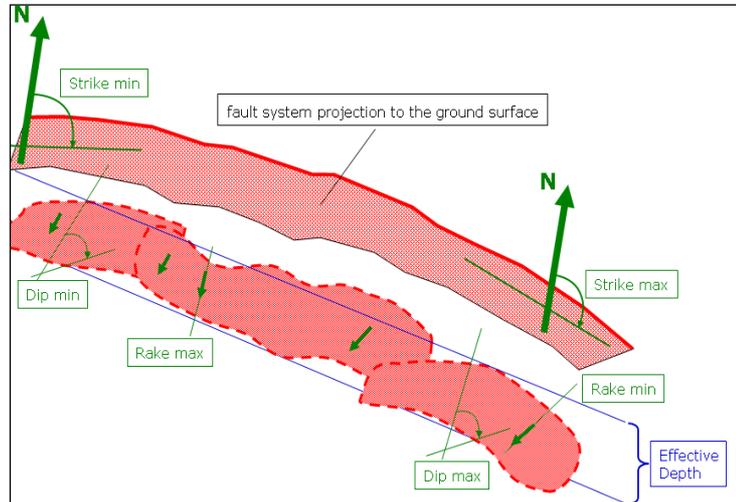


Fig. 4.2/B: Schematizzazione di sorgente sismogenetica composta (DISS)

- Sorgenti sismogenetiche "dibattute", ovvero faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziali sorgenti sismogenetiche, ma che non sono state considerate abbastanza affidabili da essere introdotte nel database.

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

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

Come evidenziato dalla Figura 4.2/C, il gasdotto in progetto interseca una zona sismogenetica composta (ITCS006).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 18 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

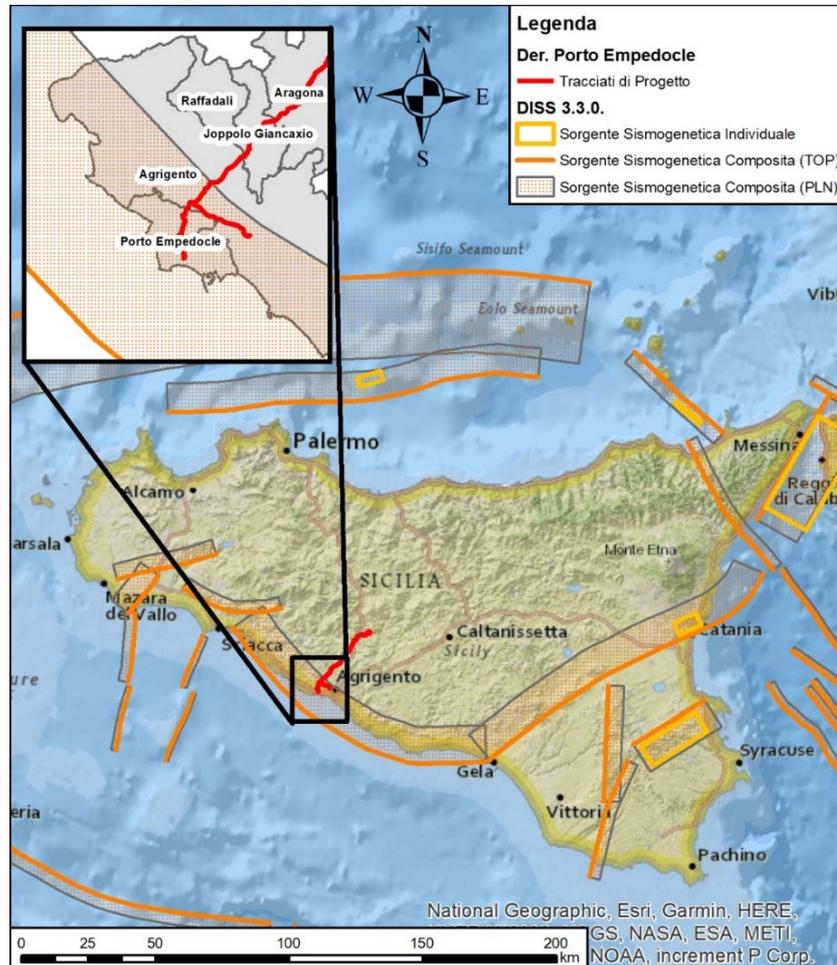


Fig. 4.2/C: Sorgenti sismogenetiche composite, in campo arancione, e sorgenti sismogenetiche individuali, perimetrare in giallo (DISS v. 3.3.0).

I parametri che caratterizzano la sorgente composta ITCS006 sono descritti nella Tabella seguente (Tab. 4.2/A).

Tab. 4.2/A: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta di ITCS006

| Codice | ITCS006 |
|----------------------------|----------------------|
| Nome | Sciaccia-Gela |
| Minima profondità [km] | 2.0 |
| Massima profondità [km] | 10.0 |
| Strike (min-max) [deg] | 260 - 320 |
| Dip (min-max) [deg] | 20 - 40 |
| Rake (min-max) [deg] | 75 - 125 |
| Slip rate (min-max) [mm/y] | 0.1 - 0.7 |
| Massima magnitudine [Mw] | 7.2 |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 19 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

È importante evidenziare che le sorgenti sismogenetiche composite comprendono un numero non specificato di sorgenti individuali, per cui la rottura attesa per terremoti è mal definita o sconosciuta.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 20 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La caratterizzazione dell'azione sismica attesa lungo il territorio interessato dall'opera è stata definita considerando le norme attualmente in vigore (NTC 2018) e sulla base di indagini svolte (PG-TPSO-D-03219) lungo il tracciato (vedi Paragrafo 5.2).

5.1. Pericolosità sismica di base lungo il tracciato

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

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

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

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

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

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

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

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R dell'opera che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, dal prodotto

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 21 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

della Vita Nominale di progetto (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

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).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 22 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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 |

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 | SLD | 81% |
| | SLV | 10% |
| Stati limite ultimi | SLC | 5% |

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite in accordo alla seguente espressione (cfr. Par. C3.2.1 e Tabella C.3.2.1 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019):

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

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

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 23 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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

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

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 24 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tabella 5.2/A sono descritte le caratteristiche per l'assegnazione delle categorie topografiche.

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

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

Sulla base dei dati *Digital Terrain Model* (DTM), ottenuti mediante rilievo aereo LIDAR realizzato lungo il corridoio di progetto, 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° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

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

L'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto presenta una configurazione topografica semplice; pertanto, è possibile fare riferimento alla Tab. 3.2.III delle NTC 2018 (Fig. 5.2/B) per l'identificazione delle categorie topografiche.

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

- Categoria topografica T1 (81,85%)
- Categoria topografica T2 (14,2%)
- Categoria topografica T3 (3,9%)
- Categoria topografica T4 (0,05%)

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 25 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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: $ST=1,0$
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T2: $ST=1,2$
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T3: $ST=1,2$
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T4: $ST=1,4$

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

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

| Categoria | Descrizione |
|-----------|---|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i> |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i> |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i> |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i> |
| E | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i> |

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

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 26 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

con:

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

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

In accordo alle nuove norme NTC 2018, la caratterizzazione dell'azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s). Pertanto, sono state eseguite una serie di prove indirette di tipo MASW (N. 12 indagini) lungo il tracciato in progetto.

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

In Figura 5.2/A è mostrata l'ubicazione delle prove sismiche eseguite lungo il tracciato del metanodotto in progetto (cfr PG-TPSO-D-03219).

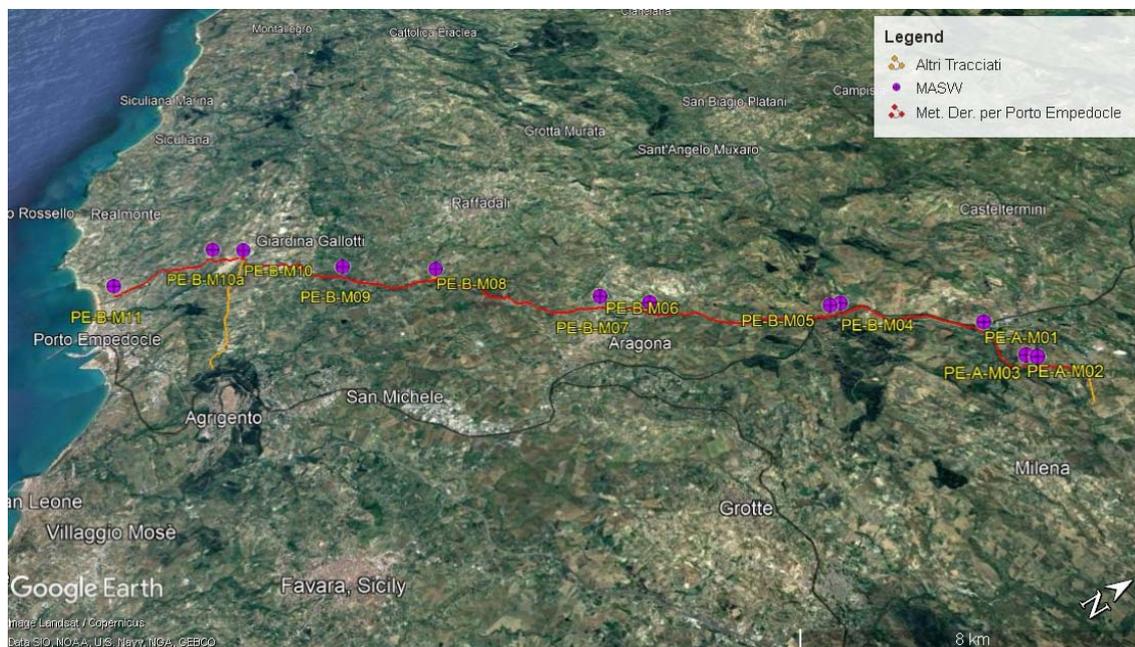


Fig. 5.2/A: Ubicazione delle prove sismiche MASW eseguite lungo il tracciato del metanodotto in progetto (linea rossa).

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).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 27 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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 |
|---|------------------|-------------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Rif. Met. Der. Porto Empedocle DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | | | | | |
| PE-A-M01 | 3,680 | Fondovalle | Depositi alluvionali | 319 | C |
| PE-A-M02 | 1,560 | Versante | Depositi di versante | 378 | B |
| PE-A-M03 | 1,160 | Versante | Depositi di versante | 375 | B |
| PE-B-M04 | 8,560 | Fondovalle | Depositi alluvionali | 286 | C |
| PE-B-M05 | 8,930 | Fondovalle | Depositi alluvionali | 258 | C |
| PE-B-M06 | 14,880 | Versante | Depositi di versante | 401 | B |
| PE-B-M07 | 16,550 | Versante | Depositi di versante | 529 | B |
| PE-B-M08 | 22,740 | Fondovalle | Depositi alluvionali | 382 | B |
| PE-B-M09 | 25,990 | Versante | Formazione argillosa | 346 | C |
| PE-B-M10 | 29,950 | Fondovalle | Depositi di versante | 401 | B |
| PE-B-M10a | 31,200 | Versante | Formazione argillosa | 392 | B |
| PE-B-M11 | 35,040 | Versante | Formazione marnosa | 597 | B |

Come si può osservare dalla Tab. 5.2/D, le velocità equivalenti registrate dalle MASW variano da un minimo di 258 m/s ad un massimo di 597 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 dai tracciati 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 (3,74%)
- Categoria di sottosuolo B (68,54%)
- Categoria di sottosuolo C (27,72%)

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

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 28 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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:

- $a_g = 0.065 \div 0.093$ g per lo stato limite ultimo SLV ($T_R=950$ anni)

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

- **PGA = 0.068 ÷ 0.143 g** per lo stato limite ultimo SLV ($T_R=950$ anni).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 29 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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 m/sec²);
- S: fattore di risposta sismica locale;
- T_c: periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

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

essendo:

- T_c* definito, insieme al valore di a_g, per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2008);
- C_c un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.IV delle NTC 2018, riportata in Tab. 5.2/E).

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

- **PGV = 0.047 m/s (PGA 0.068 g) ÷ 0.135 m/s (PGA 0.143 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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 30 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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 _{max} (g) | v _{max} (m/s) | a _{max} (g) | v _{max} (m/s) |
| Linea principale | | | | | | |
| Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle | 300 | 35,04 | 0.082 | 0.060 | 0.164 | 0.155 |
| Allacciamenti | | | | | | |
| Ricollegamento All.to Comune di Bompensiere | 150 | 1.770 | 0.072 | 0.053 | 0.144 | 0.135 |
| Rifacimento Diramazione per Agrigento | 150 | 4.045 | 0.061 | 0.043 | 0.126 | 0.120 |
| Rifacimento All.to Laterizi Akragas S.p.A. | 100 | 0.110 | 0.060 | 0.043 | 0.125 | 0.119 |
| Rifacimento All.to Comune di Agrigento | 100 | 1.240 | 0.060 | 0.043 | 0.125 | 0.119 |
| Rifacimento Collegamento Impianto Riduzione di Joppolo | 300 | 0.280 | 0.064 | 0.046 | 0.131 | 0.124 |
| Rifacimento All.to Comune di Aragona | 150 | 0.050 | 0.052 | 0.038 | 0.107 | 0.102 |
| Ricollegamento All.to Comune di Comitini | 100 | 0.030 | 0.066 | 0.048 | 0.134 | 0.128 |
| Rifacimento All.to M&A Rinnovabili | 100 | 0.245 | 0.071 | 0.052 | 0.143 | 0.135 |
| Rifacimento All.to Comune di Campofranco | 100 | 0.070 | 0.058 | 0.043 | 0.116 | 0.109 |

Le verifiche degli stati tensionali indotti dallo scuotimento sismico del terreno (*ground shaking*) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni interrate in occasione dell'azione sismica massima attesa in concomitanza con l'esercizio dell'opera, sono stati elaborati per tutti i diametri e gli spessori previsti per le condotte in esame. Nell'Annesso 1 ("Verifica a scuotimento sismico") è riportata la verifica strutturale allo scuotimento sismico effettuata per la linea principale e per tutte le linee secondarie previste nell'opera in progetto.

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

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 31 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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 in accordo al catalogo ITHACA, l'area interessata dai lavori per la realizzazione dell'opera in esame presenta una interferenza con una faglia attiva e capace ("Porto Empedocle") censita nel database, mentre una seconda faglia ("Realmonte"), sebbene non interferita direttamente, è presente nella porzione più meridionale dell'area interessata dal tracciato di progetto (Fig. 6.1/A).

I parametri che caratterizzano tali lineamenti tettonici sono descritti sinteticamente nei seguenti paragrafi.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 32 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024



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

6.1.1. Faglia “Porto Empedocle”

La faglia “Porto Empedocle” è presente nel catalogo ITHACA con il codice identificativo 15600 ed interferisce con il tracciato del Met. Der. per Porto Empedocle DN 300 (12") al km 29,780 e con il tracciato della Dir. per Agrigento DN 150 (6") al km 0,335 circa.

Da un punto di vista geomorfologico, la zona è priva di elementi che possano indicare un marcato controllo tettonico del territorio, con evidenze superficiali di attivazioni di faglie recenti. Inoltre, da sopralluoghi effettuati in prossimità del presunto attraversamento non si evidenziano elementi che indicano la presenza di linee di faglia in superficie (es: dislocazione dei depositi affioranti, alterazioni morfologiche locali, etc.). Analogamente, nel catalogo ITHACA non sono ufficialmente segnalate evidenze superficiali per questa presunta linea di faglia.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 33 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Di conseguenza questo lineamento tettonico può essere inteso come una struttura tettonica attiva a livello regionale, con una geometria non chiaramente riscontrabile in superficie.

La tabella sottostante (Tab. 6.1/A) mostra i parametri geometrici, cinematici e sismici presenti nel catalogo ITHACA per la faglia 15600 "Porto Empedocle".

Tab. 6.1/A: Parametri caratterizzanti la faglia "Porto Empedocle"

| Identificazione generale | |
|---------------------------------|---------------------------|
| Codice | 15600 |
| Nome | Porto Empedocle |
| Regione | Sicilia (Italia) |
| Sistema | Realmonte-Porto Empedocle |
| Rank | - |
| Geometria e cinematica | |
| Strike medio (deg) | 330 |
| Dip (deg) | - |
| Dip Direction | - |
| Lunghezza faglia (km) | 5 |
| Geometria | - |
| Profondità (km) | - |
| Cinematica | Diretta |
| Attività | |
| Evidenze superficiali | ND |
| Parametri sismici | |
| Slip rate (mm/y) | - |
| Massima magnitudo (Mw) | - |
| Qualità dello studio | ND |

In conclusione, in considerazione delle evidenze di campo e delle caratteristiche geometriche e cinematiche della linea tettonica riportata nel catalogo, non si ritiene che l'intersezione possa costituire un elemento di rischio per l'opera in progetto.

6.1.2. Faglia "Realmonte"

La faglia "Realmonte" è presente nel catalogo ITHACA con il codice identificativo 15601 e non interferisce direttamente con nessuno dei tracciati di progetto, sebbene si sviluppi ad una brevissima distanza (circa 100 metri) dal punto terminale del Met. Der. per Porto Empedocle DN 300 (12").

Da un punto di vista geomorfologico, la zona è priva di elementi che possano indicare un marcato controllo tettonico del territorio, con evidenze superficiali di attivazioni di faglie recenti. Inoltre, da sopralluoghi effettuati in prossimità del presunto attraversamento non si evidenziano elementi che indicano la presenza di linee di

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 34 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

faglia in superficie (es: dislocazione dei depositi affioranti, alterazioni morfologiche locali, etc.). Analogamente, nel catalogo ITHACA non sono ufficialmente segnalate evidenze superficiali per questa presunta linea di faglia.

Di conseguenza questo lineamento tettonico può essere inteso come una struttura tettonica attiva a livello regionale con una geometrica non chiaramente riscontrabile in superficie.

La tabella sottostante (Tab. 6.1/B) mostra i parametri geometrici, cinematici e sismici presenti nel catalogo ITHACA per la faglia 15601 "Realmonte".

Tab. 6.1/B: Parametri caratterizzanti la faglia "Realmonte"

| Identificazione generale | |
|---------------------------------|---------------------------|
| Codice | 15601 |
| Nome | Realmonte |
| Regione | Sicilia (Italia) |
| Sistema | Realmonte-Porto Empedocle |
| Rank | ND |
| Geometria e cinematica | |
| Strike medio (deg) | 140 |
| Dip (deg) | - |
| Dip Direction | - |
| Lunghezza faglia (km) | 3.9 |
| Geometria | - |
| Profondità (km) | - |
| Cinematica | Diretta |
| Attività | |
| Evidenze superficiali | ND |
| Parametri sismici | |
| Slip rate (mm/y) | - |
| Massima magnitudo (Mw) | - |
| Qualità dello studio | ND |

In conclusione, in considerazione delle evidenze di campo e delle caratteristiche geometriche e cinematiche della linea tettonica riportata nel catalogo, non si ritiene che l'intersezione possa costituire un elemento di rischio per l'opera in progetto.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 35 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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 sismoindotta 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.

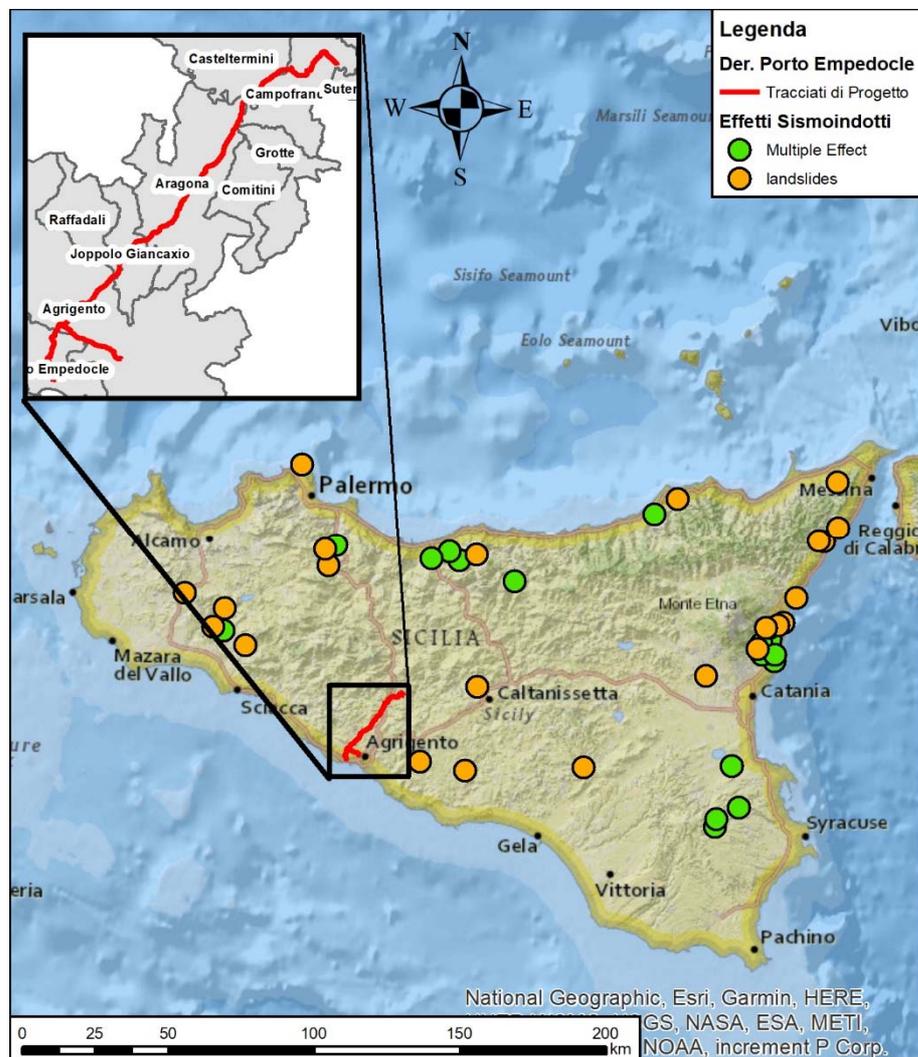


Fig. 7/A: Fenomeni di instabilità sismoindotta censiti nel catalogo CEDIT

La storicità degli effetti cosismici di instabilità dei versanti indotti da eventi sismici nell'area in esame è stata studiata sulla base del catalogo CEDIT (Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti), che riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (dall'anno 1000 d.C. al 2016). Il catalogo CEDIT è stato consultato per

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 36 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di franosità sismo-indotta associati ai principali eventi sismici registrati nella zona.

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 37 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

8. ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE

In generale, il fenomeno della liquefazione dei terreni interessa i depositi incoerenti saturi che, durante ed immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico e dinamico, possono subire una drastica riduzione della 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.

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 degli effetti cosismici di liquefazione dei terreni presenti nell'area in esame è stata studiata sulla base del catalogo CEDIT (Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti), che riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (dall'anno 1000 d.C. al 2016). Il catalogo CEDIT è stato consultato per verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di liquefazione associati ai principali eventi sismici registrati nella zona, come riportato nel paragrafo 8.1.

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

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).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 38 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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).

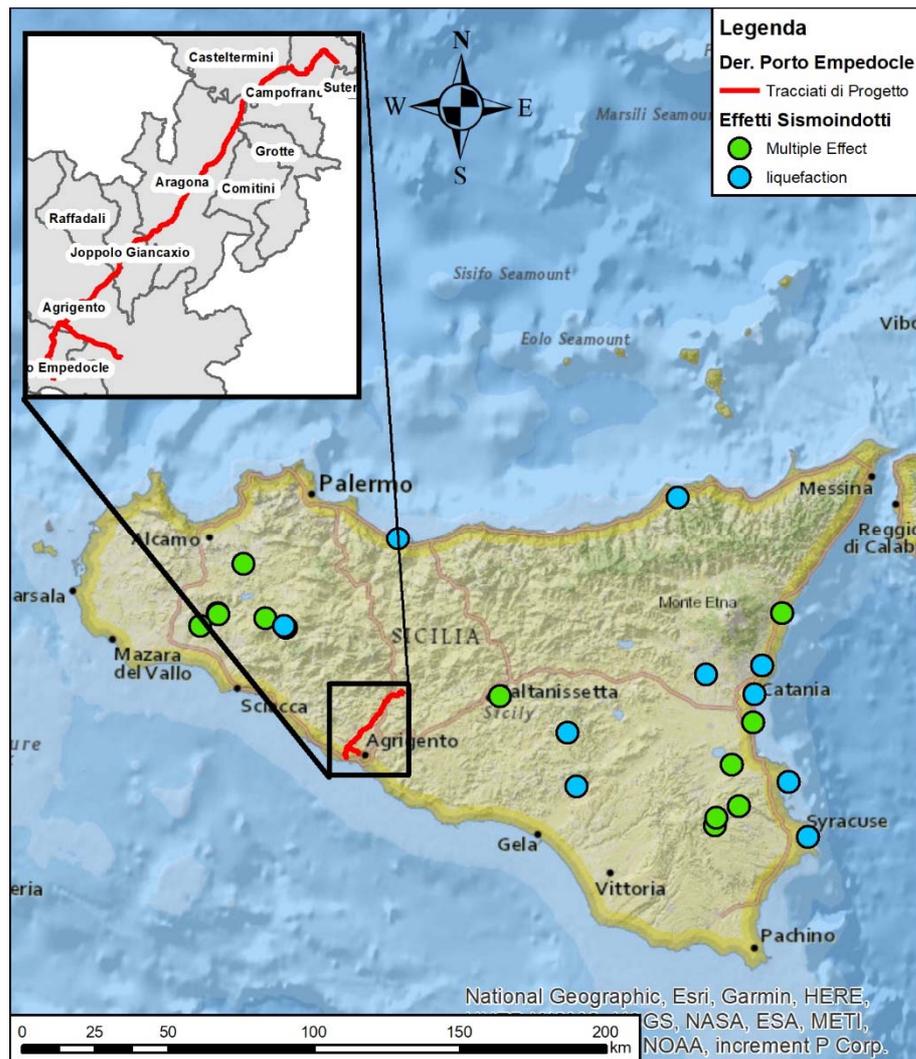


Fig. 8.1/A: Fenomeni di liquefazione censiti nel catalogo CEDIT

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.

8.2. Studi di Microzonazione Sismica

La Microzonazione Sismica consiste nella valutazione della pericolosità sismica locale attraverso la caratterizzazione di zone del territorio aventi comportamento sismico omogeneo. In ambito nazionale per l'esecuzione degli studi di Microzonazione Sismica sono stati definiti degli "Indirizzi e Criteri per la

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 39 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Microzonazione Sismica" (ICMS) nel 2008 dalla Conferenza delle Regioni e Provincie 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 specifica per il sito di interesse).

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

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

Il livello 2, punta a compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi e, parallelamente, a fornire quantificazioni numeriche, solitamente con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (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.
- 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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 40 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

- 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).

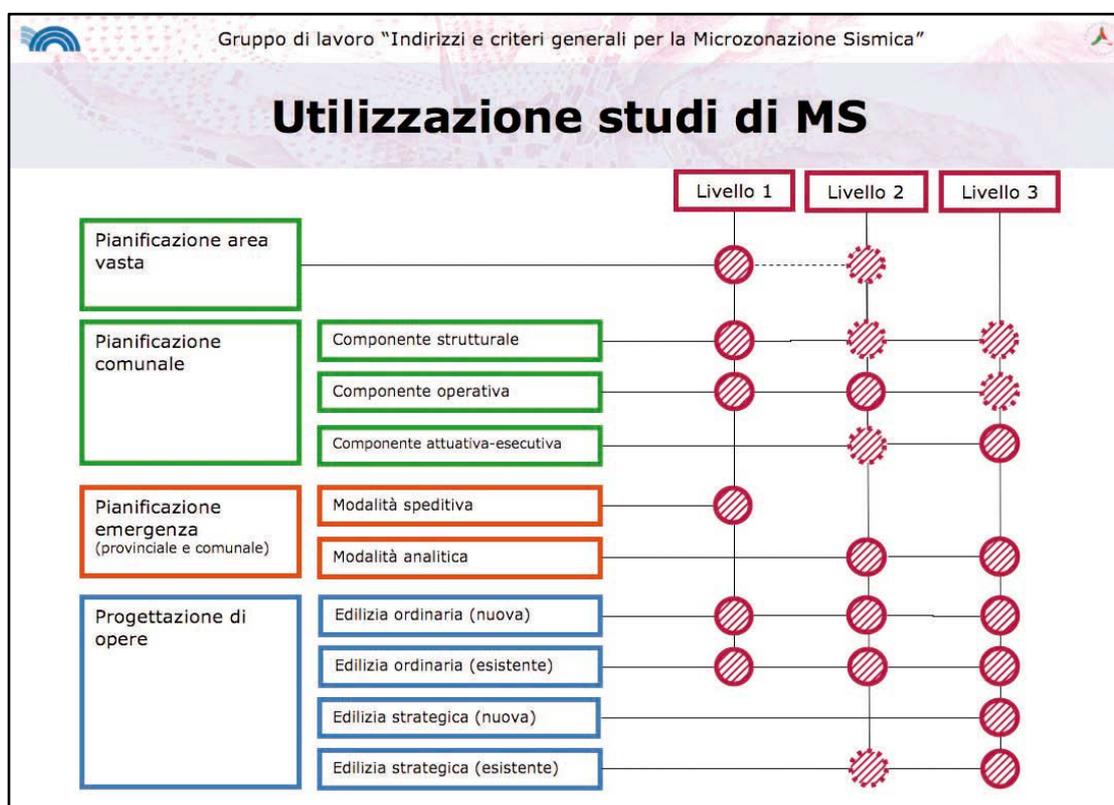


Fig. 8.2/A: Studi di MS e utilizzazione nella pianificazione territoriale, nella pianificazione dell'emergenza e nella progettazione delle opere (Fig. 1.5-1 degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, Parti I e II).

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, i Comuni interessati non hanno prodotto studi di Microzonazione Sismica (Fig. 8.2/B), pertanto, la verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni affioranti è stata estesa a tutte le aree attraversate dall'opera.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 41 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

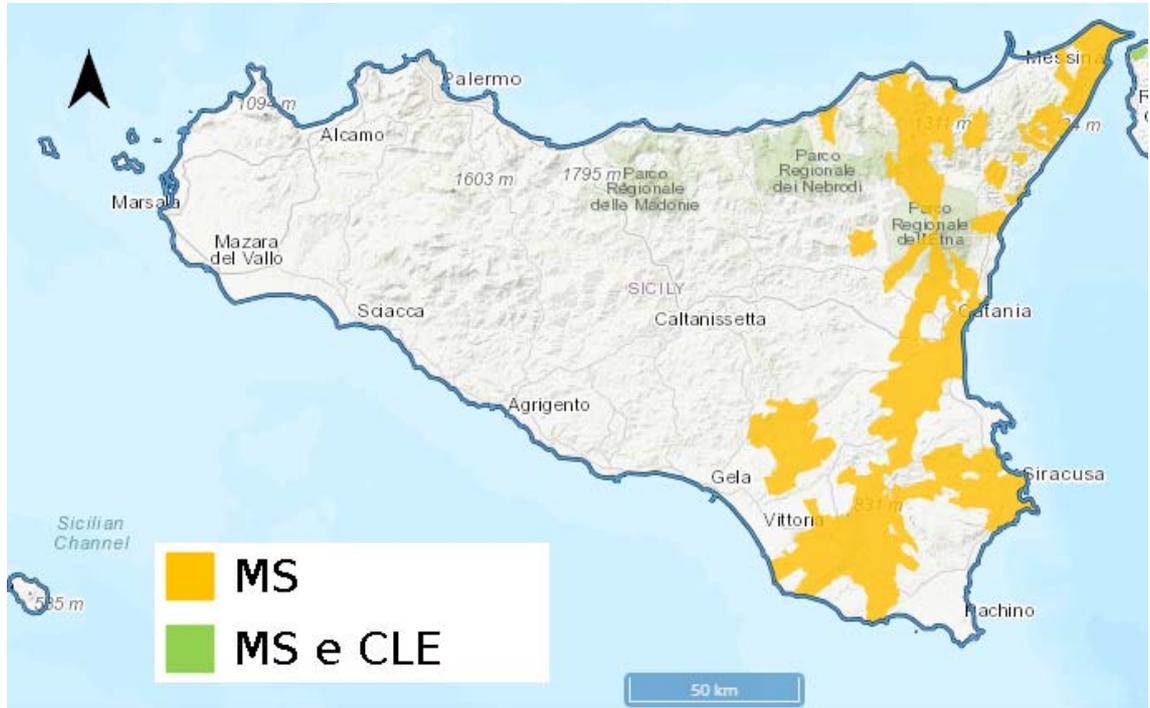


Fig. 8.2/B: Copertura degli studi di Microzonazione Sismica (MS) e di Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)

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

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

Linee Guida ICSM (2017)

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

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

A tal proposito, in accordo alla classificazione di Youd e Perkins (1978), i fattori che intervengono sulla suscettibilità alla liquefazione includono i processi di sedimentazione, l'età dei depositi, la storia geologica, la profondità della falda, la distribuzione granulometrica, la profondità di posa, la pendenza del terreno e la prossimità a zone di scarpata. Pertanto, sulla base del tipo di deposito sedimentario e della sua età, viene fornita un'indicazione sul grado di vulnerabilità del deposito stesso. Nella tabella sottostante (Tab. 8.2/A) vengono riportati esclusivamente i depositi continentali.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 42 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tab. 8.2/A: Probabilità di liquefazione in base alla tipologia di deposito (Youd & Perkins, 1978)

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

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

Relativamente al fattore geologico, Bruschi (2014) fornisce inoltre indicazioni sulla suscettibilità alla liquefazione legate all'età geologica, alla profondità della falda (Tab. 8.2/B) e alla morfologia del sito (Tab. 8.2/C).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 43 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tab. 8.2/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. 8.2/C: Probabilità di liquefazione in base alla morfologia (Bruschi, 2014).

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

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

Criteria NTC18 (Par. 7.11.3.4.2)

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

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

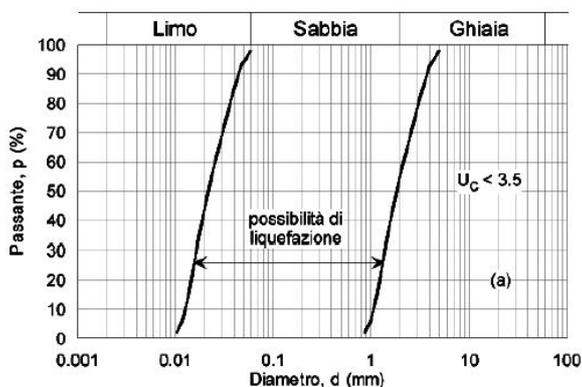
- [1] accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- [2] profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- [3] depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{C1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{C1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 44 di 54 | Rev. 0 |

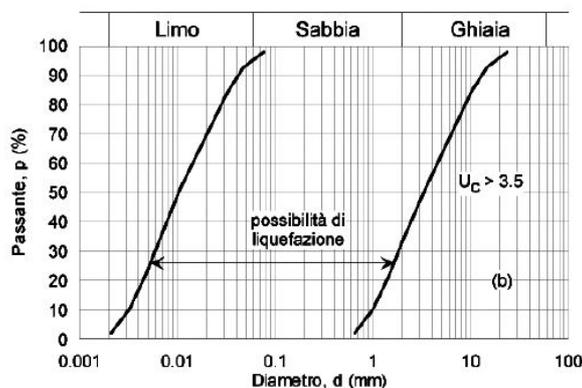
Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

- [4] distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 8.2/C (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_C < 3.5$ e in Fig. 8.2/C (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_C > 3.5$.

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

8.3. Analisi areale per l'identificazione dei tratti potenzialmente suscettibili a liquefazione

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

In accordo alle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)", l'attribuzione delle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche,

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 45 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

idrogeologiche è stata realizzata considerando i dati di progetto disponibili (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.

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

Le tabelle sottostanti forniscono le caratteristiche dei tratti dei tracciati di progetto rispettivamente esclusi (Tab. 8.3/A) e soggetti (Tab. 8.3/B) alla verifica a liquefazione.

Tab. 8.3/A: Tratti esclusi dalla verifica

| Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle DN 300 (12"), DP 24 bar | | | | | | | |
|--|-------|-------|--------|-------------------------|------------|--------------------------------|-------------------------|
| ID Tratto | Da km | A km | PGA | Superficie piezometrica | Morfologia | Litologia prevalente | Criteri di esclusione * |
| L01 | 0 | 2,5 | 0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose | [1] + [2] + [4] |
| L02 | 2,5 | 8,7 | >0,1 g | < 15 metri | Fondovalle | Depositi alluvionali | [3] + [4] |
| L04 | 13,2 | 18,7 | <0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose e marnose | [1] + [2] + [4] |
| L05 | 18,7 | 21,7 | >0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose | [2] + [4] |
| L07 | 24,8 | 28,8 | >0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose e marnose | [2] + [4] |
| L08 | 28,8 | 33,1 | <0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose e marnose | [1] + [2] + [4] |
| L09 | 33,1 | 35,05 | >0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose e marnose | [2] + [4] |
| Rifacimento Derivazione per Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar | | | | | | | |
| L10 | 0 | 1,77 | 0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose | [2] + [4] |
| Rifacimento Diramazione per Agrigento DN 150 (6"), DP 24 bar | | | | | | | |
| L11 | 0 | 4,045 | <0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose | [1] + [2] + [4] |
| Rifacimento Allacciamento Comune di Agrigento DN 100 (4"), DP 24 bar | | | | | | | |
| L12 | 0 | 0,55 | <0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose | [1] + [2] + [4] |
| L14 | 1.05 | 1.24 | <0,1 g | > 15 metri | Collinare | Formazioni argillose | [1] + [2] + [4] |

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

Tab. 8.3/B: Tratti soggetti a verifica

| Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle DN 300 (12"), DP 24 bar | | | | | | | |
|--|-------|------|--------|-------------------------|------------|----------------------|-------------------------|
| ID Tratto | Da km | A km | PGA | Superficie piezometrica | Morfologia | Litologia prevalente | Criteri di esclusione * |
| L03 | 8,7 | 13,2 | >0,1 g | < 15 metri | Fondovalle | Depositi alluvionali | - |
| L06 | 21,7 | 24,8 | >0,1 g | < 15 metri | Fondovalle | Depositi alluvionali | - |
| Rifacimento Allacciamento Comune di Agrigento DN 100 (4"), DP 24 bar | | | | | | | |
| L13 | 0,55 | 1,05 | >0,1 g | < 15 metri | Fondovalle | Depositi alluvionali | - |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 46 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Nei casi in cui nessuno dei criteri sopra indicati sia soddisfatto e il terreno in fondazione comprenda strati o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda (Tab. 8.3/B), è stata eseguita la verifica a liquefazione secondo i metodi indicati nel prossimo paragrafo.

8.4. Metodo di analisi delle aree soggette a verifica

Come richiesto dalla normativa vigente (Rif. 7.11.3.4.3 NTC2018) per le aree 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 i software LiqSVs v.2.2.1.8 e CLiq v.3.4.1.4 (*GeoLogismiki – Geotechnical Software*) che hanno 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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 47 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Esso si divide in cinque classi di pericolosità proposte nella Tab. 8.4/A/Tab. 8.4/A:

Tab. 8.4/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 |

8.4.1. Tratto L03 (KM 8,7-13,2)

Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del gasdotto in progetto si sviluppa nel fondovalle del Vallone Aragona, alla base dei rilievi collinari costituiti dalla Formazione argillosa dei Trubi e caratterizzato da una morfologia quasi completamente pianeggiante. I depositi alluvionali sono prevalentemente argillosi ma sono presenti livelli a granulometria più grossolana.

Il territorio si trova nel comune di Aragona (AG).

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

| Tipo | ID | km | Profondità | Falda da p.c. (m) | SPT | | Campioni Indisturbati |
|------|----------|------|------------|-------------------|----------|------|-----------------------|
| | Indagine | | (m) | | z (m) | NSPT | N |
| BH | PE-B-B31 | 8,9 | 15 | - | 3 – 3,45 | 39 | 4 |
| BH | PE-B-B32 | 9,6 | 15 | - | - | - | 4 |
| CPTU | PE-B-C33 | 10,9 | 10,2 | - | - | - | - |
| BH | PE-B-B34 | 11 | 20 | - | - | - | 6 |
| BH | PE-B-B37 | 11,7 | 20 | - | - | - | 6 |
| BH | PE-B-B38 | 12 | 10 | - | - | - | 2 |
| CPTU | PE-B-C39 | 12,3 | 13,6 | - | - | - | - |

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 48 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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 tutte le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.4/C) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 4).

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, sebbene nel corso delle indagini non si sia rilevata la presenza della falda acquifera, si sono indicati valori cautelativi ricavati sulla base dello studio idrogeologico (REL-CI-E-03027).

Tab. 8.4/C: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione

| Tipo | ID | PGA (g) | M | Falda da p.c. (m) | Indice di Liquefazione (LI) | Cedimenti (cm) |
|------|----------|---------|------|-------------------|-----------------------------|----------------|
| | Indagine | | | | | |
| CPTU | PE-B-C33 | 0,11 | 5,75 | 2 | 0 | 0 |
| CPTU | PE-B-C39 | 0,11 | 5,75 | 2 | 0 | 0 |

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

8.4.2. Tratto L06 (KM 21,7-24,8)

Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa nel fondovalle del Vallone Cacici, alla base dei rilievi collinari costituiti dalla Formazione argilloso-marnosa di Licata e caratterizzato da una morfologia completamente pianeggiante. I depositi alluvionali sono prevalentemente argillosi ma sono presenti livelli a granulometria più grossolana.

Il territorio si trova nei comuni di Joppolo Giancaxio (AG) e Raffadali (AG).

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. 8.4/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).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 49 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

Tab. 8.4/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 | PE-B-B46 | 22,7 | 15 | - | - | - | 5 |
| CPTU | PE-B-C47 | 23,6 | 4 | - | - | - | - |
| DPSH | PE-B-D47a | 23,6 | 10,2 | - | - | - | - |
| CPTU | PE-B-C48 | 23,8 | 4,8 | - | - | - | - |
| DPSH | PE-B-D48a | 23,8 | 14 | - | - | - | - |

Verifiche di liquefacibilità dei terreni

Le indagini svolte mostrano la presenza di terreni prevalentemente argillosi ma con presenza di livelli ghiaiosi e/o marnosi. La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per tutte le CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.4/E) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 4).

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 sebbene nel corso delle indagini non si sia rilevata la presenza della falda acquifera, si sono indicati valori cautelativi ricavati sulla base dello studio idrogeologico (REL-CI-E-03027).

Tab. 8.4/E: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione

| Tipo | ID | PGA (g) | M | Falda da p.c. (m) | Indice di Liquefazione (LI) | Cedimenti (cm) |
|------|-----------|---------|------|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| | Indagine | | | | | |
| CPTU | PE-B-C47 | 0,1 | 5,67 | 2 | 0 | 0 |
| DPSH | PE-B-D47a | 0,1 | 5,67 | 2 | 0 | 0 |
| CPTU | PE-B-C48 | 0,11 | 5,67 | 2 | 0 | 0 |
| DPSH | PE-B-D48a | 0,1 | 5,67 | 2 | 0 | 0 |

Si osserva che tutte le verifiche eseguite lungo il tratto L06 indicano la presenza di terreni non-liquefacibili.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 50 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

8.4.3. Tratto L13 (KM 0,55-1,05)

Descrizione dell'area

In questo tratto il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa lungo il fondovalle del Fiume Drago, nel territorio appartenente al comune di Agrigento. I versanti sono costituiti da litologie prevalentemente argillose appartenenti alla Formazione di Monte Narbone mentre in aleo affiorano depositi alluvionali a granulometria ghiaiosa in abbondante matrice sabbioso-limoso.

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. 8.4/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 | AG-B-C67 | 0,9 | 3,7 | - | - | - | - |
| DPSH | AG-B-D67a | 0,9 | 7,6 | - | - | - | 3 |

Verifiche di liquefacibilità dei terreni

La suscettibilità a liquefazione è stata verificata per la CPTU e la tabella sottostante (Tab. 8.4/G) fornisce i risultati in termini di Indice di Liquefacibilità (LI) e cedimenti eventualmente attesi (Allegato 4).

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 sebbene nel corso delle indagini non si sia rilevata la presenza della falda acquifera, si sono indicati valori cautelativi ricavati sulla base dello studio idrogeologico (REL-CI-E-03027).

Tab. 8.4/G: Sintesi delle Verifiche a Liquefazione

| Tipo | ID | PGA (g) | M | Falda da p.c. (m) | Indice di Liquefazione (LI) | Cedimenti (cm) |
|------|-----------|---------|-----|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| | Indagine | | | | | |
| CPTU | AG-B-C67 | 0,1 | 5,8 | 1 | 0 | 0 |
| DPSH | AG-B-D67a | 0,1 | 5,8 | 1 | 0 | 0 |

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

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 51 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi della pericolosità sismica (*seismic hazard*), che caratterizza il territorio nel quale si sviluppa il tracciato del Metanodotto Derivazione per Porto Empedocle DN 300 (12") – DP 24 bar e delle altre linee di progetto è stata eseguita considerando i dati disponibili nei cataloghi ufficiali (es: INGV; ISPRA; etc.) e i dati acquisiti in sopralluoghi e campagne geognostiche realizzate durante la progettazione dell'opera. In particolare, l'analisi della pericolosità sismica del territorio in esame ha fornito una valutazione dei seguenti aspetti:

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

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

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

L'analisi delle categorie topografiche è stata eseguita utilizzando un database di dati DTM (risoluzione 20m) 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 (81,85%)
- Categoria topografica T2 (14,2%)
- Categoria topografica T3 (3,9%)
- Categoria topografica T4 (0,05%)

Nelle norme NTC 2018 la definizione dell'azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) in campo.

Pertanto, sono state eseguite una serie di prove indirette (N. 12 indagini tipo MASW), ubicate nei siti più rappresentativi delle condizioni geologiche presenti lungo il tracciato. I risultati delle prove sismiche insieme ad una attenta valutazione dei contesti geologici e geomorfologici presenti lungo la linea principale e quelle secondarie, hanno consentito una accurata caratterizzazione delle categorie di sottosuolo da assegnare ai terreni affioranti lungo il tracciato.

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

- Categoria di sottosuolo A (3,74%)
- Categoria di sottosuolo B (68,54%)
- Categoria di sottosuolo C (27,72%)

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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 52 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-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 _{max} (g) | v _{max} (m/s) | a _{max} (g) | v _{max} (m/s) |
| Linea principale | | | | | | |
| Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle | 300 | 35,04 | 0.082 | 0.060 | 0.164 | 0.155 |
| Allacciamenti | | | | | | |
| Ricollegamento All.to Comune di Bompensiere | 150 | 1.770 | 0.072 | 0.053 | 0.144 | 0.135 |
| Rifacimento Diramazione per Agrigento | 150 | 4.045 | 0.061 | 0.043 | 0.126 | 0.120 |
| Rifacimento All.to Laterizi Akragas S.p.A. | 100 | 0.110 | 0.060 | 0.043 | 0.125 | 0.119 |
| Rifacimento All.to Comune di Agrigento | 100 | 1.240 | 0.060 | 0.043 | 0.125 | 0.119 |
| Rifacimento Collegamento Impianto Riduzione di Joppolo | 300 | 0.280 | 0.064 | 0.046 | 0.131 | 0.124 |
| Rifacimento All.to Comune di Aragona | 150 | 0.050 | 0.052 | 0.038 | 0.107 | 0.102 |
| Ricollegamento All.to Comune di Comitini | 100 | 0.030 | 0.066 | 0.048 | 0.134 | 0.128 |
| Rifacimento All.to M&A Rinnovabili | 100 | 0.245 | 0.071 | 0.052 | 0.143 | 0.135 |
| Rifacimento All.to Comune di Campofranco | 100 | 0.070 | 0.058 | 0.043 | 0.116 | 0.109 |

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 (REL-SIA-E-03010).

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).

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 53 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

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

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

Tuttavia, da accurati sopralluoghi e rilievi eseguiti nell'area della presunta interferenza, non si evidenziano elementi che possano indicare con chiarezza la presenza di linee di faglia in superficie (es: dislocazione dei depositi affioranti, alterazioni morfologiche locali, etc.), né non sono ufficialmente segnalate evidenze superficiali per questa presunta linea di faglia. Di conseguenza questo lineamento tettonico può essere interpretato come una struttura tettonica attiva a livello regionale con una geometrica non chiaramente riscontrabile in superficie (tipo *blind fault*).

In conclusione, in considerazione delle evidenze dei rilievi di campo e delle caratteristiche geometriche e cinematiche della linea tettonica riportata nel catalogo, non si ritiene che l'intersezione possa costituire un elemento di rischio per l'opera in progetto.

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 dello studio indicano una bassa suscettibilità a franosità sismo-indotta dei versanti interessati dal tracciato in progetto.

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

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.

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA NQ/R20133 | UNITA' 000 |
| | LOCALITA' REGIONE SICILIA | REL-SIS-E-03024 | |
| | PROGETTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse | Fg. 54 di 54 | Rev. 0 |

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83024

10. BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.

IAEA SSG-9 (Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards. Series SSG-9, 2010) (https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1448_web.pdf).

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).