

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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

**Progetto di fattibilità tecnica ed economica**

**ANALISI AREALE DELLA STABILITA' DEI PENDII**

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
1.1 Normativa di riferimento	5
1.2 Documenti di Riferimento	5
<b>2. METODOLOGIA INVESTIGATIVA</b>	<b>6</b>
2.1 Geomorfologia	7
2.2 Geologia-geotecnica	8
2.3 Azione sismica	9
2.3.1 Parametri di risposta sismica locale	12
2.3.2 Verifica in condizioni statiche	13
2.3.3 Verifica in condizioni sismiche	14
<b>3. DEFINIZIONE DEGLI INPUT</b>	<b>16</b>
3.1 Caratterizzazione delle categorie topografiche	16
3.2 Caratterizzazione del sottosuolo	16
3.3 Caratterizzazione geologico-geotecnica del tracciato	18
3.4 Caratterizzazione della PGA (Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV)	20
3.5 Caratterizzazione delle coltri	21
3.6 Caratterizzazione del livello piezometrico	21
<b>4. ANALISI DI STABILITA' DEI VERSANTI</b>	<b>22</b>
4.1 Valutazione della stabilità dei versanti in condizioni statiche	22
4.2 Valutazione della stabilità dei versanti in condizioni dinamiche	23
<b>5. SCHEDE MONOGRAFICHE DELLE INTERFERENZE CON LE AREE CRITICHE</b>	<b>24</b>
5.1 ID01 Località: Panpersa Comune: Fauglia	25
5.2 ID02 Località: Campo al Rena Comune: Collesalveti	27
5.3 ID03 Località: Poggio al Sasso Comune: Castellina Marittima	29
5.4 ID04 Località: Malandrone Comune: Castellina Marittima	31
5.5 ID05 Località: P. Santa Rosa Comune: San Vincenzo	33
<b>6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>35</b>
6.1 Misure di mitigazione	35
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>36</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 3 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

### ALLEGATI DELL'INTEGRAZIONE

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## 1. PREMESSA

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

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

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

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

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

In generale, lo scopo di questa relazione è di presentare i risultati di uno studio di tipo areale eseguito su tutta la fascia di territorio interessata dal tracciato e finalizzato all'identificazione di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geomorfologico. L'analisi areale costituisce un approccio semplificato di primo livello che si applica attraverso verifiche di stabilità su pendii indefiniti.

La caratterizzazione dell'area è stata realizzata sulla base della cartografia geologica disponibile e delle informazioni ricavate sia da indagini geognostiche eseguite nel corso di precedenti lavori di progettazione, sia pianificate e realizzate durante questa fase progettuale. 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.

## 1.1 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.

## 1.2 Documenti di Riferimento

- [1] REL-CGD-E-03021 Relazione Geologica
- [2] REL-GEO-E-03022 Relazione geotecnica
- [3] REL-CI-E-03027 Relazione Idrogeologica e censimento pozzi e sorgenti
- [4] REL-SIS-E-03024 Caratterizzazione della sismicità e verifica allo scuotimento sismico
- [5] REL-GEO-E-03025 Verifica tecnica di compatibilità delle interferenze dell'opera con aree PAI
- [6] REL-GEO-E-03026 Verifica tecnica di compatibilità delle interferenze dell'opera con aree individuate nel catalogo dei fenomeni franosi (IFFI) e nel sistema informativo territoriale e ambientale della Regione Toscana
- [7] REL-GEO-E-03035 Verifica di stabilità in versanti potenzialmente critici
- [8] PG-CGD-D-03207 Carta Geologia e Geomorfologica
- [9] PG-DRIF-D-03206 Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), IFFI e SIT Toscana

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## 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 valse 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 (o asismiche) sia in condizioni dinamiche (o sismiche).

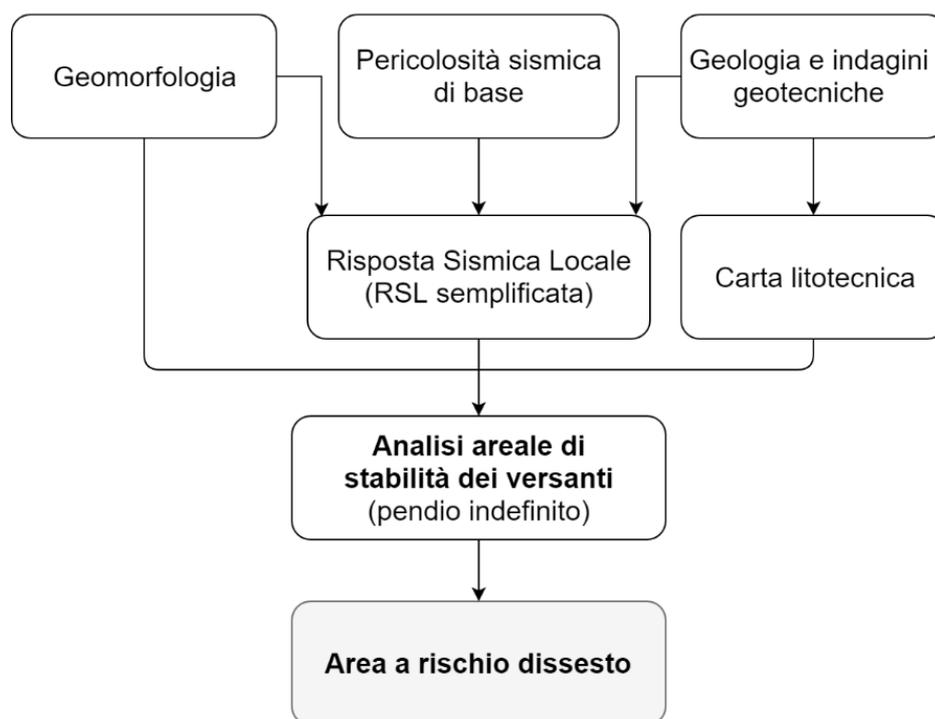
La metodologia di analisi valuta la propensione al dissesto di aree ad elevata estensione dove sono già in atto movimenti franosi e di aree potenzialmente suscettibili di fenomeni di prima attivazione. Tra questi ultimi ricadono anche i fenomeni potenzialmente indotti da determinate azioni sismiche (franosità 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 chiave sismica, sono stati proposti due tipologie di scenari distinti in funzione degli stati limite presi in considerazione e definiti dalle NTC del 2018 in 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/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 7 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## 2.1 Geomorfologia

La morfologia dell'area in esame deve i suoi lineamenti fondamentali agli intensi movimenti tettonici che si sono sviluppati in tempi relativamente recenti come conseguenza dell'assetto strutturale della regione.

L'elemento più appariscente del settore settentrionale è rappresentato dalla Val d'Era che si sviluppa approssimativamente in direzione appenninica, lungo l'asse di una depressione tettonica recente. Le valli dell'Arno a Nord e della Cecina a Sud, invece, corrono con direzione sostanzialmente trasversale rispetto agli assi strutturali, sebbene la prima sia impostata su una depressione tettonica, mentre la seconda abbia una genesi erosiva.

Il reticolo secondario è sostanzialmente impostato lungo linee strutturali con direzione appenninica con forme morfologiche che risentono fortemente delle litologie locali.

Infatti, nelle aree di affioramento dei complessi calcareo-marnosi e dei complessi marnoso-arenacei, la morfologia è caratterizzata da forme collinari relativamente aspre che rappresentano le aree topograficamente più elevate. Le aree di affioramento delle formazioni costituenti il complesso di copertura, invece, presentano forme pianeggianti variamente terrazzate, o blande forme collinari tipiche dei terreni argilloso-sabbiosi. Localmente sono presenti anche strutture erosive (anche in forma di calanchi) che contrastano morfologicamente con i frequenti blandi versanti argillosi. Questi ultimi si raccordano tramite cospicui corpi eluviali con i piatti fondovalle tutti caratterizzati da abbondanti depositi alluvionali.

Gli elementi morfologici prevalenti nel settore meridionale sono legati allo schema idrografico dell'area costituito da una vasta fascia costiera modellata da una serie di bacini minori posti fra il bacino del Cecina a Nord e del Cornia a Sud.

La fascia dei bacini minori è caratterizzata dalla presenza di una pianura costiera orlata di dune nella quale la parte più bassa è di recente alluvionamento mentre verso Est, dove affiorano depositi quaternari marini, le quote topografiche si elevano. In quest'area le valli si presentano incise e con andamento sub-parallelo. Negli altri bacini, la rete idrografica presenta invece il caratteristico andamento ramificato, legato alla presenza di terreni caratterizzati da scarsa coesione e forte propensione all'erosione. In questo ambiente il trasporto solido assume valori importanti favorendo l'accumulo dei depositi alluvionali di fondovalle che, nei corsi d'acqua principali, assumono una notevole estensione.

I maggiori rilievi sono dovuti all'evoluzione strutturale di questo settore appenninico; il gruppo dei Monti di Campiglia, culminante con il monte Calvi (m 646) si presenta come una struttura emergente in un paesaggio collinare e corrisponde ad una elevazione tettonica (horst), delimitata da faglie dirette, che si accompagna alla presenza del plutone granodioritico.

Anche nelle parti più occidentali, i rilievi più alti corrispondono a blocchi tettonici nei quali la serie toscana emerge dai terreni alloctoni che ne fasciano la base.

Ad esclusione degli affioramenti della serie toscana a prevalente morfologia calcarea con pareti ripide e nude, l'assetto morfologico è caratterizzato da versanti poco ripidi e da quelle forme irregolari che sono la conseguenza di una grande eterogeneità di terreni caratterizzati principalmente da scarsa coesione.

Al fine della redazione di un quadro conoscitivo della morfologia del territorio attraversato dal metanodotto di progetto, le informazioni topografiche di base sono state ottenute partendo da un DTM (*Digital Terrain Model*) avente una risoluzione di 10m. Applicando

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 8 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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 ( $S_T$ ) 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, Fig. 2/B).

**Fig. 2/B: 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-tecnica 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 sui valori geotecnici dei parametri di resistenza al taglio ( $\varphi'$ ,  $c'$ ) e del peso di volume ( $\gamma$ ). Le unità litotecniche a cui sono associati i parametri geotecnici fanno riferimento alle categorie di sottosuolo dell'approccio semplificato individuate nella Tab.3.2II delle NTC 2018 (Fig. 2/C).

Si precisa che la caratterizzazione dei terreni è stata definita considerando le informazioni geotecniche ricavate sia nel corso dell'attuale fase progettuale, sia nel corso della progettazione del metanodotto Piombino-Collesalveti (DN1200 – 48") che ha già ottenuto il Provvedimento di VIA con Decreto MATTM n. 458 del 2012.

Nel complesso, quindi, sono stati esaminati i risultati delle seguenti indagini:

- Met. Piombino-Collesalveti (DN1200 – 48")
  - n. 60 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel 2009
  - n. 12 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel 2011
- Met. Livorno Piombino (DN750 – 30")
  - n. 61 sondaggi a carotaggio continuo
  - n. 60 prove penetrometriche statiche
  - n. 1 prova downhole
  - n. 23 MASW
  - n. 8 stendimenti con rilievi sismici a rifrazione
  - n. 29 stendimenti con rilievi geoelettrici

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 9 di 36	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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

**Fig. 2/C: 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

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) hanno introdotto il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, confermato successivamente dalle NTC 2018. La "pericolosità sismica di base", costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 10 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

Le NTC 2018 introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC 2018 forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_r$  considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:

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

Dal punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle precedenti NTC 2008), 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 2008 hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC 2018, 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 assunta 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 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 ( $V_R$ ).

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite (cfr. § 2.4.2 delle NTC 2018):

*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.

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono 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 ( $V_N$ ) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

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

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

In accordo con il DPCM 3685/2003 il metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30") 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.

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 (a rottura).

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 36	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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/F: 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:

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

Da cui si ottiene un periodo di ritorno di 101 anni per uno Stato Limite di Danno (SLD) e di 949 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/G e Fig. 2/H).

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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

**Fig. 2/G: 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/B (Tab. 3.2.III delle NTC 2018) e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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/H: 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/H, fino alla base,  $S_T$  assume valore unitario (cfr. § 3.2.3.1 delle NTC 2018).

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:

- $S_s$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica (Fig. 2/G)
- $S_T$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica (Fig. 2/H)
- $a_g$  = 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. Infine, per la valutazione della stabilità dei versanti in condizioni pseudo-statiche/dinamiche sono stati applicati i parametri sismici del terreno e i parametri relativi all'amplificazione locale ( $S$ ), definito dal prodotto tra il coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e il coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ).

### 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:

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 14 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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:

$S$  = 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 caratteristiche litologiche del terreno.

	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/I: 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):

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 15 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 16 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

### 3 DEFINIZIONE DEGLI INPUT

Come anticipato precedentemente, l'utilizzo di questa metodologia investigativa prevede che ad ogni litologia siano associati i parametri geotecnici di resistenza al taglio e peso di volume che risultano dai risultati delle indagini geognostiche e dal confronto con i dati di letteratura (Rif. REL-GEO-E-03022). In accordo all'approccio semplificato cui fanno riferimento le NTC 2018, in funzione dei parametri geotecnici assegnati ad ogni unità, sono state attribuite le diverse categorie di sottosuolo.

Ai fini della definizione di particolari condizioni di criticità è stata eseguita un'analisi dei parametri di risposta sismica locale (Rif REL-SIS-E-03024) lungo l'intera area di riferimento attraversata dal Metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30").

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 Caratterizzazione delle categorie topografiche

L'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto presenta una configurazione topografica semplice; pertanto, è possibile fare riferimento alla Tab. 3.2.III delle NTC 2018 (Fig. 2/B) per l'identificazione delle categorie topografiche.

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

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

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

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

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 Caratterizzazione del sottosuolo

Relativamente alla categorizzazione delle classi di sottosuolo si fa riferimento all'approccio semplificato indicato nella Tab. 3.2.II delle NTC 2018 (Tab. 2/C), basato sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento. La definizione delle categorie è stata eseguita utilizzando dati di progetto, i risultati di n. 23 prove sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e di una prova Downhole eseguite lungo il tracciato nel periodo di Giugno-Settembre 2021.

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 17 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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.

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

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

Come si può osservare dalla Tab. 3/A, le velocità equivalenti registrate dalle MASW variano da un minimo di 196 m/s ad un massimo di 491 m/s. Dai dati ottenuti si può affermare che, ai fini delle NTC 2018, le categorie di sottosuolo dei siti indagati ricadano tra la C e la B. A queste, occorre aggiungere una parte di terreni con affioramenti rocciosi rilevati nel corso dei sopralluoghi tecnici e che ricadono nella categoria A.

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 18 di 36	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

### 3.3 Caratterizzazione geologico-geotecnica del tracciato

Il territorio interessato dalla realizzazione del met. Livorno – Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar, appartiene alle province di Pisa e Livorno ed è compreso nei Fogli della Carta Geologica Italiana in scala 1:100000 n. 111 "Livorno", n. 112 "Volterra", n. 119 "Massa Marittima" e 127 "Piombino".

La caratterizzazione geologica è stata elaborata utilizzando le informazioni presenti nelle note illustrative della cartografia indicata e in quelle della Carta geologica in scala 1:50000 che tuttavia non è stata ancora resa disponibile per l'intero territorio in esame. Ulteriori elementi conoscitivi sono stati reperiti consultando la cartografia geologica in scala 1:10000 disponibile all'interno del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Province di Pisa e Livorno).

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.**

Sigla	Formazioni e depositi	Unità	Descrizione
BRG	Basalti	A1	Formazioni rocciose molto competenti
GBB	Gabbri		
MAC	Formazione del Macigno		
DSA	Diaspri)		
RIO	Rioliti		
VILd	Depositi continentali villafranchiani (membro calcareo)		
STO	Scaglia Toscana		
tr	Travertini		
OMT	Flysch di Ottone-Monteverdi	A2	Formazioni rocciose competenti
PLIc	Calcareniti e calciruditi		
PRN	Serpentiniti		
ROSa	Calcari e conglomerati		
ROsb	Calcari e calciruditi		
PLEe	Arenarie e conglomerati		
PLEd	Calcari e calcareniti	B1	Conglomerati e sabbie addensate
RAQc	Conglomerati e sabbie		
VILa	Conglomerati e ciottolami poligenici		
SLEc	Conglomerati eterometrici		
MESb	Conglomerati poligenici		
VILe	Sabbie e conglomerati		
EMOf	Conglomerati e sabbie	B2	Gessi, Formazioni prevalentemente arenacee e marnose
PLIs	Sabbie e arenarie		
EMOr	Lenti di arenarie		
EMOg	Lenti di gessi		
RAQg	Lenti di gessi		
RCH	Argilliti, marne e calcari marnosi		
SLEg	Gessi e marne		

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 19 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

Sigla	Formazioni e depositi	Unità	Descrizione
SLEm	Marne sabbioso-siltose	B2	Gessi, Formazioni prevalentemente arenacee e marnose
PLEb	Sabbie e limi sabbiosi	B3	Sabbie addensate
VILb	Sabbie siltoso argillose e limi sabbiosi		
ACC	Argille e Calcari di Canetolo	B4	Formazioni prevalentemente argillose
APA	Argille a Palombini		
EMO	Argille e argille marnoso-sabbiose		
FAA	Argille azzurre		
RAQ	Argille e argille sabbiose		
Aa	Depositi di versante	C1	Depositi sabbiosi
b2a	Depositi eluvio-colluviali		
g2a	Depositi di spiaggia		
e1a	Depositi lagunari		
e3a	Depositi palustri		
b4a	Depositi di origine mista		
ea	Depositi a composizione mista		
Da	Depositi eolici		
h1	Discarica di rifiuti		
h2	Discarica di miniera		
h5	Depositi di origine antropica		
NR	Area non rilevabile		
VILh	Limi argilloso sabbiosi ed argille sabbiose	C3	Depositi limoso argillosi
b	Depositi alluvionali attivi e inattivi		
p4	Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata	C4a	Depositi di versante
P3a	Aree a pericolosità geomorfologica elevata	C4b	
P3b			
p2	Aree a pericolosità geomorfologica media	C4c	
a1	Frane indeterminate	C5a	Depositi di frana
a1a	Frane attive	C5b	
a1q	Frane quiescenti	C5c	
a1s	Frane Stabilizzate	C5d	

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 Database della Regione Toscana e nel PAI del distretto Appennino Settentrionale.

Il metodo adottato consente una valutazione preliminare della suscettibilità delle aree potenzialmente instabili. In particolare, l'approccio permette di individuare le zone

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 20 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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 nel PAI.

**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	40	100
A2	A	21	34	40
B1	B	20	35	0
B2	B	21	30	20
B3	B	20	30	0
B4	B	21	24	30
C1	C	19	32	0
C2	C	19	26	5
C3	C	20	22	15
C4a	C	18	24	0
C4b	C	18	24	2
C4c	C	18	24	5
C5a	C	18	24	0
C5b	C	18	20	0
C5c	C	18	22	2
C5d	C	18	24	3

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

### 3.4 Caratterizzazione 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:

$$S = S_S \cdot S_T \quad \text{in cui:}$$

$S_S$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 21 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

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

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

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

- **PGA = 0.068 ÷ 0.301 g** per lo stato limite ultimo SLV ( $T_R=950$  anni).

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

### 3.5 Caratterizzazione delle coltri

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 da 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.

### 3.6 Caratterizzazione del livello piezometrico

La caratterizzazione del livello piezometrico all'interno dell'area interessata dall'opera è stata realizzata avvalendosi dei dati bibliografici e dai rilievi idrogeologici eseguiti.

Il territorio è stato caratterizzato in 3 livelli piezometrici di riferimento, attribuiti sulla base del tipo di litologia e del contesto 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.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 22 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

#### 4 ANALISI DI STABILITA' DEI VERSANTI

Il corridoio analizzato è caratterizzato da ampie zone pianeggianti e da pendenze generalmente piuttosto basse. 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 Toscana e Distretto Appenninico settentrionale).

Nell'analisi sono stati presi a 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*
- $1,3 < F_s < 1$                 *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

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.

In generale, si osserva che il territorio interessato dall'opera in progetto non appare particolarmente sensibile ai movimenti gravitativi che risultano di dimensioni ridotte e spesso legati a situazioni locali predisponenti.

Tuttavia, sebbene i versanti siano caratterizzati da pendenze modeste, le scarse proprietà geomeccaniche delle coltri rendono alcune zone dei pendii potenzialmente soggetti a fenomeni di instabilità.

Le aree a criticità più elevata evidenziate dall'analisi corrispondono alle zone già censite all'interno del PAI o a frane segnalate nella cartografia geomorfologica di base fornita dalla Regione Toscana o presenti nel catalogo IFFI.

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.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 23 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

**Tab. 4/A: Localizzazione delle potenziali aree critiche (in condizioni statiche) interferenti con il tracciato di progetto (Rif. Allegato 5).**

ID	Da km	A km	Località	Comune	Interferenza con aree censite
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>					
<b>Linea principale in progetto</b>					
01	9.085	9.110	Panpersa	Fauglia	-
02	15.470	15.490	Campo al rena	Collesalvetti	PAI-IFFI-DB Toscana

Ogni area di interferenza riportata in Tabella 4/A, è trattata con maggior dettaglio nel successivo Capitolo 5 "Schede monografiche delle interferenze con le aree critiche".

#### 4.2 Valutazione della stabilità dei versanti in condizioni dinamiche

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).

L'analisi dei risultati evidenzia quanto segue:

- generalizzato aumento del livello di criticità delle situazioni precedentemente individuate dall'analisi in condizione statica;
- insorgenza di nuove aree che potrebbero trovarsi in condizioni potenzialmente instabili; queste aree sono in numero ridotto e hanno una limitata estensione.

Le aree suscettibili a franosità sismo-indotta di nuova generazione coinvolgono nella totalità dei casi i terreni di copertura, quali coltri eluvio-colluviali e alcune scarpate di terrazzi alluvionali, posti nella parte basale dei versanti che bordano i fondivalle alluvionali.

In Tabella 4/C sono elencate le località delle aree potenzialmente critiche (con  $F_S < 1$ ) che interferiscono con l'opera in progetto.

**Tab. 4/C: Localizzazione delle potenziali aree critiche (in condizioni dinamiche) interferenti con il tracciato di progetto (Rif. Allegato 6)**

ID	Da km	A km	Località	Comune	Interferenza con aree censite
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>					
<b>Linea principale in progetto</b>					
01	9.085	9.110	Panpersa	Fauglia	-
02	15.460	15.535	Campo al rena	Collesalvetti	PAI-IFFI-DB Toscana
03	28.645	28.675	Poggio al Sasso	Castellina Marittima	-
04	31.340	31.370	Malandrone	Castellina Marittima	IFFI-DB Toscana
05	66.020	66.140	P. Santa Rosa	San Vincenzo	-

Ogni area di interferenza individuata e riportata in Tabella 4/C, viene trattata con maggior dettaglio nel capitolo successivo "Schede monografiche delle aree critiche").

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 24 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## 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;
- descrizione dell'area interessata dai tracciati in progetto;

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

- risultati ottenuti dalla analisi areale di stabilità dei pendii (in condizioni statiche e dinamiche);
- dati acquisiti nel corso di sopralluoghi tecnici;
- dati provenienti dalle indagini geognostiche eseguite.

Alle aree critiche individuate è stata assegnata una numerazione progressiva.

Le schede monografiche compilate contengono gli stralci di entrambe le analisi effettuate: aree critiche in condizioni statiche (asismiche) e aree critiche in condizioni dinamiche (sismiche). In tal modo è stato possibile porre in correlazione diretta le analisi svolte, mettendo in risalto gli effetti osservati:

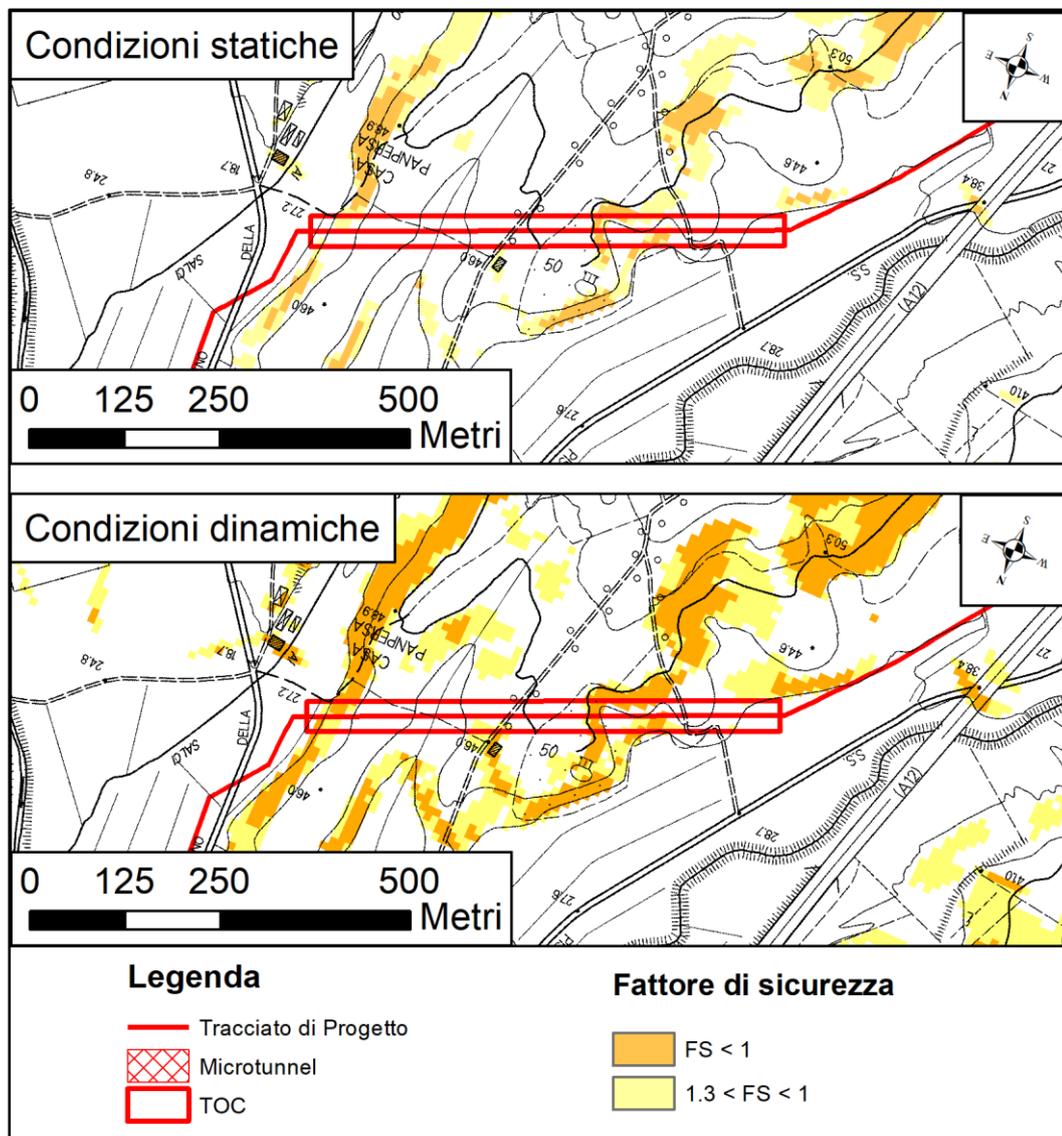
- aumento del livello di criticità sotto l'azione sismica delle frane di seconda generazione, nei contesti già caratterizzati da dissesto in condizioni statiche (frane pre-esistenti e come tali già censibili prima di un evento sismico);
- individuazione delle unità territoriali potenzialmente predisposte a franosità sismo-indotta, ossia zone che potrebbero manifestare la comparsa di aree critiche di prima generazione (frane di nuova attivazione) in seguito all'applicazione di un'azione sismica, in contesti che apparentemente si presentano stabili in condizioni statiche.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 25 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

5.1 ID01 Località: Panpersa

Comune: Fauglia



**Fig. 5/A: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza.**

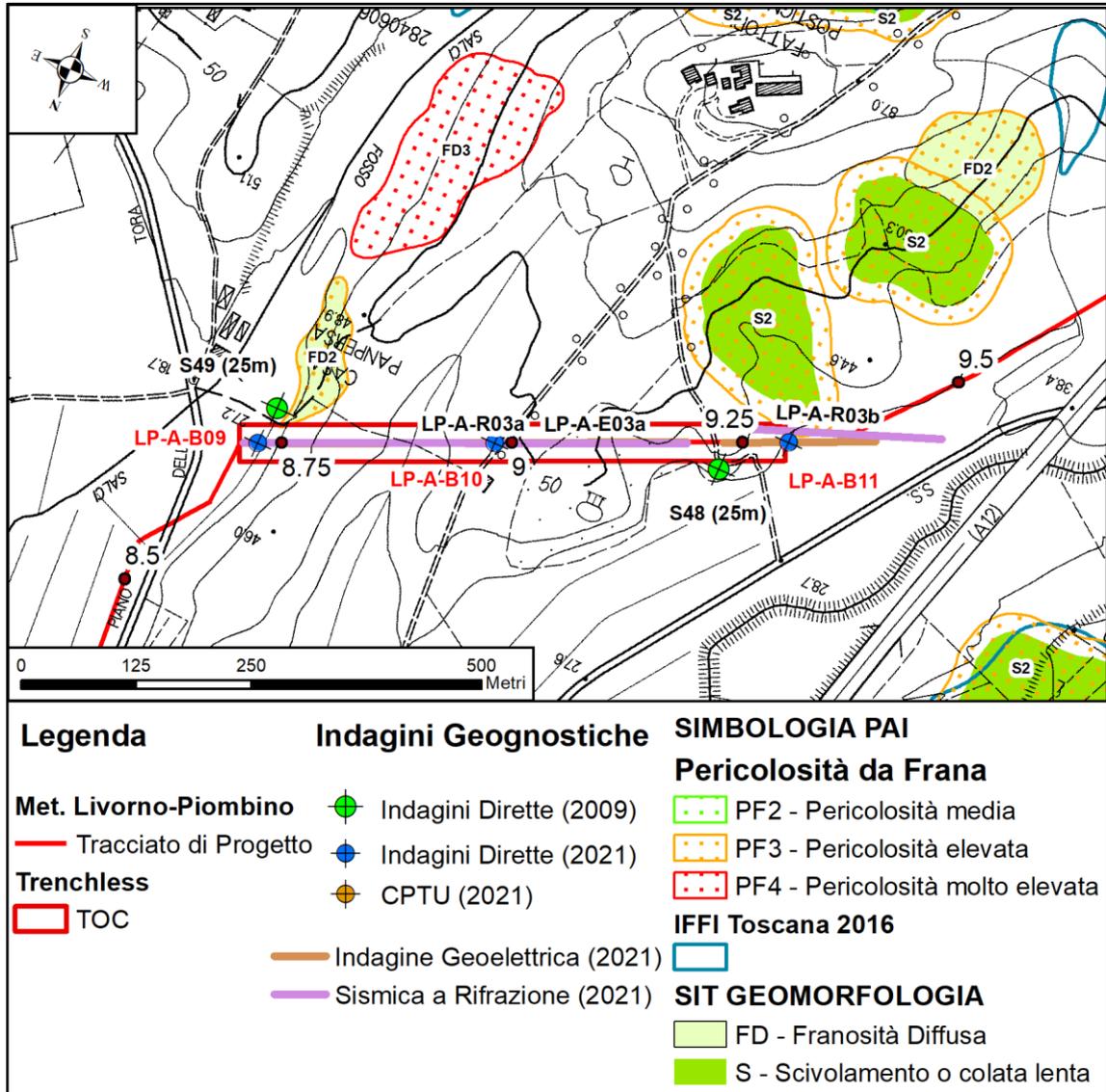
Descrizione dell'area:

Tra il km 8,700 e il km 9,300 il tracciato di progetto attraversa un rilievo collinare costituito dalla Formazione delle Argille Azzurre. Lungo i versanti del rilievo sono presenti coltri detritiche e depositi prevalentemente sabbiosi che, nei tratti più acclivi, mostrano una potenziale instabilità (Fig. 5/A).

Sebbene il tracciato di progetto sia planimetricamente esterno alle aree a pericolosità geomorfologica censite dalla Regione Toscana e dal Distretto Appenninico Settentrionale (Fig. 5/B), in alcune limitate zone di versante, l'analisi eseguita evidenzia condizioni di criticità presenti già in condizioni statiche e accentuate in condizioni dinamiche.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 26 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023



**Fig. 5/B: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle indagini eseguite.**

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 le zone maggiormente critiche dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni. Le stratigrafie, i profili e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolte nella "Relazione Geotecnica" (REL-GEO-E-03022), alla quale si rimanda per ogni approfondimento.

Osservazioni:

In considerazione della presenza delle zone di dissesto censite ed evidenziate anche dal presente studio, l'attraversamento dell'area è previsto con metodologia *trenchless* ad una profondità tale (> 10 m) da non interferire con le coltri rilevate e quindi senza peggiorare le condizioni di stabilità del versante (NR20049-AT-6C-01124).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 27 di 36	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

5.2 ID02 Località: Campo al Rena Comune: Collesalvetti

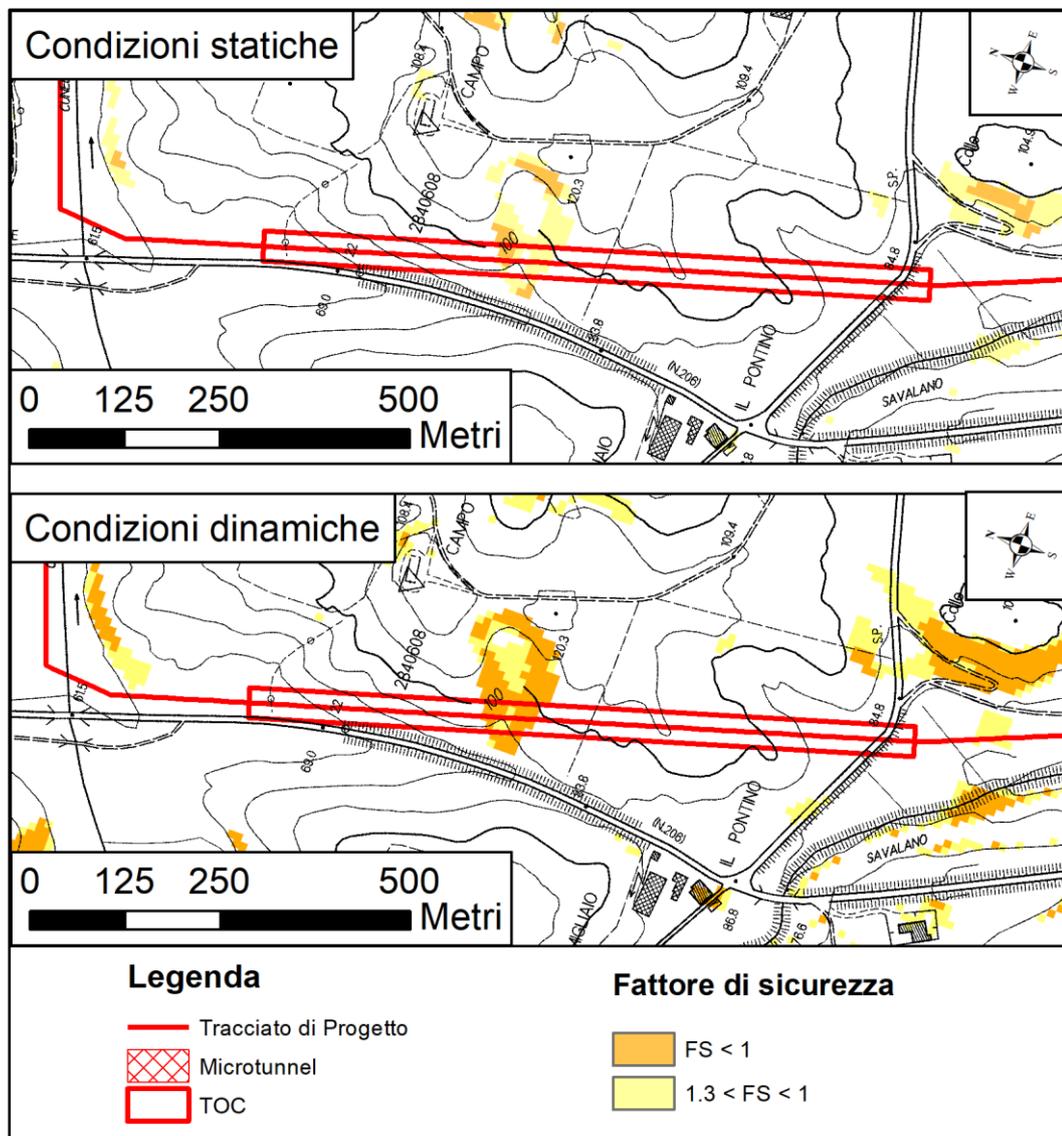


Fig. 5/C: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza.

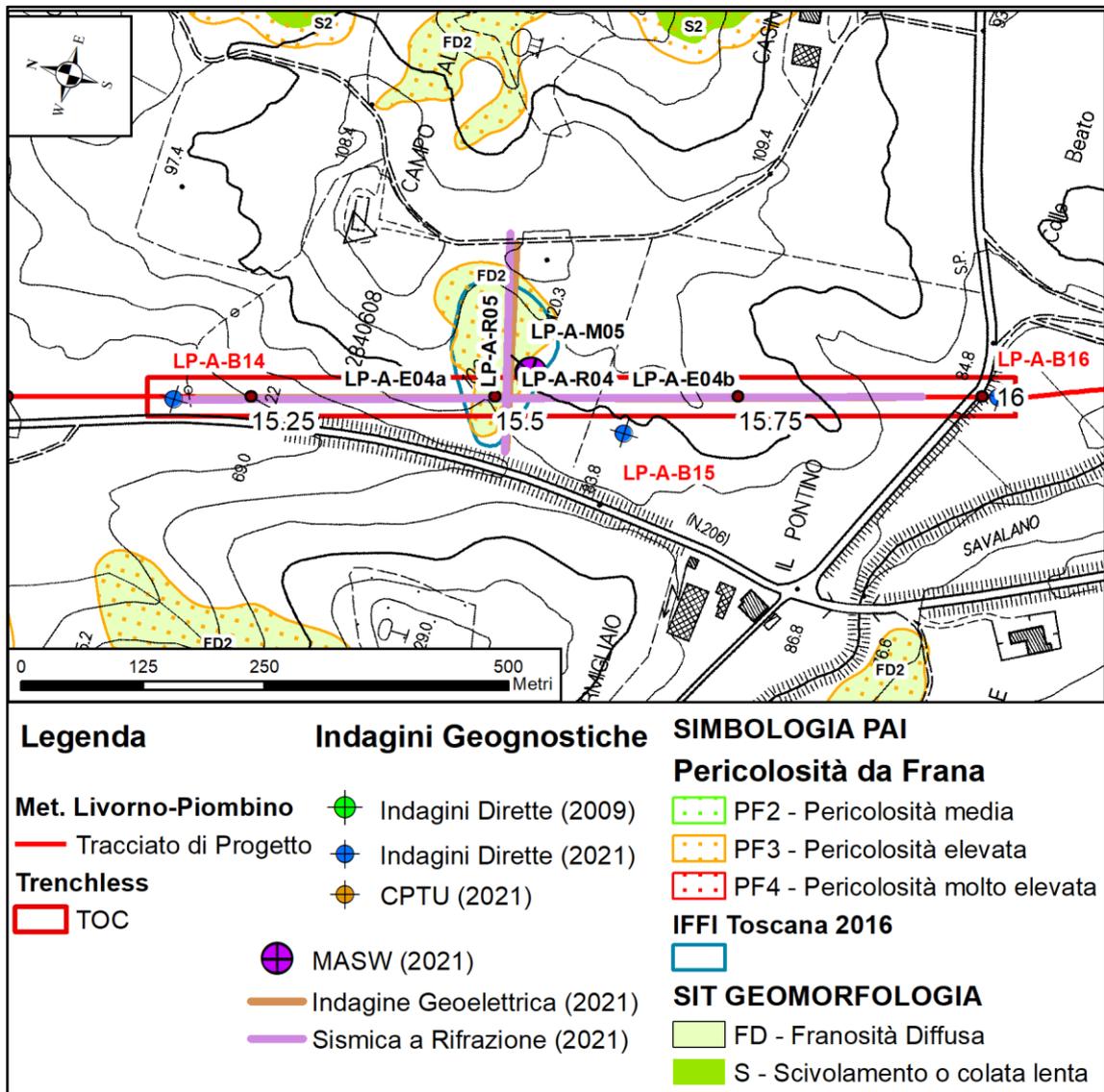
Descrizione dell'area:

Tra il km 15,200 e il km 15,900, il tracciato di progetto attraversa un rilievo collinare costituito dalla Formazione delle Argille Azzurre. Come nel tratto descritto in precedenza, lungo i versanti del rilievo sono presenti coltri detritiche e depositi prevalentemente sabbiosi che, nei tratti più acclivi, mostrano una potenziale instabilità (Fig. 5/C).

In particolare, in corrispondenza di un impluvio presente nel versante occidentale, il tracciato in progetto attraversa, per una lunghezza di circa 45 metri, un'area potenzialmente instabile definita nella cartografia del PAI del distretto Appennino Settentrionale, a valle della "Variante generale ai vigenti Piani stralcio Assetto Idrogeologico de i bacini del fiume Arno e del fiume Serchio e dei bacini regionali toscani dall'Autorità con una classe di pericolosità elevata PF3 (Fig. 5/D).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 28 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023



**Fig. 5/D: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle indagini eseguite.**

La classe di pericolosità da frana PF3 include i fenomeni franosi quiescenti e/o (per l'Arno) quelli attivi che tuttavia non presentano conseguenze dirette per abitati ed infrastrutture.

Il fenomeno gravitativo, classificato come frana di tipo indeterminato, risulta presente anche nel database della Regione Toscana e nel catalogo IFFI.

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 le zone maggiormente critiche dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni. Le stratigrafie, i profili e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolte nella "Relazione Geotecnica" (REL-GEO-E-03022), alla quale si rimanda per ogni approfondimento.

#### Osservazioni:

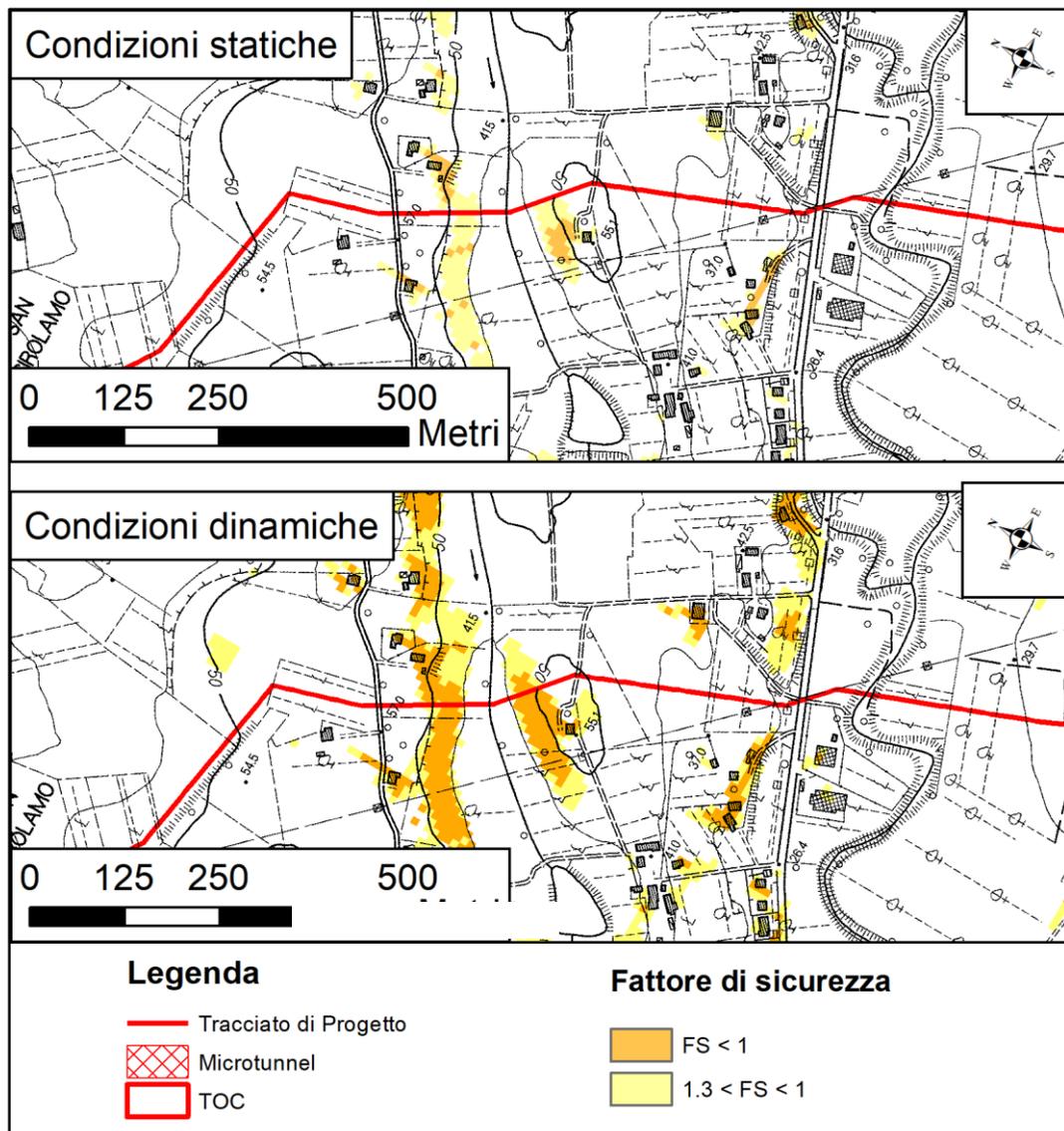
In considerazione della presenza delle zone di dissesto censite ed evidenziate anche dal presente studio, si è eseguito una "Verifica tecnica di compatibilità delle interferenze dell'opera con aree PAI" (REL-GEO-E-03025), nella quale si analizza il fenomeno gravitativo e si descrive la metodologia di attraversamento scelta (TOC).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 29 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

Le caratteristiche geometriche e i profili dell'opera trenchless sono forniti nell'elaborato NR20049-AT-7C-01212.

**5.3 ID03 Località: Poggio al Sasso Comune: Castellina Marittima**



**Fig. 5/E: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza.**

Descrizione dell'area:

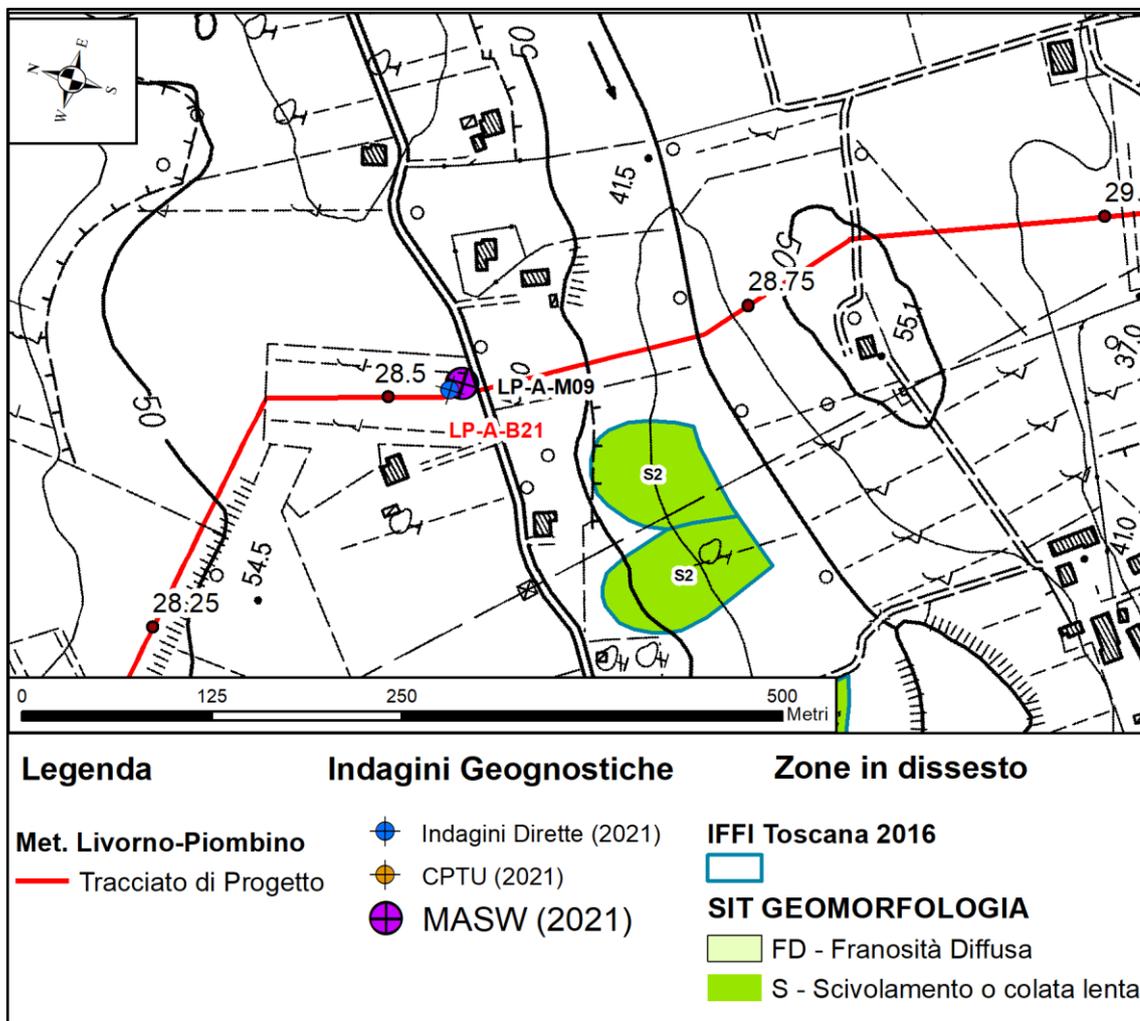
Tra il km 28,550 e il km 28,850, il tracciato di progetto attraversa una zona a morfologia ondulata, costituita da depositi alluvionali a granulometria prevalentemente limoso-argillosa (Fig. 5/E).

Sebbene il tracciato di progetto sia planimetricamente esterno alle aree a pericolosità geomorfologica censite dalla Regione Toscana e dal Distretto Appenninico Settentrionale (Fig. 5/F), in alcune limitate zone di versante, l'analisi eseguita evidenzia che, in condizioni dinamiche, possono verificarsi situazioni di potenziale criticità. In

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 30 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

condizioni statiche, invece, non si evidenziano criticità, anche se sono comunque presenti zone con condizioni di attenzione.



**Fig. 5/F: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle indagini eseguite.**

Nell'area è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo e una prova MASW, per la caratterizzazione dei terreni.

La stratigrafia e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolte nella "Relazione Geotecnica" (REL-GEO-E-03022), alla quale si rimanda per ogni approfondimento.

Osservazioni:

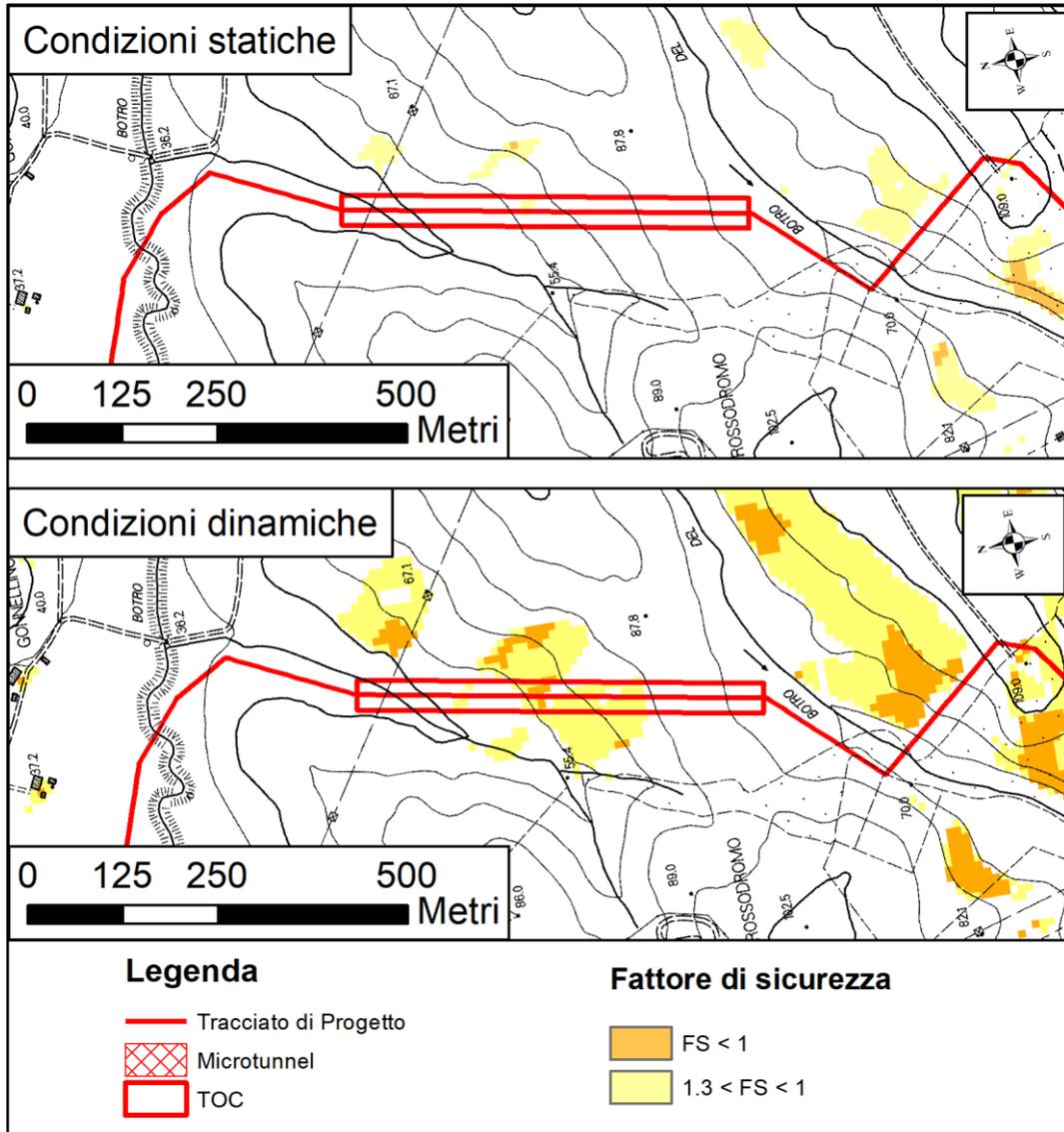
In considerazione delle caratteristiche geomorfologiche della zona in esame e delle dimensioni delle aree critiche evidenziate dal presente studio, è stata eseguita una verifica di stabilità del versante (REL-GEO-E-03035).

La verifica indica che la condotta possa essere posata garantendo buone condizioni di sicurezza. Tuttavia, si ritiene opportuna la realizzazione di un sistema di drenaggio per facilitare l'eliminazione delle acque meteoriche dalla trincea di scavo ed alleggerire il versante, aumentandone le condizioni di stabilità.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 31 di 36	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

**5.4 ID04 Località: Malandrone Comune: Castellina Marittima**



**Fig. 5/G: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza.**

Descrizione dell'area:

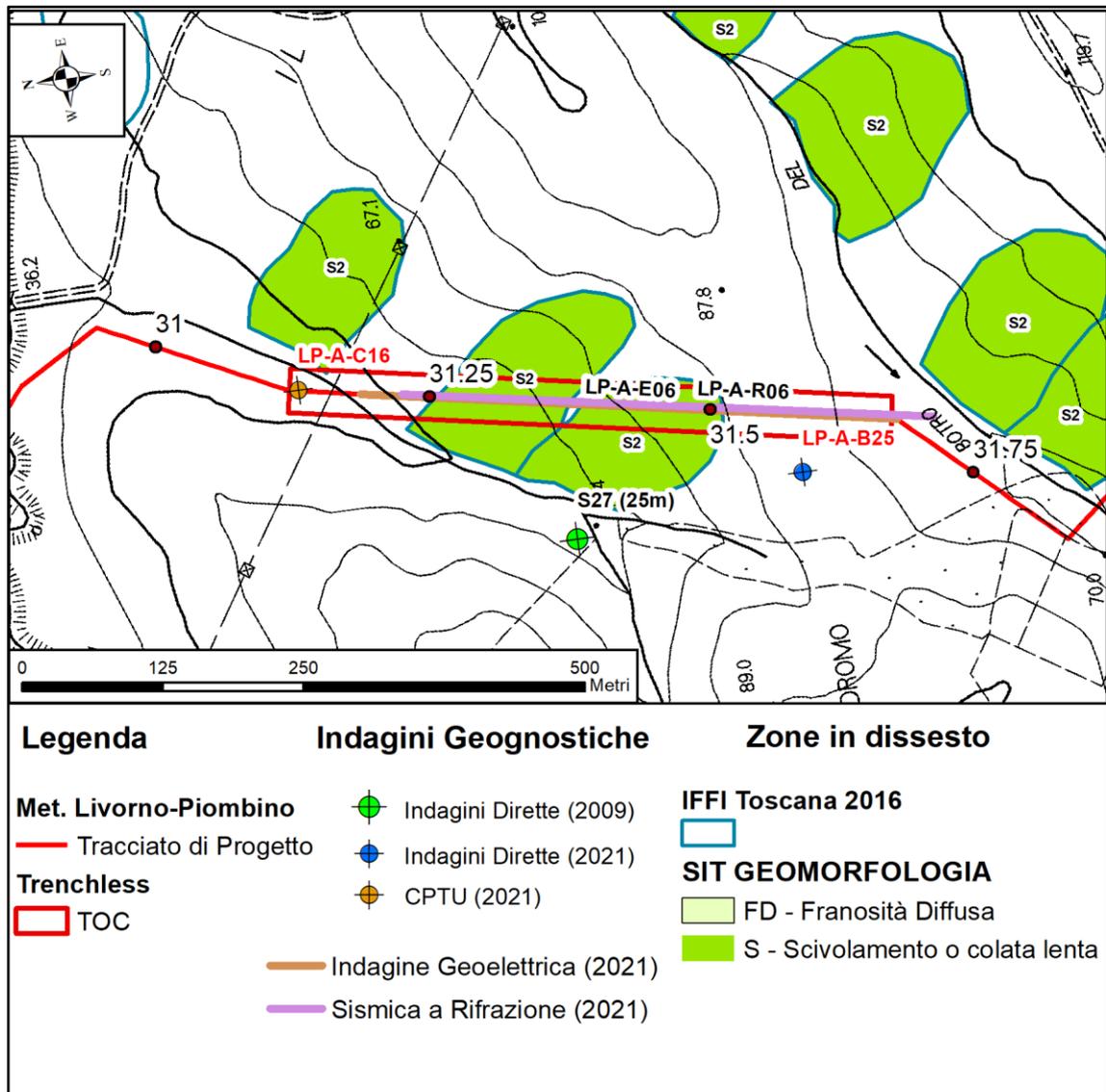
In questo tratto (tra il km 31,150 e il km 31,650), il tracciato di progetto attraversa un rilievo collinare con modeste pendenze dei versanti e costituito da depositi di versante sovrastanti il sottosuolo argilloso (Formazione delle Argille Azzurre).

In alcuni ampi tratti, il versante mostra fenomeni di instabilità, cartografati anche dalle autorità competenti e classificati come frane quiescenti (Fig. 5/H).

L'analisi eseguita evidenzia che, in condizioni dinamiche e nei tratti a pendenza più elevata, possono verificarsi situazioni di potenziale criticità mentre, in condizioni statiche, si rilevano solamente tratti molto limitati da considerare in condizioni di attenzione (Fig. 5/G).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 32 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023



**Fig. 5/H: Ubicazione dell'area critica con indicazione delle indagini eseguite.**

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 le zone maggiormente critiche dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni. Le stratigrafie, i profili e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolte nella "Relazione Geotecnica" (REL-GEO-E-03022), alla quale si rimanda per ogni approfondimento.

#### Osservazioni:

In considerazione della presenza delle zone di dissesto censite ed evidenziate anche dal presente studio, si è eseguito una "Analisi delle interferenze dell'opera con aree individuate nel catalogo dei fenomeni franosi (IFFI) e nel sistema informativo territoriale e ambientale della Regione Toscana" (REL-GEO-E-03026), nella quale si analizza il fenomeno gravitativo e si descrive la metodologia di attraversamento scelta (TOC). Le caratteristiche geometriche e i profili dell'opera trenchless sono forniti nell'elaborato NR20049-AT-5C-01317.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 33 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

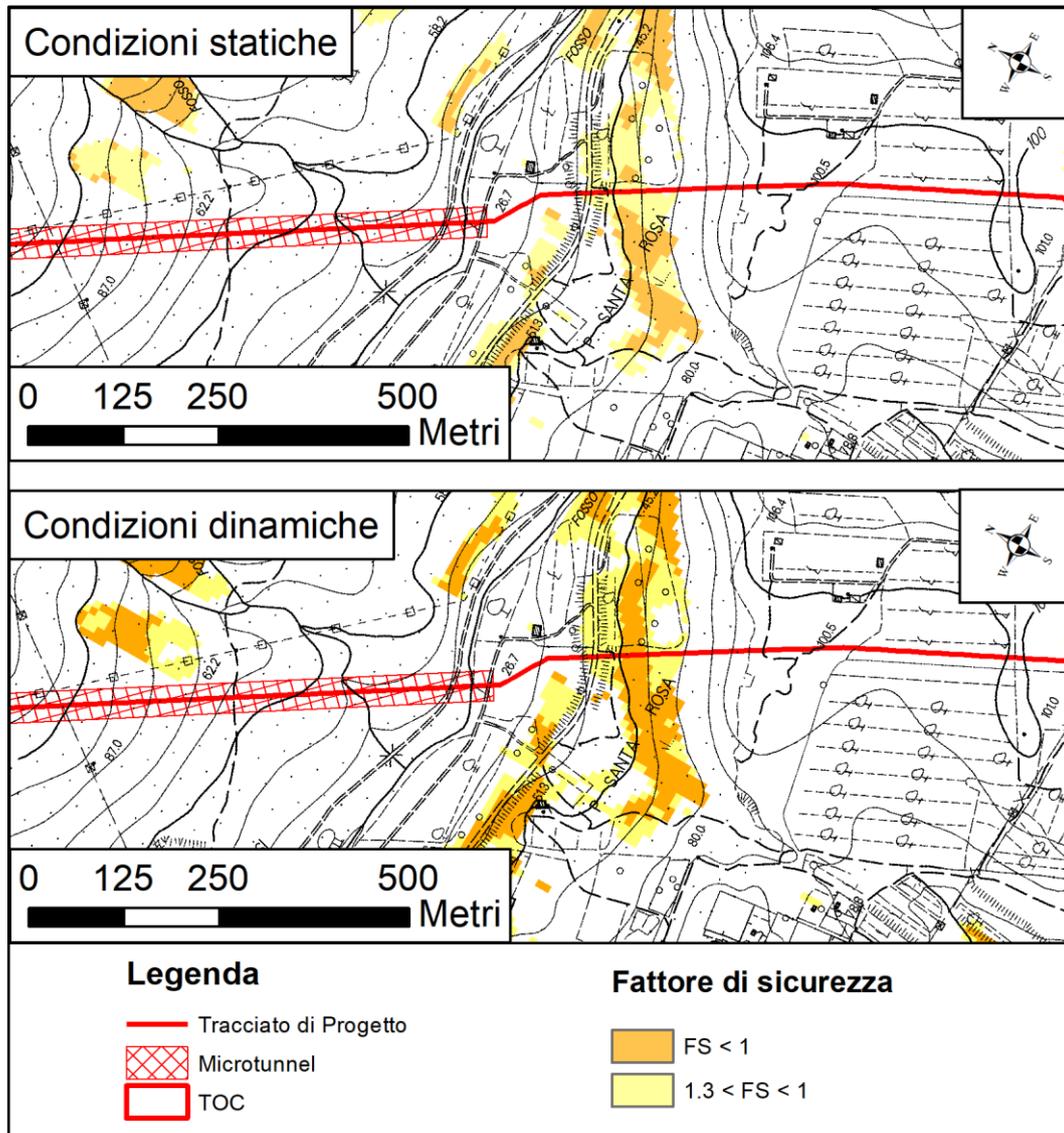
Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

5.5

ID05

Località: P. Santa Rosa

Comune: San Vincenzo



**Fig. 5/I: Risultati dell'Analisi areale con indicazione del Fattore di Sicurezza.**

Descrizione dell'area:

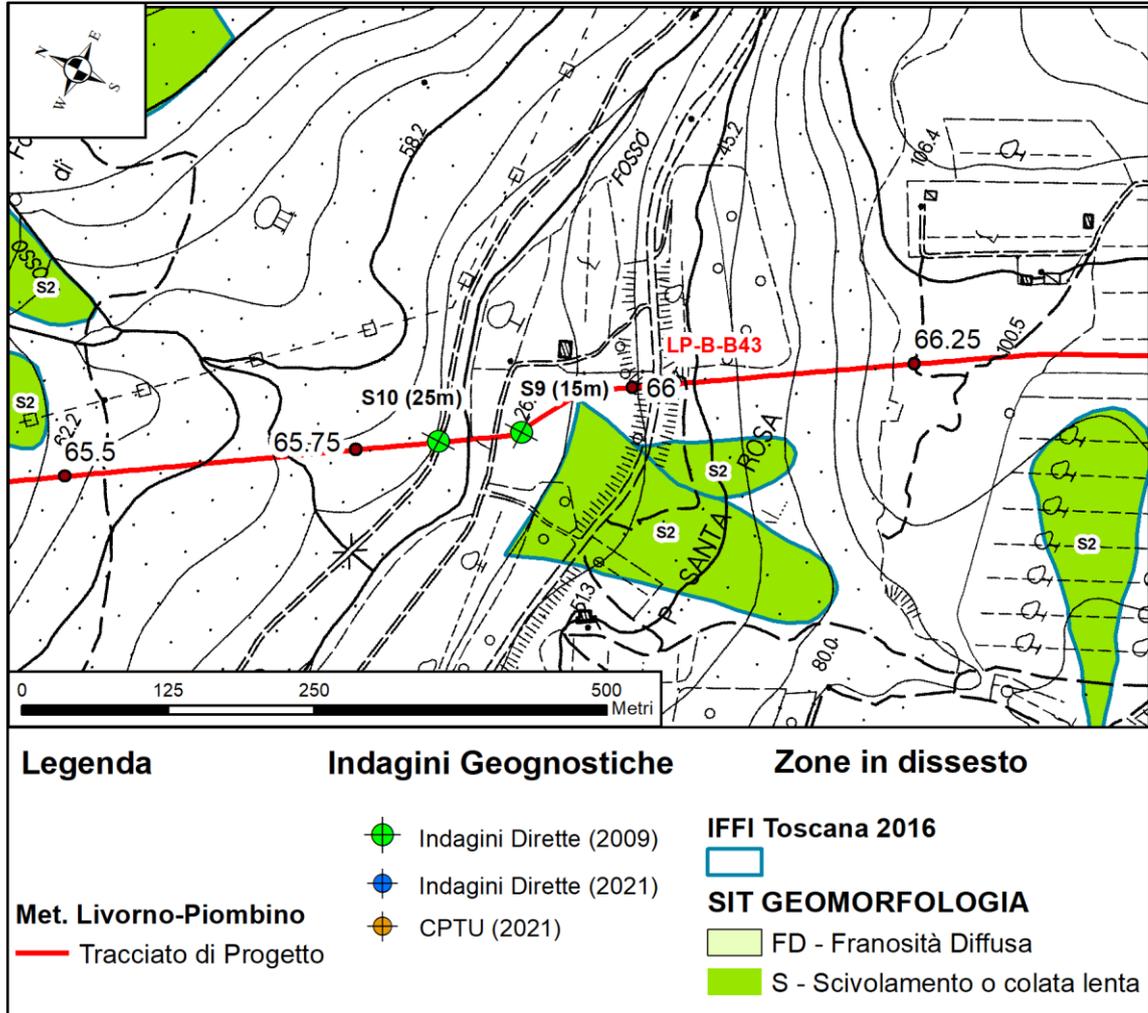
In questo tratto (tra il km 66,020 e il km 66,140), il tracciato di progetto risale un versante piuttosto acclive, costituito da coltri detritiche e depositi alluvionali a granulometria prevalentemente limoso-sabbiosa sovrastanti il sottosuolo riolitico a maggiore rigidità e competenza.

In alcuni tratti del versante, in aree limitrofe al tracciato di progetto, si evidenziano fenomeni di instabilità, cartografati anche dalle autorità competenti e classificati come frane quiescenti (Fig. 5/L).

Sebbene il tracciato di progetto non interferisca direttamente con nessuna delle aree a pericolosità geomorfologica censite dalla Regione Toscana e dal Distretto Appenninico Settentrionale, l'analisi eseguita evidenzia che, in condizioni dinamiche e nei tratti a pendenza più elevata, possono verificarsi situazioni di potenziale criticità che, in condizioni statiche, possono invece essere considerate semplicemente come condizioni di attenzione (Fig. 5/I).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 34 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023



Nell'area sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo per la caratterizzazione dei terreni. Le stratigrafie e i risultati delle analisi di laboratorio sono raccolti nella "Relazione Geotecnica" (REL-GEO-E-03022), alla quale si rimanda per ogni approfondimento.

#### Osservazioni:

In considerazione delle caratteristiche geomorfologiche della zona in esame e delle dimensioni delle aree critiche evidenziate dall'analisi eseguita, è stata eseguita una verifica di stabilità del versante (REL-GEO-E-03035).

La verifica indica che la condotta possa essere posata garantendo condizioni di sicurezza già accettabili. Tuttavia, vista la sensibile acclività dell'area, in fase di ripristino, a protezione della scarpata di monte di Via della Valle, è prevista la realizzazione di un letto di posa drenante, per agevolare l'allontanamento delle acque meteoriche e di un'opera di sostegno, per il contenimento della coltre detritica. Gli interventi progettuali previsti permettono di garantire ulteriormente le attuali buone condizioni di stabilità dell'area.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 35 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi geomorfologica areale eseguita per il tracciato del Met. Livorno-Piombino ha richiesto la caratterizzazione di diversi parametri lungo l'asse del tracciato, quali:

- classi topografiche;
- classi di sottosuolo;
- unità geologiche-geotecniche affiorante;
- 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 state eseguiti approfondimenti con prove sismiche (MASW).

La verifica della stabilità dei versanti attraversati dal tracciato è stata eseguita, mediante l'algoritmo dell'equilibrio limite, lungo un pendio indefinito applicando due diversi approcci:

- 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).

In considerazione del fatto che il tracciato del Met. Livorno-Piombino attraversa per la maggior parte terreni prevalentemente pianeggianti e poco acclivi, nel corridoio esaminato, sono state individuate solamente cinque aree critiche che interferiscono direttamente con il tracciato in progetto. Due aree sono ubicate in un tratto di posa a cielo aperto, mentre le altre tre aree sono attraversate con metodologie trenchless.

### 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-03025; REL-GEO-E-03026; REL-GEO-E-03035) e della metodologia di attraversamento scelta, si ritiene che gli interventi di mitigazione necessari per aumentare la sicurezza della condotta possano essere costituiti da sistemi di drenaggio della trincea di scavo (ID03; Poggio al Sasso) per ridurre le sovrappressioni interstiziali ed alleggerire il terreno intorno alla condotta e da opere di sostegno e contenimento di tipo flessibile (ID05 P. Santa Rosa), per la stabilizzazione delle coltri detritiche.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> Regione Toscana	<b>REL-SIS-E-03023</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Rifacimento metanodotto Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 36 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83023

## 7 BIBLIOGRAFIA

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.

Cantalamessa G., Di Celma C., Piccini M., Didaskalou P., Potetti M., Lori P., Campiani E., Correggiari A., Fogliani F., Trincardi F., Asioli A., Gallerani A., Langone L. & Lorenzini F., 2011. Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 304 Civitanova Marche. Ispra, Servizio Geologico d'Italia.