

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16'') DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

*PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA*

## METANODOTTO

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

### ANALISI AREALE DELLA STABILITA' DEI PENDII

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
1.1 Inquadramento territoriale	6
1.2 Documenti di Riferimento	7
1.3 Scopo del lavoro	8
1.4 Normativa di riferimento	8
<b>2 METODOLOGIA INVESTIGATIVA</b>	<b>9</b>
2.1 Geomorfologia	10
2.2 Geologia-geotecnica	11
2.3 Azione sismica	12
2.3.1 Parametri di risposta sismica locale	14
2.3.2 Verifica in condizioni statiche	15
2.3.3 Verifica in condizioni sismiche	15
<b>3 DEFINIZIONE DEGLI INPUT</b>	<b>17</b>
3.1 Definizione delle categorie topografiche	17
3.2 Definizione delle categorie di sottosuolo	17
3.3 Caratterizzazione geologico-geotecnica del tracciato di progetto	19
3.4 Definizione della PGA (Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV)	22
3.5 Considerazioni sugli spessori di coltre	22
3.6 Definizione del livello piezometrico di progetto	23
<b>4 ANALISI DI STABILITA' DEI VERSANTI</b>	<b>24</b>
4.1 Valutazione della stabilità dei versanti in condizioni statiche e dinamiche	24
<b>5 SCHEDE MONOGRAFICHE DELLE INTERFERENZE CON LE AREE CRITICHE</b>	<b>26</b>
5.1 ID01 Località: "Pianello" Comune: Albareto (PR)	27
5.2 ID02 Località: "Legi di Sopra" Comune: Varese ligure (SP)	30
5.3 ID03 Località: "Il Poggio" Comune: Castiglione Chiavarese (GE)	33
<b>6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>36</b>
6.1 Misure di mitigazione	36
<b>7 BIBLIOGRAFIA</b>	<b>37</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 3 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

### **ALLEGATI**

- Allegato 1: Carta delle categorie topografiche
- Allegato 2: Carta delle categorie di sottosuolo
- Allegato 3: Carta dei valori di PGA (Peak Ground Acceleration)
- Allegato 4: Carta litotecnica
- Allegato 5: Carta della stabilità dei versanti in condizioni statiche
- Allegato 6: Carta della stabilità dei versanti in condizioni dinamiche
- Allegato 7: Schede IFFI delle aree interessate

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 1. PREMESSA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- “Variante Provvisoria Derivazione per Sestri Levante DN 250 (10”), DP 75 bar”, in località Pezze del Comune di Casarza Ligure (GE) della lunghezza di circa 0,165 km che servirà a garantire il flusso di gas durante la realizzazione dei nuovi tratti e degli

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

impianti in progetto e che sarà rimossa una volta che il nuovo metanodotto DN 400 sarà in esercizio;

- in corrispondenza del punto di linea PIL n. 3, in progetto, un'Interconnessione di monte DN 250 (10"), DP 75 bar", in località Casa Storta, Comune di Varese Ligure, della lunghezza di circa 0,010 km;
- in corrispondenza del punto di linea PIL n. 3, in progetto, un'Interconnessione di valle DN 250 (10"), DP 75 bar", in località Casa Storta, Comune di Varese Ligure, della lunghezza di circa 0,010 km.

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

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

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

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

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

- n. 1 punto di intercettazione di derivazione semplice (PIDS);
- n. 5 punto di intercettazione di linea (PIL) dislocati lungo la linea principale;
- n. 1 punto di intercettazione di derivazione importante (PIDI);
- n. 1 punto di intercettazione con discaggio di allacciamento (PIDA), ubicato sulla linea secondaria All. Com. Varese Ligure;
- n. 1 area trappole di partenza con impianto di riduzione HPRS-100, Comune di Albareto (PR);

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

- n. 1 area trappole di arrivo, Comune di Casarza Ligure (GE);
- n. 1 impianto di riduzione della pressione HPRS-50 ubicato lungo la linea principale nel Comune di Casarza Ligure (GE);
- n. 1 ampliamento impianto HPRS 768/A nel Comune di Sestri Levante (GE);

e la dismissione di n. 6 punti di linea:

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

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

## 1.1 Inquadramento territoriale

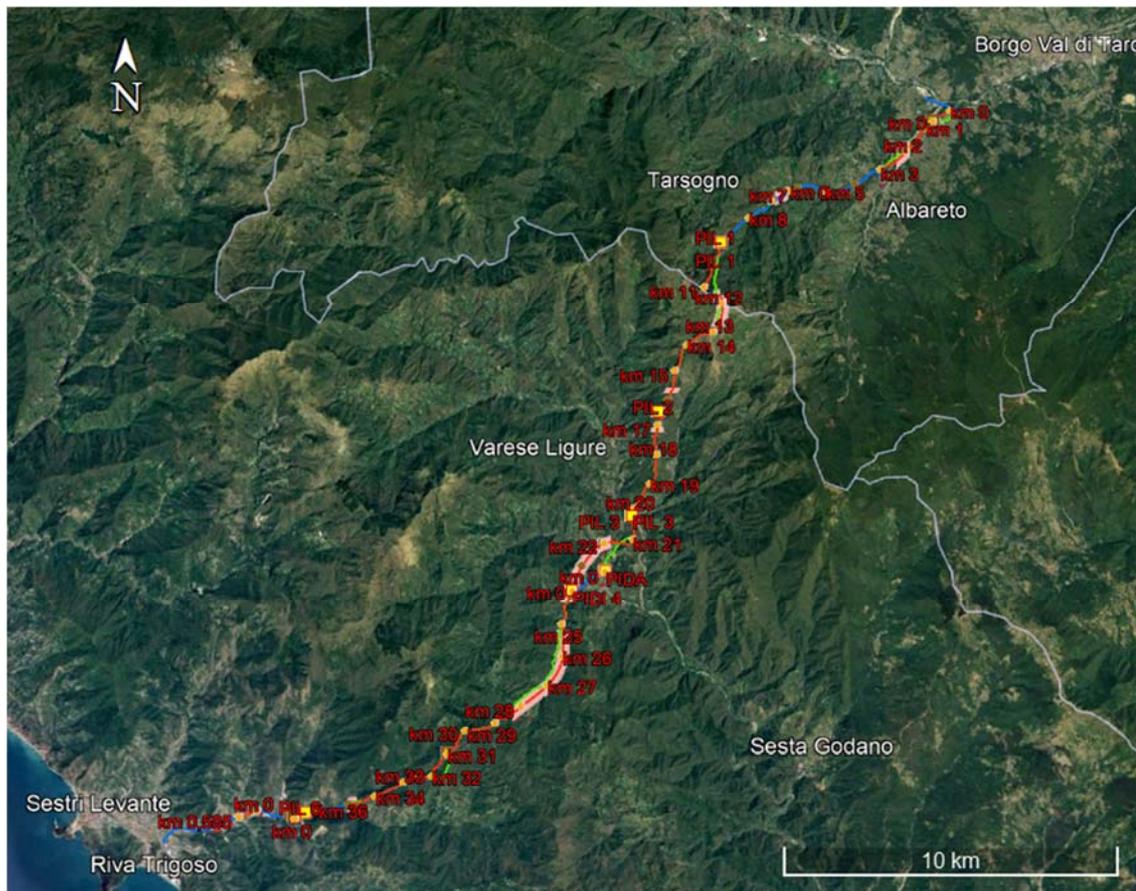
L'intervento si localizza maggiormente, nella porzione orientale della Regione Liguria, interessando i territori della Città Metropolitana di Genova e della provincia di La Spezia e la parte montana della Provincia di Parma, in Emilia Romagna, per i primi 10 km circa della condotta in progetto.

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 7 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025



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

## 1.2 Documenti di Riferimento

- |                      |   |
|----------------------|---|
| [1] REL- GEO-E-13024 | Relazione geotecnica (sintesi delle indagini eseguite)            |
| [2] REL- SIS-E-13026 | Relazione sismica + Verifica strutturale allo scuotimento sismico |
| [3] REL- SIS-E-13027 | Relazione compatibilità geomorfologica aree PAI                   |
| [4] REL- CI-E-13029  | Relazione idrogeologica e censimento pozzi e sorgenti             |
| [5] MI-TRH-E-13038   | Schede trenchless   |
| [6] PG-TPSO-D-13221  | Planimetria tracciato di progetto con Indagini geognostiche       |
| [7] PG-DRIF-D-13207  | Aree a pericolosità da frana (PAI e IFFI) e idraulica             |
| [8] PG-CGD-D-13208   | Geologia e Geomorfologia in scala 1:10000                         |
| [9] PG-CI-D-13209    | Carta Idrogeologia  |

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 8 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

### 1.3 Scopo del lavoro

Lo scopo di questa relazione è di presentare i risultati di uno studio di tipo areale eseguito su una fascia di territorio larga 1 chilometro a cavallo del tracciato di progetto (500 metri per parte) e finalizzato all'identificazione di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geomorfologico.

Lo studio è stato eseguito esclusivamente per il tracciato in progetto di nuova elaborazione.

L'analisi areale costituisce un approccio semplificato di primo livello che si applica suddividendo l'area di studio in un numero finito di celle elementari, ciascuna ipotizzata indipendente dalle celle contigue. Tale operazione è condotta grazie al supporto di un opportuno Sistema Informativo Geografico (GIS). La valutazione dei fattori di sicurezza è eseguita utilizzando il metodo del pendio indefinito, basato sul concetto di equilibrio limite. L'analisi è effettuata considerando le forze agenti parallelamente alla superficie di scorrimento.

La caratterizzazione dell'area è stata realizzata sulla base della cartografia geologica disponibile, delle verifiche eseguite durante i sopralluoghi e delle informazioni ricavate sia da indagini geognostiche eseguite nel corso di precedenti lavori di progettazione, sia pianificate e realizzate durante questa fase progettuale. Contestualmente sono stati consultati i geoportali relativi della Regione Liguria e della Regione Emilia Romagna per tutti i tematismi di interesse.

I risultati dello studio sono riportati su mappe che forniscono una classificazione del corridoio nel quale si sviluppa il tracciato di progetto, identificando le aree potenzialmente più critiche.

### 1.4 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:

- *D.M. 17 gennaio 2018, Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018*  
Suppl. Ordinario n. 8, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni";
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019.*

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 9 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 2 METODOLOGIA INVESTIGATIVA

Al fine di valutare la compatibilità tra l'opera in progetto e le condizioni di dissesto dell'area attraversata ci si è avvalsi di un tool sviluppato da SAIPEM in ambiente GIS (Geographic Information System), basato sull'identificazione delle unità territoriali predisposte a franosità sia in condizioni statiche (asismiche) sia in condizioni dinamiche (sismiche).

La metodologia di analisi valuta la propensione al dissesto di aree ad elevata estensione dove sono già in atto movimenti franosi e di aree potenzialmente suscettibili di fenomeni di prima attivazione. Tra questi ultimi ricadono anche i fenomeni potenzialmente indotti da determinate azioni sismiche (franosità sismo-indotta).

L'approccio prevede l'integrazione di dati morfologici del territorio e geologico-geotecnici, idrogeologici e sismici del suolo, al fine di individuare aree o domini omogenei caratterizzati da un certo livello di pericolosità, espresso in termini di coefficiente di sicurezza.

È stata utilizzata una risoluzione tale da permettere l'individuazione delle zone a maggior criticità che interessano direttamente il tracciato dell'opera in progetto. Lo studio è finalizzato alla restituzione grafica di mappe rappresentanti diversi scenari ipotizzabili che tengono in dovuta considerazione le condizioni dei terreni coinvolti.

Per quanto riguarda le analisi in condizioni sismiche sono stati considerati due scenari, in funzione degli stati limite previsti dalle NTC del 2018 con riferimento alla tipologia di struttura.

Il *workflow* del sistema investigativo utilizzato viene descritto sinteticamente nella Fig. 2/A.

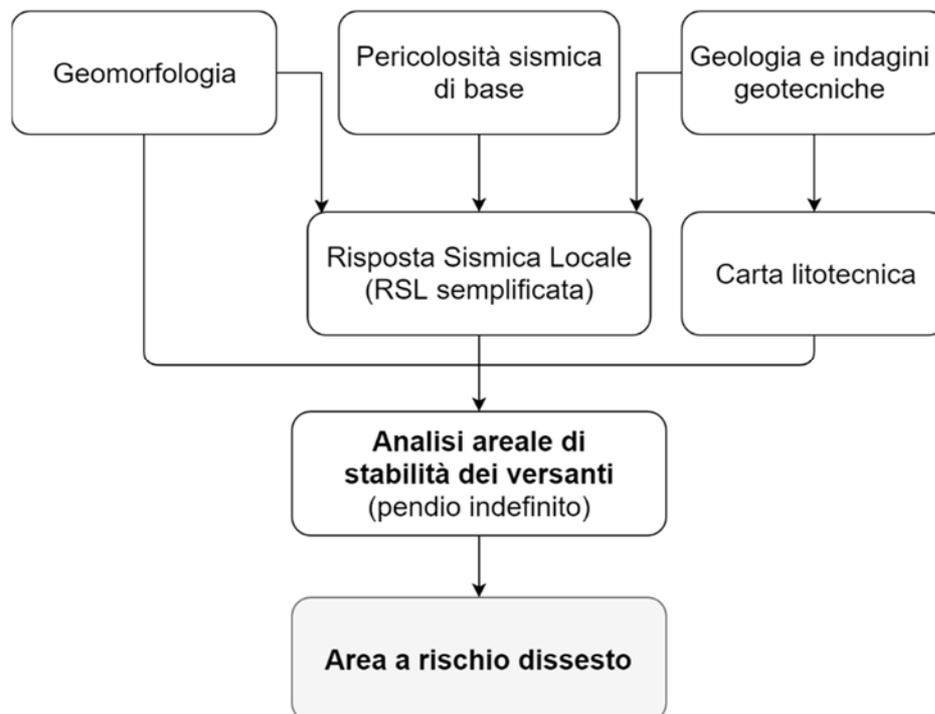


Fig. 2/A: Diagramma di flusso della metodologia investigativa

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 10 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 2.1 Geomorfologia

Il tracciato del metanodotto attraversa unità geologiche appartenenti al settore sommitale dell'edificio strutturale dell'Appennino Settentrionale, costituito nell'area di studio, secondo l'ordine di sovrapposizione delle unità strutturali, da quelle geometricamente superiori a quelle inferiori, dai Domini Liguri interno, esterno e Subligure (REL-CGD-E-13022).

Il settore settentrionale del tracciato attraversa in prevalenza l'ampio fondovalle del Gotra (largo fino a 600 m) e successivamente del suo affluente Arcina, entrambi ricadenti in provincia di Parma, caratterizzato da ampiezza nettamente minore, attorno a 100-200 m. L'alveo del Gotra è riferibile al tipo wandering (alveo relativamente largo con estese barre laterali e locali condizioni di intrecciamento), mentre l'alveo dell'Arcina è di tipo sinuoso a barre alternate.

I versanti delle valli, incisi all'interno delle formazioni dell'unità Media Val Taro, in cui prevalgono litotipi a dominante argillosa, sono caratterizzati da acclività complessivamente medio-bassa, morfologia ad accentuate ondulazioni e reticolo di drenaggio a densità relativamente elevata. I rilievi più aspri sono legati alle facies più competenti delle Arenarie di Scabiazza (versante sud del M. Traforo) (kp 0,0 – kp 6,0). Dove la piana alluvionale del torrente Arcina si riduce notevolmente (alla confluenza Rio Macchietta – Rio Pian delle Castagne), nel versante sinistro della valle affiorano le unità sub-liguri sormontate dall'unità Ottone: la morfologia diviene più acclive, le valli secondarie più approfondite. Per contro nel versante destro e poi nella testata della valle, le Argille e calcari di Canetolo sono sede di estesi fenomeni franosi, in prevalenza quiescenti, che producono una morfologia fortemente ondulata, a pendenza medio-bassa, incisa da un reticolo idrografico irregolare, con andamento sinuoso e a tratti marcatamente curvilineo (kp 6,0 – kp 11,0).

Nella dorsale del Colle Cento Croci (kp 11,0), che rappresenta lo spartiacque principale Adriatico – Tirreno, tra le regioni Liguria ed Emilia Romagna, le parti sommitali dei rilievi sono costituite dai complessi di base e dal Flysch di Ottone (unità Liguri Esterne), che danno luogo a pendii relativamente aspri, caratterizzati localmente da pareti di roccia affiorante, alla cui base sono presenti depositi di versante e detrito di falda.

Nel versante ligure predominano ancora estesi depositi di frana, legati soprattutto al substrato di Argille e Calcari di Canetolo ed in minor misura al Flysch di Ottone. Le caratteristiche morfologiche dei depositi franosi sono simili a quelle descritte per il settore emiliano (kp 11,0 – kp 14,0).

Nel lungo tracciato che segue il crinale della dorsale Monte del Laghetto – i Groppini – Monte Tanano, la morfologia del rilievo, costituito dal Complesso di Monte Veri e dal Flysch di Ottone, muta significativamente. I versanti sono caratterizzati da maggiore acclività media, e maggiore uniformità, con limitate variazioni di pendenza, le aste del reticolo idrografico hanno andamenti più lineari (KP 14,0 – KP 16,0). La morfologia non cambia sostanzialmente nel settore del tracciato che attraversa le Argille a Palombini, seguendo dapprima il crinale della dorsale che da Monte Tanano arriva a Costa della Meeia, nei pressi di San Pietro Vara, e successivamente i versanti della valle del Torza ed il primo tratto della val Petronio (kp 16,0 – kp 28,0).

Nel settore finale del tracciato, a SO del Monte Tassea (kp 33,0), il rilievo, costituito in gran parte da rocce ofiolitiche, assume caratteristiche di più accentuata acclività, che porta all'emergere di pareti rocciose affioranti. Il reticolo idrografico è più inciso (rio Frascarese, rio Campegli).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

In tale contesto, le informazioni topografiche di base, utilizzate per le analisi morfologiche, sono state ottenute partendo da un DTM (Digital Terrain Model) avente una risoluzione di 20 m. Applicando il codice Slope di ArcGIS, in grado di determinare la variazione massima di quota tra ogni cella e quelle circostanti, è stato possibile determinare i profili e le pendenze dell'area d'interesse.

La carta delle pendenze è stata anche utilizzata per stimare i coefficienti di amplificazione topografica (ST) previsti nelle NTC 2018 e che riguarda i fenomeni di focalizzazione o defocalizzazione delle traiettorie di propagazione delle onde sismiche che avvengono in configurazioni geomorfologiche particolari (rilievi, creste, avvallamenti, ecc.), suddividendo il territorio nelle diverse categorie topografiche previste dalla normativa (Tab. 3.2.III delle NTC 2018, Tab. 2/A).

**Tab. 2/A: Categorie topografiche previste dall'adozione della configurazione superficiale semplice (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 $i > 30^\circ$

## 2.2 Geologia-geotecnica

La caratterizzazione geologico-geotecnica dei terreni affioranti nell'area d'interesse è stata realizzata sulla base delle mappe geologiche, geomorfologiche già presenti (cartografia di base), integrata con le informazioni definite con i sopralluoghi, prove in sito e/o di laboratorio e dalla campagna geognostica (indagini dirette e indirette). Sulla base di questi dati è stata redatta una cartografia litotecnica e, in accordo con l'approccio semi-probabilistico delle NTC 2018, i valori caratteristici della resistenza meccanica dei suoli sono stati determinati per ogni unità individuata.

Pertanto, la caratterizzazione litotecnica ha avuto lo scopo di individuare zone omogenee, a ciascuna delle quali è stato associato un database contenente le informazioni relative ai parametri di resistenza al taglio ( $\varphi'$ ,  $c'$ ) e del peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ). La sigla delle unità litotecniche a cui sono associati i parametri geotecnici fa riferimento alle categorie di sottosuolo dell'approccio semplificato individuate nella Tab.3.2II delle NTC 2018 (Fig. 2/B).

Si precisa che la caratterizzazione dei terreni è stata definita considerando le informazioni geotecniche ricavate nel corso dell'attuale fase progettuale e dalla consultazione dei dati di letteratura.

Nel complesso, nel corso dell'attuale fase di progettazione, sono state svolte ed esaminati i risultati delle seguenti indagini geognostiche:

- n. 57 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche (DPSH);
- n. 22 MASW;
- n. 27 stendimenti con rilievi sismici a rifrazione;
- n. 27 stendimenti con rilievi geoelettrici.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

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>

**Fig. 2/B: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tab. 3.2.II delle NTC 2018)**

Nelle definizioni precedenti, la velocità equivalente rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

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

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

### 2.3 Azione sismica

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 2008), dalla Vita Nominale ( $V_N$ ) e dalla Classe d'Uso ( $C_U$ ) dell'opera.

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 ( $V_R$ ).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

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

**Fig. 2/C: Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.I delle NTC 2018).**

Le azioni sismiche sulle costruzioni sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, dal prodotto della vita nominale di progetto ( $V_N$ ) (Fig. 2/C) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018) (Fig. 2/D).

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

**Fig. 2/D: Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (Tab. 2.4.II delle NTC 2018)**

In accordo con il DPCM 3685/2003 il metanodotto in esame viene considerato opera strategica (Classe d'uso IV e 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, con  $V_N=50$  anni e  $C_U=2$  si ottiene un Periodo di Riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U = 100$  anni.

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 (a rottura).

I rispettivi valori di probabilità di superamento ( $P_{VR}$ ) sono forniti dalla sottostante Tabella 3.2.I delle NTC 2018 (Fig. 2/E).

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

**Fig. 2/E: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.I delle NTC 2018)**

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno ( $T_R$ ) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 14 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

Da tale formula e da quanto indicato nella Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 (Tabella C.3.2.I), si ottiene un periodo di ritorno di 100 anni per uno Stato Limite di Danno (SLD) e di 950 anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

### 2.3.1 Parametri di risposta sismica locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in assenza della valutazione dell'effetto della risposta sismica locale sulla base di analisi specifiche è possibile fare riferimento ad una metodologia semplificata basata sulle categorie di sottosuolo di riferimento e sulle categorie topografiche (Fig. 2/F e Fig. 2/G).

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

**Fig. 2/F: Espressioni per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) in funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.IV delle NTC 2018).**

Si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.V delle NTC 2018, in funzione delle categorie topografiche definite nella Fig. 2/G (Tab. 3.2.III delle NTC 2018) e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

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

**Fig. 2/G: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (Tab. 3.2.V delle NTC 2018)**

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 in Fig. 2/G.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale è possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione:

$$PGA = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (g)$$

In cui:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 15 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

- $S_S$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;  
 $S_T$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;  
 $a_g$  = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Pertanto, la carta della pericolosità sismica di base viene costruita in funzione dei valori del tempo di ritorno  $T_R$  considerati. Le verifiche di stabilità in condizioni sismiche sono state eseguite adottando il metodo pseudo-statico in cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno instabile; le componenti orizzontali e verticale di tale forza sono definite in funzione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e topografica ( $S_T$ ) e legate all'accelerazione di picco ( $a_g$ ).

### 2.3.2 Verifica in condizioni statiche

Il coefficiente di sicurezza ( $F_S$ ) è stato stimato partendo da una metodologia basata sulla teoria dell'equilibrio limite lungo un pendio indefinito (Graham, 1984). Tale assunzione considera una sezione caratterizzata da uno spessore unitario, in cui le forze agenti vengono quindi considerate parallele alla superficie di scivolamento.

L'analisi di stabilità è stata effettuata dividendo l'area di interesse in un numero finito di celle elementari (10mx10m), ognuna delle quali risulta indipendente dalle altre (nel nostro caso ogni cella mantiene la stessa risoluzione del DTM utilizzato).

Il valore del coefficiente di sicurezza è stato calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$F_S = \frac{c' + (\gamma - m \cdot \gamma_w) z \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi'}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

in cui:

- $c'$  = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso unitario del terreno;  
 $m$  = rapporto tra il livello della falda e lo spessore del suolo ( $z_w/z$ );  
 $\gamma_w$  = peso unitario acqua;  
 $z$  = spessore dello strato di suolo analizzato;  
 $\beta$  = pendenza della superficie di scivolamento;  
 $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio efficace.

L'equazione è stata successivamente implementata in ambiente GIS su tutta l'area ricoperta dal tracciato, potendo così determinare il coefficiente di sicurezza su ogni cella considerata.

### 2.3.3 Verifica in condizioni sismiche

Considerando la risposta sismica locale, la massima accelerazione attesa al sito può essere calcolata attraverso la seguente relazione semplificata:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 16 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

S = coefficiente che considera gli effetti di amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e topografica ( $S_T$ );

$a_g$  = accelerazione massima orizzontale attesa al bedrock.

I valori di  $\beta_s$  vengono suggeriti dalle NTC 2018 e variano in funzione del valore di  $a_g$  e delle categorie di sottosuolo del terreno (Fig. 2/H).

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

**Fig. 2/H: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima (Tab. 7.11.I delle NTC 2018)**

I calcoli sono stati eseguiti sulla base della seguente espressione (Lambe, Whitman, 1968 e Hadj-Hamou, Kavazanjian, 1985):

$$F_S = \frac{c' \left[ \gamma \cdot z \cdot \cos \beta \left( \cos \beta - k_h \cdot \sin \beta - m \frac{\gamma_w}{\gamma} \cos \beta \right) - \Delta u \right] \cdot \tan \varphi'}{\gamma \cdot z \cdot \cos \beta \cdot (\sin \beta + k_h \cdot \cos \beta)}$$

in cui:

$c'$  = coesione efficace;

$\gamma$  = peso unitario del terreno;

$z$  = spessore dello strato di suolo analizzato;

$\beta$  = pendenza della superficie di scivolamento;

$k_h$  = coefficiente sismico orizzontale =  $\beta_s \cdot a_{max}/g$  ;

$m$  = rapporto tra il livello della falda e lo spessore della coltre ( $z_w/z$ );

$\gamma_w$  = peso unitario acqua;

$\Delta u$  = sovrappressioni interstiziali;

$\varphi'$  = angolo d'attrito effettivo.

L'implementazione della presente formula in ambiente GIS ha consentito di evidenziare le aree caratterizzate da diverso valore di  $F_S$ , il quale è stato stimato per le situazioni limite sia in condizioni statiche (assenza di sisma) che dinamiche (presenza di sollecitazioni sismiche).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 17 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

### 3 DEFINIZIONE DEGLI INPUT

Come anticipato precedentemente, l'utilizzo di questa metodologia investigativa prevede che ad ogni unità geotecnica siano associati i parametri geotecnici di resistenza al taglio e peso dell'unità di volume che derivano dai risultati ottenuti dall'interpretazione dalle prove in sito e in laboratorio eseguite durante le indagini geognostiche e dal confronto con i dati di letteratura (Rif. REL-GEO-E-13022).

Ai fini della definizione di particolari condizioni di criticità è stata eseguita un'analisi dei parametri di risposta sismica locale (Rif REL-SIS-E-13026) lungo l'intera area di riferimento attraversata dai tracciati di progetto.

In particolare, lo studio della pericolosità sismica locale è stato valutato in base all'assunzione di un tempo di ritorno,  $T_R = 950$  anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV). Sulla base di tale assunzione è stato possibile definire i parametri di risposta sismica locale riferiti all'analisi dell'intero tracciato del metanodotto in progetto.

#### 3.1 Definizione delle categorie topografiche

L'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto è stata caratterizzata ovviamente dal punto di vista topografico; in particolare si è fatto riferimento alla Tab. 3.2.III delle NTC 2018 (Fig. 2/A) per l'identificazione delle categorie topografiche.

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

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

A ciascuna categoria topografica individuata nell'area interessata dal tracciato è stato assegnato il corrispondente coefficiente di amplificazione topografica secondo quanto previsto dalla Tab. 3.2.V delle NTC 2018 (Fig. 2/G):

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

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

#### 3.2 Definizione delle categorie di sottosuolo

Per la definizione delle categorie di sottosuolo dell'area interessata dal tracciato in progetto si fa riferimento a quanto indicato nella Tab. 3.2.II delle NTC 2018 (Tab. 2/B). La definizione delle categorie è stata eseguita utilizzando i risultati di n. 22 prove sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) eseguite lungo il tracciato.

La localizzazione delle prove sismiche è stata opportunamente riferita alle aree identificate come rappresentative dei contesti geologico-geomorfologici e litologici evidenziati lungo il tracciato di progetto. In relazione a tali contesti e ai profili di velocità

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 18 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

equivalente ( $V_{s,eq}$ ) ricavati dalle prove MASW, è stata attribuita all'unità litotecnica coinvolta la categoria di sottosuolo corrispondente.

Nella tabella sottostante (Tab. 3/A) 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. A questo proposito si fa riferimento alla relazione delle indagini geotecniche (REL- GEO-E-13024) per i profili di dettaglio.

**Tab. 3/A: Categorie di sottosuolo dei vari contesti geomorfologici e litologici**

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

Come si può osservare dalla Tab. 3/A, le velocità equivalenti registrate dalle MASW variano da un minimo di 285 m/s ad un massimo di 688 m/s. Dai dati ottenuti si può affermare che, ai fini delle NTC 2018, le categorie di sottosuolo dei siti indagati ricadano nella classe B. A questa, occorre aggiungere una parte di terreni con affioramenti rocciosi rilevati nel corso dei sopralluoghi tecnici e che ricadono nella categoria A.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 19 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

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

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

### 3.3 Caratterizzazione geologico-geotecnica del tracciato di progetto

Il territorio interessato dalla realizzazione del metanodotto in esame appartiene alle province di Parma, Genova e La Spezia ed è compreso nei fogli CARG a scala 1.50.000 n. 232 – Sestri Levante, n. 215 – Bedonia e n. 216 Borgo Val di Taro.

La caratterizzazione geologica è stata elaborata utilizzando le informazioni presenti nelle note illustrative della cartografia indicata ed è stata implementata con rilievi di dettaglio in alcuni tratti.

Inoltre, considerando anche le informazioni geotecniche acquisite in sito e presenti in bibliografia, è stato possibile accorpate le unità litostratigrafiche che presentano caratteristiche fisico-meccaniche simili e proporre la seguente classificazione (Tab. 3/B):

**Tab. 3/B: Definizione delle unità litotecniche individuate**

Formazioni e depositi	Sigla	Unità Litotecniche	Descrizione
Arenarie di Ponte Bratica - litofacies siltosa	ARB	A1	Formazioni rocciose competenti
Arenarie di Scabiazza - litofacies pelitica policroma	SCB		
Arenarie di Campi	ACM		
Arenarie di Ponte Bratica	ARB		
Calcarei a Calpionella	CCL		
Arenarie di Monte Gottero	GOT		
Brecce di Monte Capra	BMC		
Brecce di Monte Zenone	BMZ		
Flysch di Ottone	OTO		
Arenarie di Scabiazza	SCB		
Arenarie di Scabiazza - brecce argillose	SCB		
Flysch di Testanello	TST		
Basalti	BST	A2	Formazioni rocciose molto competenti
Gabbri	GBB		
Diaspri del Monte Alpe	DSA		
Serpentiniti	SRN		
Complesso di Casanova - argille a blocchi	CCV	B1	Formazioni argillose consistenti
Complesso di Casanova - litofacies argillitico-siltitica	CCV		
Deposito di versante a granulometria fine	dv		
Complesso di Monte Veri	MVE		
Scisti Zonati della Forcella	SZO		
Deposito di versante a granulometria grossolana	dv	B2	

File dati: nr20045-rel-sis-e-13025\_r0

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 20 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

Formazioni e depositi	Sigla	Unità Litotecniche	Descrizione		
Detrito di versante s.l.	dv		Depositi di versante a granulometria grossolana		
Conoide torrentizia attiva	i1				
Argille e calcari di Canetolo	ACC	B3	Formazioni argillose molto consistenti		
Argille a palombini di Monte Rizzone	AMR				
Argille a Palombini	APA				
Olistolite di Argille a Palombini nella Formazione di Tavarone	APA				
Complesso di Casanova - argille a Palombini	APA				
Formazione di Tavarone	FCT				
Argilliti di Giaiette	GTT				
Argilliti di S. Siro	SSI				
Sintema emiliano-romagnolo superiore - Substema di Ravenna	b			B4	Depositi alluvionali a granulometria prevalentemente grossolana
Sintema emiliano-romagnolo superiore - Substema di Ravenna - unità di Modena	b				
Deposito alluvionale terrazzato	bn				
Deposito alluvionale attuale	b				
Olistolite di Calcare a Calpionella in Argille a Palombini	cl	B5	Olistoliti		
Olistolite di calcari marnosi nella Formazione di Tavarone	cm				
Olistolite di gabbro in Argille a Palombini	GBB				
Olistolite di serpentinite in Argille a Palombini	SRN				
Frana in evoluzione	a1	C1	Depositi di frana attiva		
Frana molto elevata P4	PAI				
Frana elevata P3	PAI	C2	Depositi di frana quiescente		
Frana quiescente	a1				

La parametrizzazione delle diverse unità ha permesso la costruzione di un modello geologico-geotecnico affidabile del sottosuolo lungo tutto il settore attraversato dal tracciato del metanodotto.

In riferimento all'analisi della stabilità dei versanti all'interno del corridoio identificato, la cartografia litotecnica è stata opportunamente integrata con gli elementi del dissesto censiti nel PAI delle regioni Emilia Romagna e Liguria e rilevati in sito.

Il metodo adottato consente una valutazione preliminare della suscettibilità delle aree potenzialmente instabili. In particolare, l'approccio permette di individuare le zone potenzialmente soggette a frane di prima e seconda generazione (ovvero frane di nuova attivazione, propriamente cosismiche, e riattivazioni di frane preesistenti ad un evento sismico).

Nella Tab. 3/C sottostante vengono riportati i parametri geotecnici attribuiti alle unità litotecniche presenti nella cartografia di base e ai depositi di frana individuati.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 21 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

**Tab. 3/C: Parametrizzazione delle unità litotecniche**

Unità litotecniche	Categoria di sottosuolo	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Coesione (kPa)
A1	A	24	35	40
A2	A	24	40	100
B1	B	19	26	10
B2	B	20	28	5
B3	B	20	26	20
B4	B	20	28	5
B5	B	22	30	30
C1	C	18	22	0
C2	C	18	24	5

Per la visualizzazione grafica della distribuzione delle unità litotecniche attraversate dal tracciato di progetto si rimanda all'Allegato 4 "Carta Litotecnica".

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 22 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

### 3.4 Definizione della PGA (Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV)

La stima dell'accelerazione orizzontale di picco in superficie PGA (Peak Ground Acceleration) 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  $a_g$ :

$$PGA = a_g \cdot S$$

Il coefficiente  $S$ , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_S \cdot S_T$$

in cui:

$S_S$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica.

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

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

Per ogni punto dell'area di studio, i valori di accelerazione al bedrock sono moltiplicati per i differenti coefficienti di amplificazione  $S$  individuati nei punti corrispondenti. I risultati del calcolo eseguito hanno permesso di stimare i valori puntuali di accelerazione massima attesa al suolo (PGA).

In particolare, per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni), i valori ottenuti sono compresi all'interno del seguente range:

- **PGA = 0,151 ÷ 0,390 g .**

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".

### 3.5 Considerazioni sugli spessori di coltre

Nel presente studio, con il termine di coltre si fa riferimento a tutte le coperture e i depositi superficiali cartografati all'interno dell'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto. Tra queste rientrano i detriti di versante, i depositi alluvionali (fluviali attuali, recenti e terrazzati), le coltri eluvio-colluviali e i depositi di frana (compresi sia i depositi provenienti dalla cartografia geomorfologica che le aree censite dal PAI).

In relazione alla metodologia investigativa adottata, vista la variabilità morfologica del territorio, le tipologie di coperture presenti e le matrici litologiche coinvolte, si è ritenuto di attribuire alla coltre uno spessore medio uniforme di 5 m.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 23 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

### 3.6 Definizione del livello piezometrico di progetto

Il livello piezometrico di progetto all'interno dell'area interessata dall'opera è stato definito avvalendosi dei dati bibliografici e di quelli ottenuti dai rilievi idrogeologici eseguiti.

Il territorio è stato classificato con 3 differenti livelli piezometrici di riferimento, attribuiti sulla base del contesto geologico-geotecnico e morfologico (piana alluvionale e versanti):

- Falda localizzata al piano campagna;
- Falda posta a -2.5 m di profondità dal p.c.;
- Falda posta ad una profondità superiore a -5 m dal p.c. (spessore massimo assunto per la coltre).

In via cautelativa, in questo primo livello di analisi su scala areale, è stata assegnata una falda al piano campagna a tutte le coltri poste lungo i fondivalle, caratterizzate da depositi alluvionali recenti e terrazzati.

Alle coltri poste in condizioni morfologiche sfavorevoli (pendii e versanti), caratterizzate da depositi detritici di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi di frana, è stato assegnato un livello piezometrico posto a -2.5 m di profondità dal piano campagna.

Al *bedrock* affiorante, individuato dalla cartografia geologica di base, è stata infine assegnata una profondità della falda superiore ai -5 metri dal piano campagna.

In riferimento alle possibili condizioni di falda prossima al piano campagna, come meglio specificato nella relazione idrogeologica (REL-CI-E-13029), si potrebbero avere delle interazioni temporanee con lo strato di saturazione, anche in relazione alle variazioni stagionali, esclusivamente durante le fasi di realizzazione dello scavo di posa.

Infatti, al termine delle operazioni di posa della condotta, sarà ricostituita la stratigrafia originaria, ripristinando di fatto le condizioni ante operam.

Nel corso dei lavori, in caso di presenza di acqua nei terreni superficiali, saranno adottati gli accorgimenti tecnici necessari ad eseguire scavi e posa in asciutto.

L'aggettamento dell'acqua dagli scavi potrà prevedere l'utilizzo di pompe ad immersione, di impianti well point o la realizzazione di altri interventi a carattere temporaneo che assicurino la loro efficacia ed efficienza per tutto il tempo necessario alla realizzazione delle opere civili e meccaniche.

Si esclude una variazione permanente dell'andamento delle acque sotterranee conseguente alla posa della linea, in quanto i flussi idrici sotterranei potranno subire una deviazione soltanto in corrispondenza della condotta, per poi ritornare, a lungo termine, alla loro condizione di equilibrio.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 24 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 4 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI

Il corridoio analizzato è caratterizzato da zone pianeggianti in corrispondenza dei fondivalle dei torrenti maggiori, da pendii con inclinazione media e da rilievi con creste la cui larghezza è molto minore rispetto alla loro base.

Lo studio effettuato mostra che le interferenze tra il tracciato del metanodotto in progetto e le aree a criticità geomorfologica sono limitate, sia in condizioni statiche (assenza di sisma), sia in presenza di sollecitazioni sismiche.

La maggior parte di queste è identificata da aree già censite nella cartografia di riferimento (Regione Emilia-Romagna e regione Liguria).

Nell'analisi sono stati presi come riferimento tre valori significativi del coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ), basati sulla verifica della condizione di uguaglianza tra sforzi mobilitati e sforzi disponibili:

- $F_s < 1$                       *Condizione instabile*
- $1 < F_s < 1,3$                 *Condizione di attenzione*
- $F_s > 1,3$                       *Condizione stabile*

Questo approccio consente di evidenziare anche quelle aree che, sebbene abbiano un coefficiente di sicurezza maggiore di 1 e non siano quindi in condizioni di instabilità tali da necessitare verifiche di maggior dettaglio, possono comunque essere oggetto di una rivalutazione dei dati di input e delle effettive condizioni geomorfologiche.

In generale, la pericolosità di base in condizioni statiche tende ad aumentare di criticità sotto l'effetto dell'azione sismica (condizioni dinamiche). Questo incremento di pericolosità è rappresentato sia in termini spaziali, legato ad un aumento dell'area instabile coinvolta, sia in termini di criticità stessa, in quanto si assiste ad una diminuzione generale del coefficiente di sicurezza delle aree individuate.

Il coefficiente  $F_s$  è stato valutato entro un preciso riferimento spaziale. Pertanto, è stato opportunamente considerato lo spessore delle coltri (5 m) come potenziale superficie di scorrimento della massa lungo il pendio (considerato indefinito).

Nel capitolo successivo sono descritte le zone che hanno presentato un livello alto di criticità ( $F_s < 1$ ) che interferiscono con i tracciati in oggetto, o ubicate in prossimità di essi, comportando di fatto un rischio potenziale per l'opera.

### 4.1 Valutazione della stabilità dei versanti in condizioni statiche e dinamiche

Nell'Allegato 5 "Carta della stabilità dei versanti in condizioni statiche" è rappresentata la valutazione della stabilità dei versanti in condizioni di assenza di azioni sismiche, mentre nell'Allegato 6 "Carta della stabilità dei versanti in condizioni dinamiche" è riportata la valutazione della stabilità dei versanti in presenza di sollecitazioni sismiche (con accelerazioni orizzontali massime attese al suolo per un tempo di ritorno  $T_R=950$  anni).

In generale, si osserva che i movimenti gravitativi risultano localizzati specialmente nel versante emiliano e più montuoso dell'area di studio, nel comune di Albareto.

Le aree a criticità più elevata evidenziate dalle analisi corrispondono alle zone già censite all'interno del PAI o a frane segnalate nella cartografia geomorfologica o presenti nel catalogo IFFI.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 25 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

In Tabella 4/A sono elencate le località delle potenziali aree instabili (con  $F_S < 1$ ) che interferiscono con l'opera in progetto e le lunghezze indicative delle interferenze riferite alle progressive del tracciato in progetto.

**Tab. 4/A: Localizzazione delle potenziali aree critiche interferenti con il tracciato di progetto (Rif. Allegati 5 e 6)**

ID	Da km	A km	Località	Comune	Interferenza con aree censite
<b>Rif. Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16"), DP 75 bar ed opere connesse</b>					
01	9,360	9,370	Pianello	Albareto (PR)	PAI-IFFI
02	22,740	22,770	Legi di sopra	Varese ligure (SP)	PAI-IFFI
03	30,930	31,050	Il Poggio	Castiglione Chiavarese (GE)	PAI

In particolare, l'area identificata con il codice ID03 (loc. "Il Poggio"), risulta critica già in condizioni statiche, mentre per le altre due aree si rileva un livello di criticità elevato solamente in condizioni dinamiche.

Le aree di interferenza riportate in Tabella 4/A sono trattate con maggior dettaglio nel successivo Capitolo 5 "Schede monografiche delle interferenze con le aree critiche".

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 26 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 5 SCHEDE MONOGRAFICHE DELLE INTERFERENZE CON LE AREE CRITICHE

In questo capitolo sono riportate le schede monografiche relative alle tre zone di interferenze con le potenziali aree critiche individuate.

Ciascuna scheda comprende:

- stralcio planimetrico dell'area in scala 1:10.000 con indicazione dei risultati dell'analisi eseguita in condizioni statiche e in condizioni dinamiche;
- stralcio della carta geologica in scala 1:10.000 con indicazione delle indagini geognostiche eseguite;
- descrizione dell'area interessata dai tracciati in progetto;

Le schede sono state compilate valutando un insieme di informazioni, quali:

- risultati ottenuti dall'analisi areale di stabilità dei pendii (in condizioni statiche e dinamiche);
- dati acquisiti nel corso di sopralluoghi tecnici;
- dati provenienti dai risultati delle indagini geognostiche.

Le schede monografiche compilate contengono gli stralci di entrambe le analisi effettuate: condizioni statiche (asismiche) e condizioni dinamiche (sismiche).

In tal modo è stato possibile porre in correlazione diretta le analisi svolte, evidenziando il sensibile aumento del livello di criticità sotto l'azione sismica dei fenomeni gravitativi sia nei contesti già caratterizzati da dissesto in condizioni statiche sia in quelli che non presentavano tale peculiarità. La tabella successiva (Tab. 5/A) riassume i risultati dello studio dell'analisi di stabilità areale (I livello) comparati con le verifiche di stabilità puntuali (II livello) laddove eseguite (ID01, ID03). In ID02 il tracciato di progetto è in trenchless a profondità rilevanti dal piano campagna (da un minimo di 47 metri fino ad un massimo di 125 metri) e per questo motivo la verifica di stabilità non è stata effettuata.

**Tab. 5/A: Comparazione tra l'analisi di stabilità areale e le verifiche di stabilità puntuali nelle aree di interesse**

ID Area	Studio Analisi Areale Statica	Studio Analisi Areale Dinamica	Verifica di stabilità in condizione Statiche	Verifica stabilità in condizioni Dinamiche	Note
ID01	FS>1	FS<1	FS>1	FS>1	/
ID02	FS>1	FS<1	non applicabile	non applicabile	Tracciato in trenchless
ID03	FS<1	FS<1	FS>1	FS>1	/

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 27 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

5.1 ID01 Località: "Pianello" Comune: Albareto (PR)

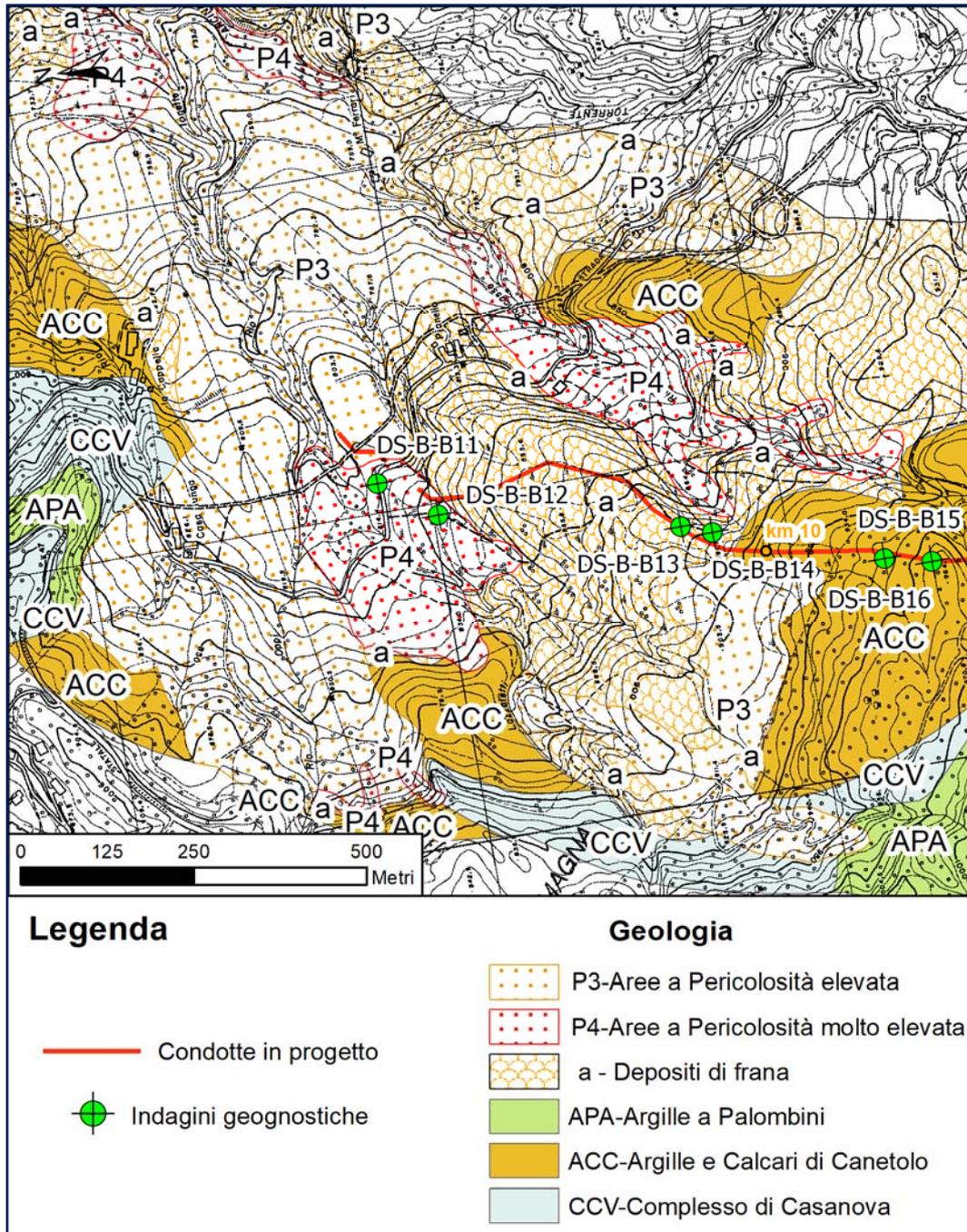


Fig. 5.1/A: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle formazioni geologiche affioranti e delle indagini eseguite

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 28 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

Descrizione dell'area:

Poco prima della località "Pianello", in corrispondenza del PIL n. 1, a monte della strada, la linea di progetto attraversa un'area in frana per un breve tratto (circa una trentina di metri), considerata a pericolosità molto elevata (P4) nella cartografia PAI e un deposito di frana attiva complessa nella cartografia IFFI (movimenti n° 0340094800 e 0340091700, Inventario Fenomeni Fransi Italiani, schede in Allegato 7). Il tracciato di progetto poi passa all'interno di un vasto deposito detritico, valutato come accumulo franoso quiescente nella cartografia CARG. L'accumulo franoso termina grosso modo in corrispondenza di una significativa rottura di pendio. Risalendo il versante lungo la massima pendenza il tracciato percorre una vasta area occupata da sequenze delle Argille e calcari di Canetolo. Il tracciato di progetto in questo tratto sarà posato tramite scavo a cielo aperto (Fig. 5.1/A).

L'area è stata investigata con indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) e indirette (profili sismici e geoelettrici) per individuare lo spessore della coltre e delle formazioni attraversate e per definire le caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

Le stratigrafie, i profili e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolti nella Relazione geotecnica (sintesi indagini eseguite; REL-GEO-E-13024).

Tale area è stata oltremodo investigata anche tramite l'esecuzione di verifica di stabilità riportata nel documento "Verifica di stabilità in versanti potenzialmente critici" (REL-GEO\_E-13036) a cui si rimanda per le opportune considerazioni. Di seguito si riportano le considerazioni riassuntive:

*"...Dalle verifiche di stabilità si sono ricavati coefficienti di sicurezza superiori ad 1,1 per tutte le superfici di scorrimento potenziali, anche in condizioni sismiche. Le caratteristiche geologico-geomorfologiche rilevate e i risultati delle verifiche di stabilità indicano uno stato di quiescenza - stabilità del settore dell'accumulo franoso esaminato. Tenuto anche conto della modesta lunghezza dell'attraversamento del corpo di frana si può ritenere che l'intervento sia pienamente compatibile con l'assetto geologico-geomorfologico dell'area." La tabella successiva riassume i coefficienti FS ottenuti dai calcoli delle verifiche di stabilità per cui si fa riferimento al documento sopra citato:*

**Tab. 5.1/A: Coefficienti FS ottenuti dai calcoli delle verifiche di stabilità**

Metodi di calcolo	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche kv verso l'alto	Condizioni dinamiche kv verso il basso
Bishop	1,549	1,091	1,042
Spencer	1,549	1,094	1,045
Lowe-Karafiath	1,550	1,085	1,037
Morgenstern -Price	1,551	1,092	1,044

Osservazioni:

In considerazione delle caratteristiche morfologiche e litologiche e di tutte le indagini condotte, e considerando gli esiti delle verifiche di stabilità effettuate, l'attraversamento dell'area è previsto con metodologia di scavo a cielo aperto, senza peggiorare le condizioni di stabilità del versante (Fig. 5.1/B). Sono previste inoltre opere di drenaggio superficiale quali opere di mitigazione e ripristino (PG-OM-D-1321, in scala 1:10000).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 29 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

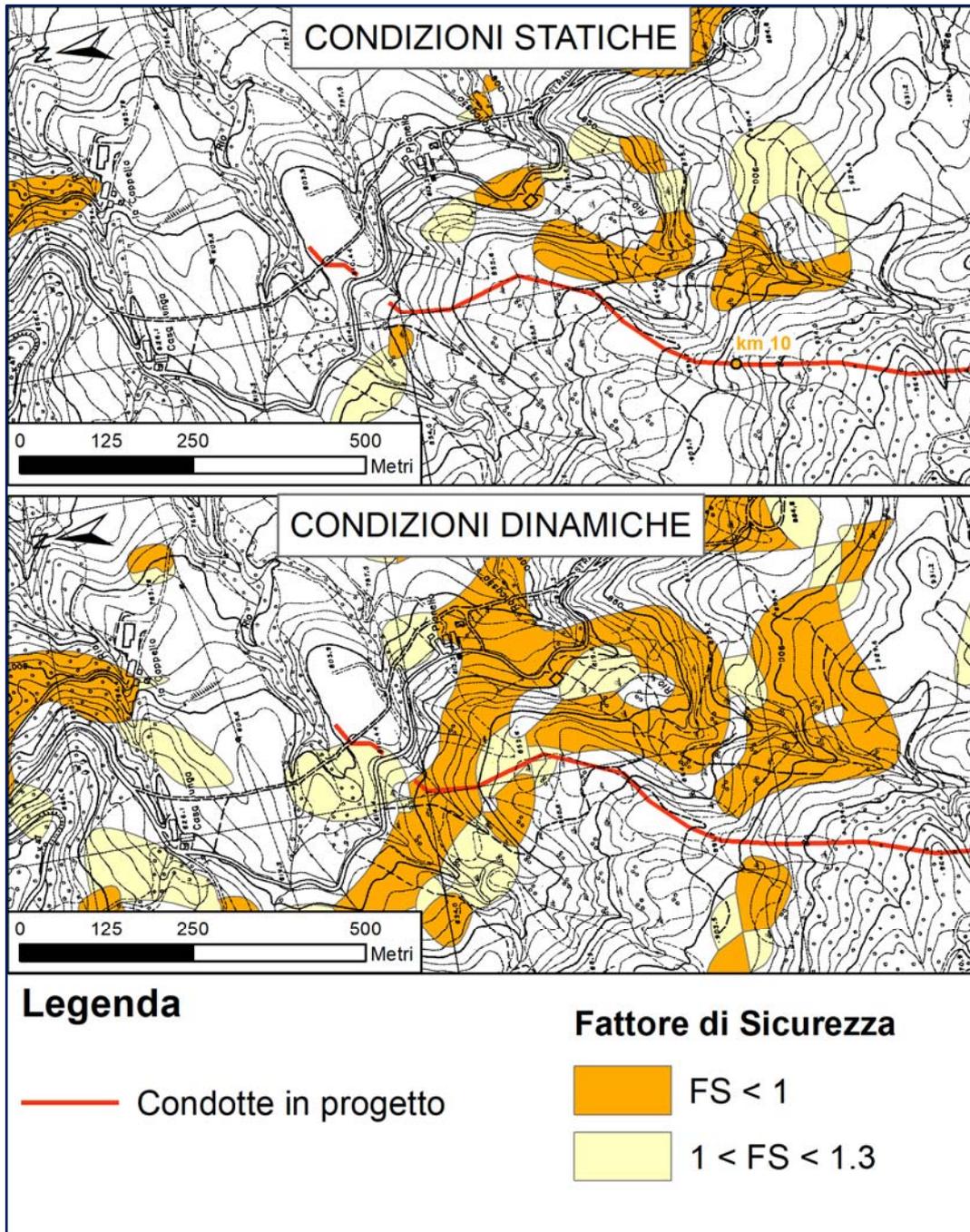


Fig. 5.1/B: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 30 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

5.2 ID02 Località: "Legi di Sopra"

Comune: Varese ligure (SP)

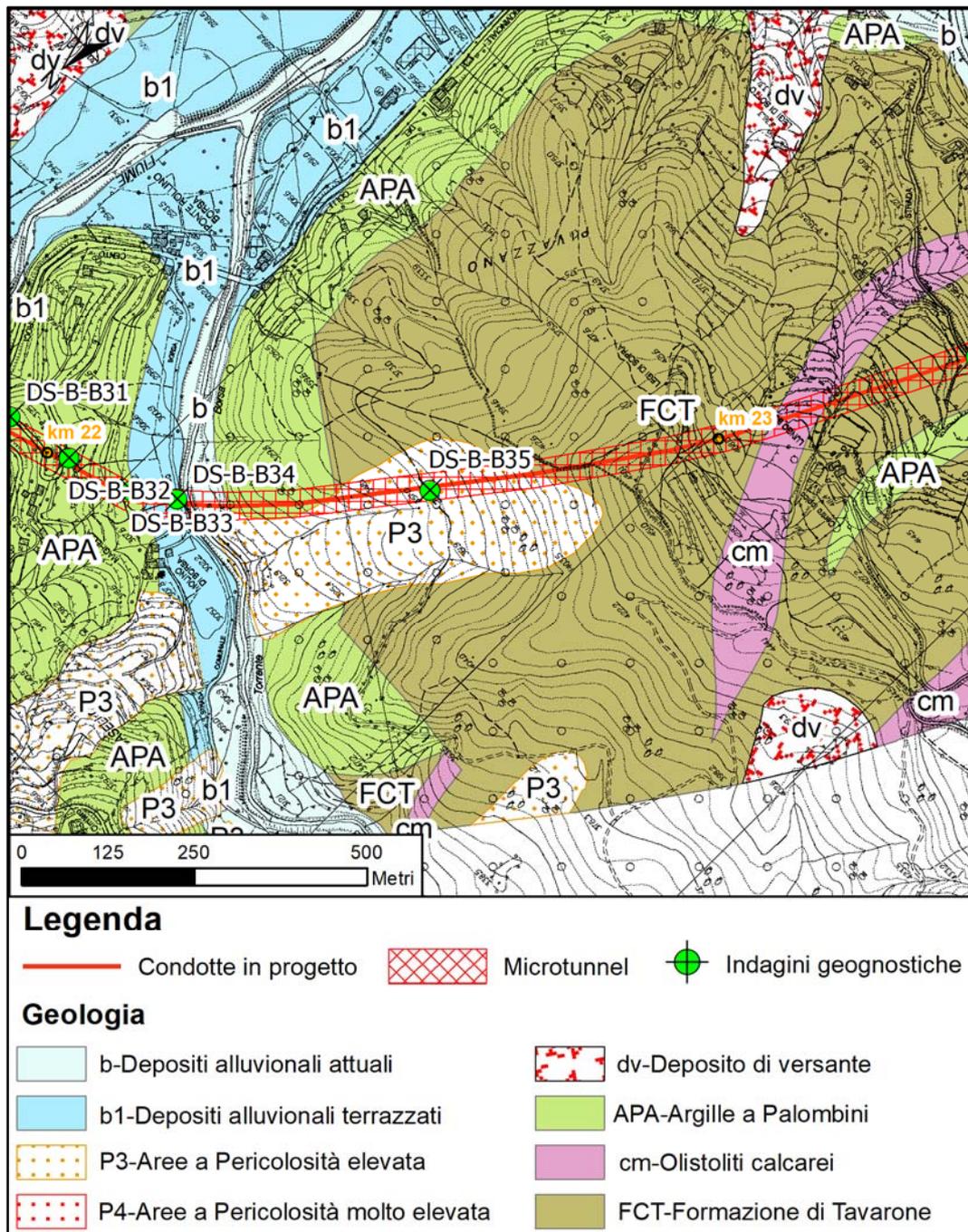


Fig. 5.2/A: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle formazioni geologiche affioranti e delle indagini eseguite

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 31 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

Descrizione dell'area:

Dopo aver attraversato il torrente Borsa con il minitunnel Cembrano, il tracciato di progetto rimane ancora in trenchless all'interno di un lungo minitunnel (San Pietro Vara) che parte dal versante sinistro della valle del Borsa, in corrispondenza dell'imbocco di valle del Cembrano, e percorre i rilievi collinari che separano la valle del Borsa da quella del Torza, costituiti principalmente dalla formazione di Tavarone.

Tra il km 22,425 e il km 22,730 è censita un'area PAI ad elevata pericolosità (P3) definita come un colamento lento all'interno del progetto IFFI (movimento n° 0111025300, Inventario Fenomeni Franosi Italiani, in allegato), quiescente.

In questo tratto il tracciato di progetto si trova appunto in trenchless a profondità molto elevate comprese rispettivamente tra i 47 e i 125 metri dalla quota del piano campagna, quindi ben al di sotto della eventuale coltre del movimento di interesse.

L'area è stata comunque investigata con indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) e indirette (profili sismici e geoelettrici) per individuare lo spessore della coltre e delle formazioni attraversate e per definire le caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

Le stratigrafie, i profili e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolti nella Relazione geotecnica (sintesi indagini eseguite - REL-GEO-E-13024).

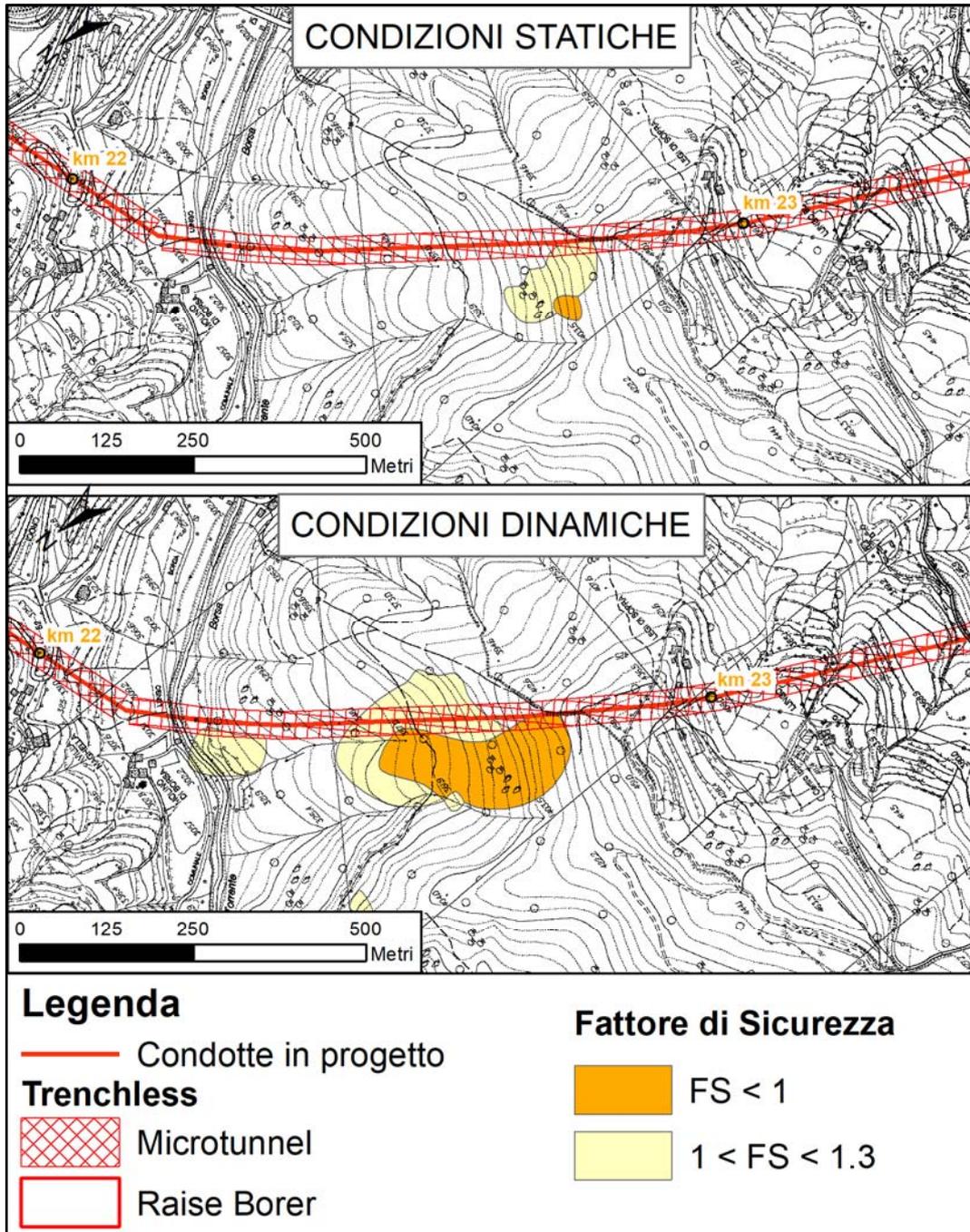
Osservazioni:

In considerazione della presenza delle zone di dissesto censite ed evidenziate anche dal presente studio (Fig. 5.2/B), si è eseguito uno studio sulla compatibilità geomorfologica delle aree PAI (REL-GEO-E-13027) nel quale si analizza il fenomeno gravitativo e si descrive la metodologia di attraversamento scelta (MT).

Le caratteristiche geometriche e i profili dell'opera trenchless sono forniti nell'elaborato DIS-AT-5B-11222.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 32 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

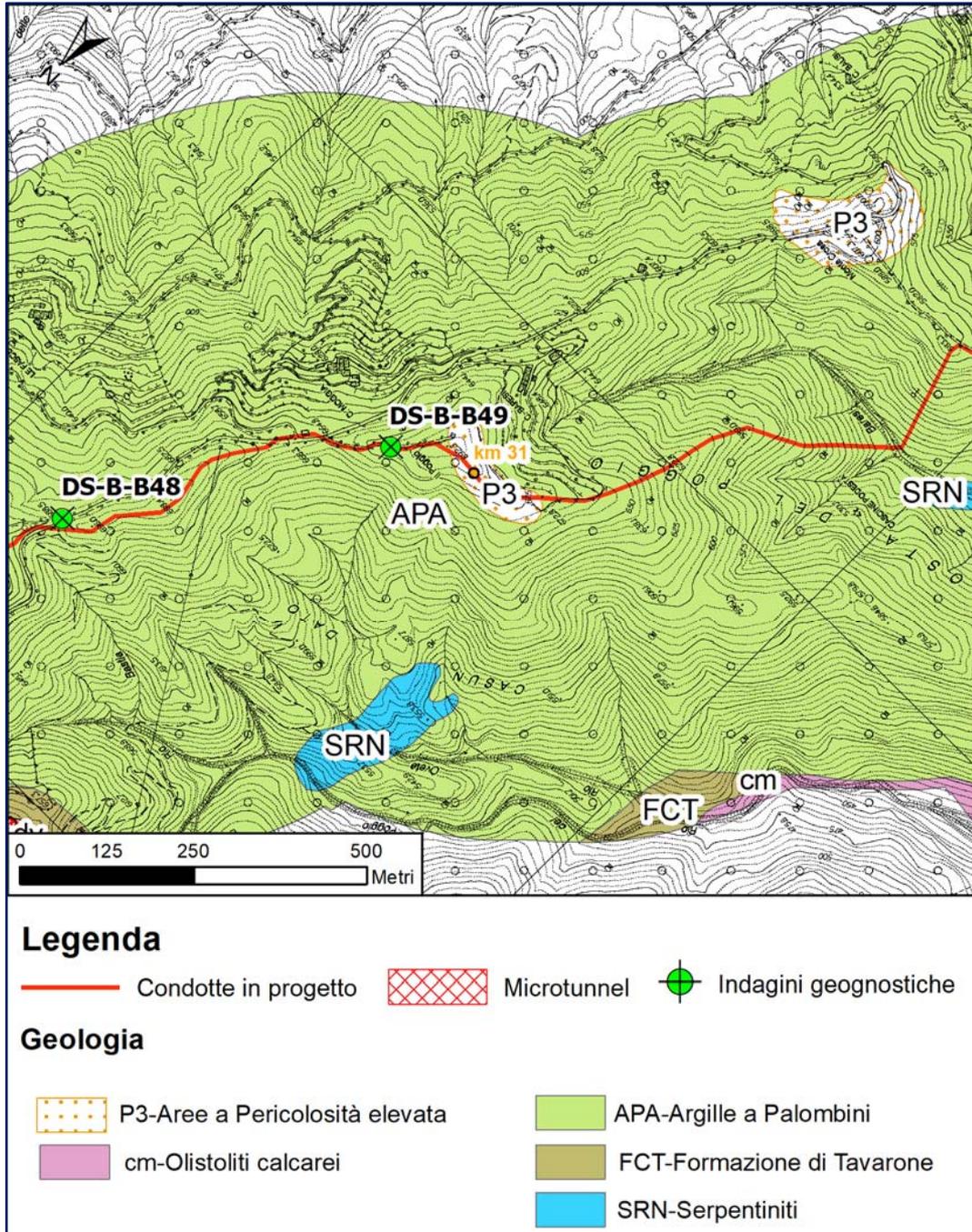


**Fig. 5.3/B: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 33 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

**5.3 ID03 Località: "Il Poggio" Comune: Castiglione Chiavarese (GE)**



**Fig. 5.3/A: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle formazioni geologiche affioranti e delle indagini eseguite**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 34 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

Descrizione dell'area:

Risalito il versante destro della valletta lungo Costa Fascette, la linea segue successivamente per un tratto di oltre 5 km il crinale della dorsale Monte Fascette – Monte Bastia - Il Poggio – Monte Tassea – Monte Frascati. Per un breve tratto tra il Poggio e Monte Crosa, la linea di progetto scende lungo Costa del Poggio fino all'alveo del rio Baresi e poi risale sul crinale. Le Argille a palombini affiorano per gran parte della dorsale.

Tra il km 30,955 e il km 31,110, in località Il Poggio, il tracciato di progetto attraversa in cresta un rilievo collinare costituito dalla formazione delle Argille a Palombini ed interferisce con un'area PAI ad elevata pericolosità (P3).

L'area è stata investigata con indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) e indirette (profili sismici e geoelettrici) per individuare lo spessore della coltre e delle formazioni attraversate e per definire le caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

Le stratigrafie, i profili e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolti nella Relazione geotecnica (sintesi indagini eseguite - REL-GEO-E-13024).

Tale area è stata oltremodo investigata anche tramite l'esecuzione di verifica di stabilità riportata nel documento "Verifica di stabilità in versanti potenzialmente critici" (REL-GEO\_E-13036) a cui si rimanda per le opportune considerazioni. Di seguito si riportano le considerazioni riassuntive:

*"...L'assenza di indicazioni di movimento nel settore della nicchia di distacco (non vi sono fratture di tensione nel crinale, i terrazzamenti del versante sud del rilievo sono sostanzialmente integri) e l'assenza di un accumulo detritico a valle suggeriscono che il movimento franoso, se mai avvenuto, si sia verificato in tempi remoti, perché quasi completamente obliterata ne è la morfologia, e che un arretramento della zona di distacco di dimensioni tali da coinvolgere il metanodotto in progetto si possa ragionevolmente escludere. Tale conclusione è confermata anche dai risultati delle verifiche di stabilità (fattori di sicurezza ampiamente superiori al limite di 1,1). La tabella successiva riassume i coefficienti FS ottenuti dai calcoli delle verifiche di stabilità per cui si fa riferimento al documento sopra citato:*

**Tab. 5.1/A: Coefficienti FS ottenuti dai calcoli delle verifiche di stabilità**

Metodi di calcolo	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche kv verso l'alto	Condizioni dinamiche kv verso il basso
Bishop	2.241	1.947	1.906
Spencer	2.235	1.944	1.902
Lowe-Karafiath	2.250	1.927	1.889
Morgenstern -Price	2.236	1.946	1.902

Osservazioni:

In considerazione delle caratteristiche morfologiche e litologiche e di tutte le indagini condotte, e considerando gli esiti delle verifiche di stabilità effettuate, l'attraversamento dell'area è previsto con metodologia di scavo a cielo aperto, senza peggiorare le

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 35 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

condizioni di stabilità del versante (Fig. 5.3/B). Sono previste inoltre opere di drenaggio superficiale quali opere di mitigazione e ripristino (PG-OM-D-1321, in scala 1:10000).

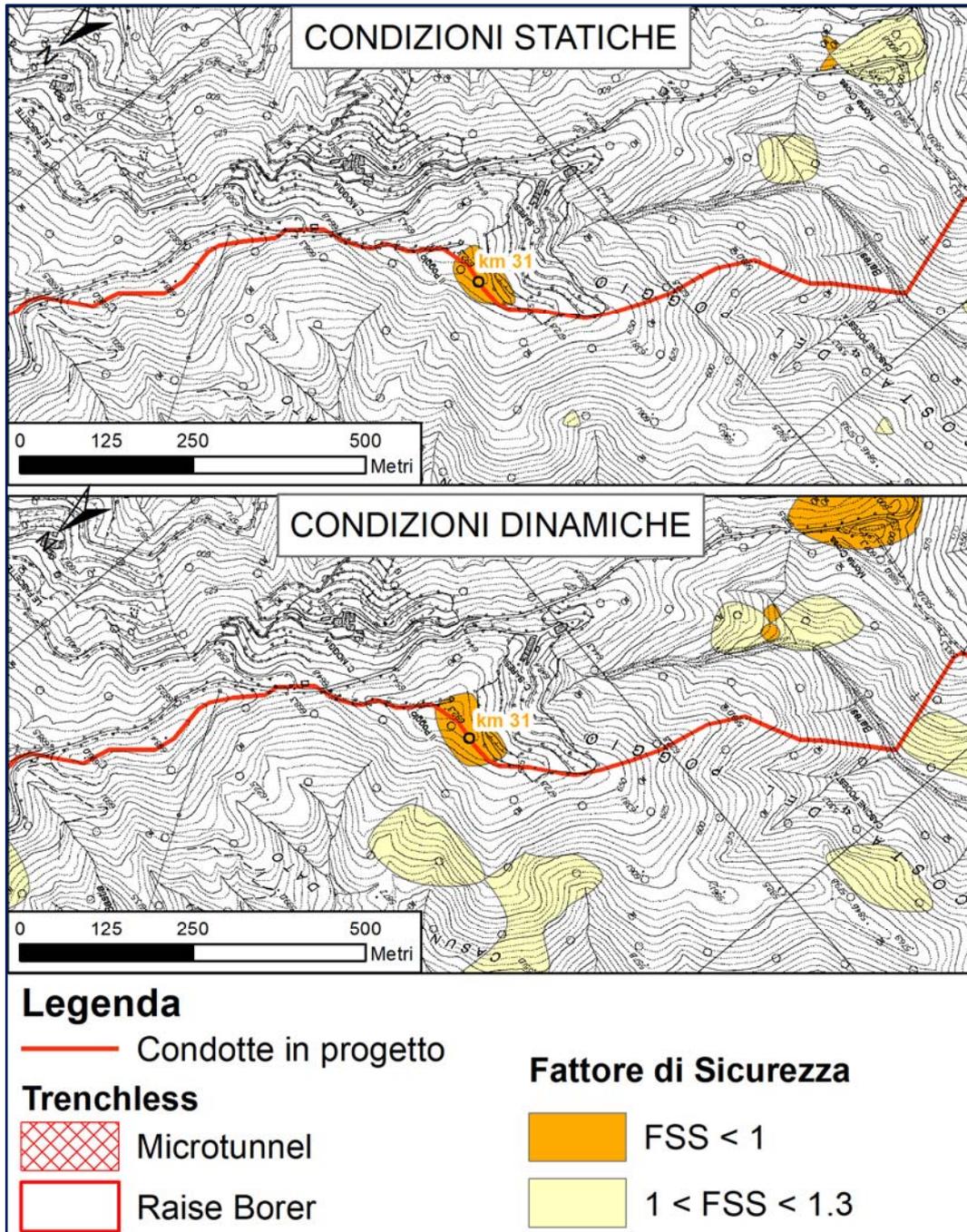


Fig. 5.3/B: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 36 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi geomorfologica areale eseguita per il tracciato del Rif. Derivazione per Sestri Levante ha richiesto la caratterizzazione di diversi parametri lungo l'asse del tracciato, quali:

- classi topografiche;
- classi di sottosuolo;
- unità geologiche-geotecniche affioranti;
- valore atteso di PGA;
- spessori delle coltri;
- livello piezometrico.

La parametrizzazione lungo il tracciato di questi valori è stata realizzata utilizzando dati bibliografici disponibili (es: banche dati e carte tematiche ufficiali; siti istituzionali quali ISPRA, INGV; etc.) e dati di progetto. Inoltre, per alcune aree sono stati eseguiti approfondimenti con prove sismiche (MASW).

La verifica della stabilità dei versanti attraversati dal tracciato di progetto è stata eseguita con il metodo dell'equilibrio limite di un pendio indefinito considerando due condizioni:

- condizioni statiche (assenza di azione sismica);
- condizioni dinamiche (massima azione sismica attesa) con metodo pseudo-statico.

I parametri utilizzati per le verifiche sono stati definiti in accordo alle procedure riportate nella normativa vigente (NTC 2018).

Nonostante il tracciato di progetto percorra in maniera prevalente zone di cresta e di crinale e quindi terreni prettamente montuosi e acclivi, nel corridoio esaminato sono state individuate solamente tre aree critiche che interferiscono direttamente con il tracciato in progetto. In due casi (ID01 e ID03) le aree sono attraversate con metodologia di scavo a cielo aperto, mentre in un caso (ID02) l'area viene attraversata con metodologia trenchless (microtunnel). Nelle due aree attraversate a cielo aperto sono previste inoltre opere di drenaggio quali opere di mitigazione e ripristino (PG-OM-D-13211, in scala 1:10000).

### 6.1 Misure di mitigazione

In generale, lo studio completo per la valutazione del rischio di una condotta che attraversa un'area in frana richiede una definizione approfondita del livello di pericolosità che caratterizza il dissesto (i.e. deformazione permanente del terreno), e successivamente, una verifica strutturale dell'opera all'azione attesa.

La risposta della modellazione strutturale fornisce lo stato tensionale indotto sulla condotta dalla deformazione del terreno circostante. Laddove i valori tenso-deformativi della condotta risultino elevati rispetto ai limiti di riferimento, si procede con la valutazione di eventuali soluzioni di mitigazione.

Nello specifico, al termine delle verifiche sullo stato di stabilità dei versanti attraversati dal tracciato del metanodotto in progetto (REL-GEO\_E-13036) e della metodologia di attraversamento scelta, si ritiene che non siano necessari interventi di mitigazione specifici da adottare per aumentare la sicurezza della condotta.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20045</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Emilia-Romagna – Regione Liguria	<b>REL-SIS-E-13025</b>	
	<b>PROGETTO/IMPIANTO</b> Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 37 di 37	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-190/A\_SPC-LA-E-83025

## 7 BIBLIOGRAFIA

Autorità di bacino regionale della Liguria (2013) – *Piano di bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico, Ambito di bacino 17 torrente Petronio* – Relazione generale.

Bortolotti V. et al. (2014) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 232 – Sestri Levante*.

Elter P. et al. (2005) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 215 – Bedonia*.

Graham J., (1984). *Methods of stability analysis*. In: Slope instability, Eds D. Brunsen and D.B.Prior. Wiley and Sons, New York, pp 523-602.

Marroni M., Meccheri M. (1993) – *L'unità di Colli-Tavarone in alta val di Vara: caratteristiche litostratigrafiche e assetto strutturale* – Boll. Soc. Geol. It. 112.

Principi G. (1973) – *Il conglomerato di Monte Zenone* - Boll. Soc. Geol. It. 92.

Rovereto G. (1939) – *Liguria geologica* – Mem. Soc. Geol. It., 2, pp.743.

Servizio Geologico d'Italia (2005) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 215 – Bedonia*.

Società Geologica Italiana (1994) - *Guide Geologiche Regionali, Appennino Ligure – Emiliano* – BE-MA editrice.

Servizio Geologico d'Italia (2002) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 216 – Borgo Val di Taro*.

Servizio Geologico d'Italia (in stampa) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 232 – Sestri Levante*.

Vescovi P. et al. (2002) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 216 – Borgo Val di Taro*.

Link web:

Idrogeo, La piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico.

<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>