

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 37		Rev. <b>0</b>

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

**Progetto di fattibilità tecnica ed economica**

**VERIFICHE DI STABILITÀ IN VERSANTI POTENZIALMENTE CRITICI**

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 37	Rev. <b>0</b>

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
1.1	Premessa	3
1.2	Scopo del lavoro	4
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>5</b>
2.1	Normative di riferimento	5
2.2	Documenti di riferimento	5
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE</b>	<b>6</b>
3.1	Lineamenti geologico strutturali	6
3.2	Lineamenti geomorfologici	8
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b>	<b>10</b>
4.1	Classificazione sismica	10
4.2	Pericolosità sismica di base	10
4.3	Risposta sismica locale (metodo semplificato)	12
4.5	Valutazione del potenziale di liquefazione	15
<b>5</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE</b>	<b>16</b>
5.1	Premessa	16
5.2	Azione sismica	16
5.3	Metodi e condizioni delle verifiche	17
5.4	Area 1 - km 28,650	18
5.5	Area 2 - km 28,750	25
5.6	Area 3 - km 66,100	32
<b>7</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>37</b>

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 37		Rev. 0

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 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 (Tabella 1.A) e la rimozione di 4 linee secondarie esistenti (Tabella 1.B).

**Tabella 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

**Tabella 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.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 37		Rev. <b>0</b>

## 1.2 Scopo del lavoro

Il presente studio, relativo al progetto "Rifacimento Met. Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar e opere connesse", prevede la verifica analitica di stabilità di alcuni versanti che sono stati individuati come potenzialmente critici nella "Analisi areale della stabilità dei pendii" REL-SIS-E-03023.

Le verifiche di stabilità hanno interessato n. 3 versanti lungo la Linea Principale, in particolare:

ID	Prog. km	Lunghezza (m)	Comune
1	28,650	70	Castellina Marittima (PI)
2	28,750	60	Castellina Marittima (PI)
3	66,100	120	San Vincenzo (LI)

L'individuazione cartografica delle aree è riportata nel successivo Capitolo 5.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 37		Rev. <b>0</b>

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative di riferimento

Nella redazione dello studio in oggetto è stata presa in considerazione la vigente normativa tecnica nazionale ed internazionale 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.*  
Suppl. Ordinario n.5, Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2019.
- *EN 1594 (2013) – Annex E*  
Gas supply system – Pipelines for maximum operating pressure over 16bar.

### 2.2 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-03023 Analisi areale della stabilità dei pendii
- [5] REL-SIS-E-03024 Caratterizzazione della sismicità e verifica allo scuotimento sismico
- [6] PG-CGD-D-03207 Carta Geologia e Geomorfologica
- [7] PG-DRIF-D-03206 Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), IFFI e SIT Toscana

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 37	Rev. 0

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE

Il tracciato del Met. Livorno – Piombino DN 750 (30") in progetto si sviluppa per circa 84,240 km, in direzione N-S, dall'esistente impianto di Collesalvetti sito in località Mortaiolo, all'Impianto di Piombino.

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 e geomorfologica disponibile nel Database Geologico della Regione Toscana (Figura 3.A).

Infine, sono stati presi in esame tutti i dati raccolti attraverso le campagne geognostiche condotte e le analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in campo (REL-GEO-E-03022).

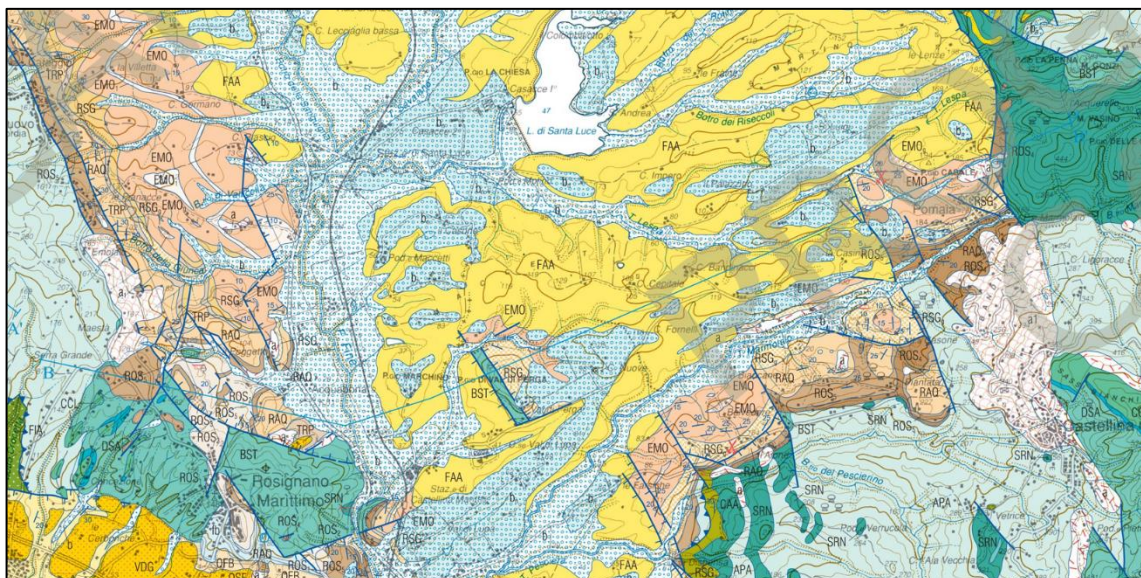


Figura 3.A Estratto Carta geologica (F° 284 – "Rosignano Marittimo"), scala 1:50.000

#### 3.1 Lineamenti geologico strutturali

Il territorio attraversato dall'opera in progetto appartiene al settore centro-occidentale della regione Toscana interessando un'area che si estende dalla parte meridionale della valle del Fiume Arno alla parte settentrionale della Maremma.

Questo settore appartiene ad un tratto di catena appenninica soggetto a deformazioni strutturali verificatesi a partire dal Cretacico inferiore con effetti che possono essere riconosciuti nella configurazione geomorfologica attuale. I movimenti hanno contribuito alla costruzione di un edificio a falde costituito da Unità Autoctone e da una successione di unità Alloctone.

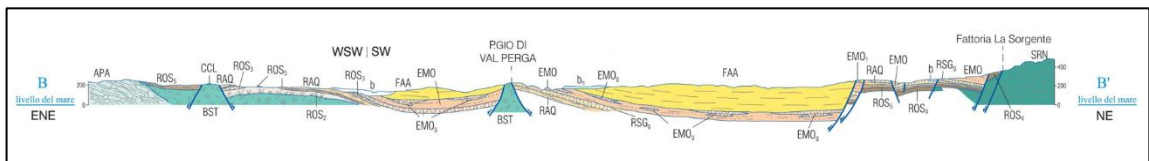
	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA NR/20049</b>	<b>UNITÀ 000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 7 di 37		<b>Rev. 0</b>

All'interno di tale sistema, nell'Oligocene, si sono sviluppati fenomeni di sedimentazione prevalentemente clastica e torbiditica dovuti alla presenza di bacini di avanfossa caratterizzati da una forte subsidenza. Il successivo sviluppo sedimentario, Neogenico e Quaternario, è stato ampiamente condizionato da movimenti verticali della crosta con conseguenti variazioni relative del livello del mare.

L'evoluzione tettonica di quest'area è caratterizzata da due fasi successive e distinte.

La prima fase, riferibile al cretaceo superiore, è documentata dalla giacitura discordante delle formazioni paleoceniche ed eoceniche sul complesso ofiolitifero ed è quindi anteriore alla messa in posto dei gruppi alloctoni. In questa fase si verifica la deposizione del Macigno della serie toscana, interrotta dal successivo arrivo dei terreni autoctoni (Alberese, Flysch cretaceo, argille scagliose ofiolitifere).

La seconda fase, più tardiva, interessa i terreni di copertura sovrastanti le formazioni evaporitiche ed è caratterizzata da movimenti prevalentemente rigidi dei vari blocchi delimitati da faglie dirette che determinano una configurazione a gradinate (Figura 3.B).



**Figura 3.B: Sezione geologica rappresentativa dell'area di interesse (F° 284 – "Rosignano Marittimo")**

Lo stile tettonico dei terreni di copertura è ovunque riconoscibile, in particolare nel gruppo montuoso di Campiglia Marittima, che rappresenta l'area dove la serie toscana appartenente ai terreni di copertura si è conservata più integra.

L'assetto strutturale del settore settentrionale dell'area di studio è connesso alla presenza di quattro complessi principali affioranti:

- il complesso delle formazioni di tipo toscano;
- il complesso delle formazioni del gruppo dell'Alberese;
- il complesso del gruppo delle formazioni del Flysch cretaceo;
- il complesso del gruppo delle formazioni delle Argille Scagliose Ofiolitifere.

Il complesso della serie toscana è caratterizzato da affioramenti che emergono come finestre tettoniche all'interno dei complessi alloctoni che li circondano e risultano parzialmente mascherati dalle formazioni di copertura. Il nucleo della struttura è ubicato nell'area di Casciana Terme-Chianni.

Il complesso del gruppo dell'Alberese ricopre tettonicamente le altre formazioni riferibili al complesso della serie toscana; nell'insieme si presenta come una grande struttura priva di assi ben definiti.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 37	Rev. 0

I terreni appartenenti al complesso del Flysch cretacico ricoprono la formazione dell'Alberese e sono interessati da ampi fenomeni di sovrascorrimento che ha portato interi pacchi di strati a trovarsi in posizione rovesciata.

Il complesso delle Argille scagliose ofiolitifere si trova al di sopra dei flysch ed è tettonicamente caratterizzato da due grosse pieghe con assi in direzione appenninica rovesciate verso NE. La più evidente è ubicata nell'area di Castellina Marittima in prossimità di monte Vitalba e la successiva in prossimità di monte Vasino e monte Vaso.

I terreni di copertura (complesso Neoautoctono) occupano un'ampia zona di questo settore e giacciono in trasgressione su tutti i terreni dei complessi precedenti. I terreni di copertura sono stati interessati essenzialmente da movimenti di tipo verticale evidenziati da sistemi di faglie a gradini.

L'assetto strutturale del settore meridionale è caratterizzato da un basamento costituito dalle formazioni della Serie Toscana e da quelle evaporitiche del Norico-Retico. Tali successioni sono state interessate da movimenti tangenziali che hanno determinato una configurazione complessa della struttura tettonica.

Le formazioni della serie di copertura (neoautoctone), invece, sono state interessate da movimenti tettonici essenzialmente verticali avvenuti in epoca più tardiva e che hanno determinato una configurazione decisamente più semplice.

### 3.2

#### Lineamenti geomorfologici

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.



	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA NR/20049</b>	<b>UNITÀ 000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 9 di 37		<b>Rev. 0</b>

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.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 37	Rev. 0

## 4 INQUADRAMENTO SISMICO

### 4.1 Classificazione sismica

In data 23 ottobre 2005 è entrata l'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 mentre il 22.03.2018 è entrato in vigore il D.M. 17.01.2018 (N.T.C. 2018).

Nella classificazione sismica dei comuni italiani di cui all'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (Allegato 1 – Allegato A) il comune di Castellina Marittima era classificato come Zona 2 mentre il comune di San Vincenzo era classificato come Zona 4. Con Deliberazione GRT n. 421 del 26.05.2014, (pubblicata sul BURT n. 22 del 04.06.2014 Parte Seconda), è stata approvata la classificazione sismica regionale; il comune di Castellina Marittima viene classificato come Zona 3 mentre il comune di San Vincenzo è classificato come Zona 4.

### 4.2 Pericolosità sismica di base

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, ribadito 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/>).

Le N.T.C. 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 2008 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 del terreno (espressa in g);

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito non è sintetizzata più dall'unico parametro  $a_g$ , ma dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera. I punti del reticolo di riferimento riportati hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV 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.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 37	Rev. 0

L'azione sismica calcolata ai sensi delle NTC2018 prevede la definizione del periodo di ritorno dell'azione sismica,  $T_r$ , dipendente dalla probabilità di superamento (funzione dello stato limite) e del periodo di riferimento. Per la costruzione viene identificato un Periodo di Riferimento,  $V_R$ , che si ricava moltiplicando la Vita Nominale,  $V_N$  per il Coefficiente d'Uso,  $C_U$ . La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Le NTC 2018 associano a tipi di costruzione un valore minimo della vita nominale espresso in anni; in particolare, per "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari", si prevede vita nominale  $\geq 50$ .

Ne segue che la Vita Nominale è scelta in funzione del numero di anni di vita utile previsto per la struttura senza che si debba ricorrere ad interventi di manutenzione straordinaria. Coerentemente con tali indicazioni, la Vita Nominale del manufatto trova quindi riferimento nelle scelte progettuali.

La Classe d'Uso deriva da considerazioni "esterne" che tengono conto di quanto può accadere "in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso" (NTC 2018 par. 2.4.2). Inoltre, sull'assegnazione della Classe d'Uso intervengono criteri di qualificazione non solo tecnica ma anche "amministrativa" (finalità di protezione civile, competenza statale).

Il metanodotto in progetto appartiene ai gasdotti della rete nazionale e pertanto, nel suo insieme, può considerarsi un'opera infrastrutturale di interesse strategico.

Alla luce di tali considerazioni, si è motivatamente assunto per l'opera la seguente combinazione di  $V_N$  e  $C_U$ , conseguentemente determinando il periodo di riferimento "di progetto":

$V_N$ , Vita Nominale della costruzione, 50 anni;

$C_U$ , Coefficiente d'Uso (classe IV), 2.0;

$V_R$ , Periodo di Riferimento per la costruzione, 100 anni.

Date dalle NTC 2018 (Tab. 3.2.1) le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento, associate all'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite di calcolo, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni,

$$T_R = -V_r / (\ln(1 - P_{VR}))$$

è così determinato:

**Tabella 4.A: Valori di  $T_R$  espressi in funzione di  $V_R$**

Stato limite		Probabilità di superamento $P_{VR}$ nel periodo di riferimento $V_R$	Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$	
Esercizio (SLE)	SLO	81%	0,60 $V_R$	60
	SLD	63%	$\cong V_R$	101
Ultimo (SLU)	SLV	10%	$\cong 9,50 V_R$	949
	SLC	5%	19,50 $V_R$	1950

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 12 di 37 Rev. 0

#### 4.2.1 Parametri spettrali

Nella Tabella 5.B, per i vari stati limite, sono indicati i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , calcolati per le n. 3 aree come media dei valori dei nodi della griglia di riferimento, estrapolati dalla Tabella A1 delle NTC 2008

**Tabella 4.B: Parametri spettrali:  $V_N = 50$  anni - Classe d'Uso IV (Opere strategiche)**  
Stato limite SLV –  $T_R = 949$  anni (coordinate WGS84).

N.	Latitudine:	Longitudine	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
01	43.404388°	10.502891°	0,164	2,478	0,275
02	43.403735°	10.503552°	0,164	2,478	0,275
03	43.106870°	10.558694°	0,073	2,836	0,290

#### 4.3 Risposta sismica locale (metodo semplificato)

##### 4.3.1 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

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 (Tabella 3.2.II delle NTC 2018) e sulle categorie topografiche (Tabella 3.2.III delle NTC 2018).

- *Determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$*

In relazione alla tipologia dell'opera ed alla generale uniformità stratigrafica locale ad integrazione dei dati stratigrafici in possesso, al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio  $V_s$  e calcolare il valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) in funzione della determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione come previsto dalle NTC2018, nel corso della campagna geofisica eseguita nel periodo di Maggio-Settembre 2018, sono stati analizzati da ti di n. 2 prove sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) eseguita in corrispondenza del sito n. 1 denominata LP-A-M09 e nelle vicinanze del sito n. 3 denominata LP-A-M17. La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  viene definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$$

dove  $H$  ( $\leq 30$  m) è la profondità del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) e  $h_i$  e  $V_{s,i}$ , sono gli spessori e le velocità dei singoli strati.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato sismico superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30 m.

- *Categoria di sottosuolo di riferimento*

Sulla base dei valori di  $V_{s,eq}$  derivati dai dati della prova sismica MASW LP-A-M09 per il sito n. 01 ed anche per l'adiacente sito n. 02 sia ha  $V_{s,30} \geq 419$  m/s, mentre la prova sismica MASW LP-A-M17 riferita al sito n. 3 ha fornito valori  $V_{s,30} \geq 410$  m/s. Con

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 37	Rev. 0

riferimento alla Tabella 5.C seguente, il profilo stratigrafico del suolo di fondazione delle opere in progetto ricade nella categoria B.

**Tabella 4.C: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)**

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

- **Condizioni topografiche**

In relazione all'andamento morfologico locale, sulla base dei profili topografici di dettaglio, con riferimento alla seguente Tabella 4.D, è stato possibile classificare i siti n.1 e n. 2 come categoria T1 ed il sito n. 3, cautelativamente come T2.

**Tabella 4.D: Categorie topografiche (Tabella 3.2.III e Tabella 3.2.V N.T.C. 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S <sub>T</sub>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	---	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1.4

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035	
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 14 di 37	Rev. 0

#### 4.3.3 Accelerazione massima attesa in superficie

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

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad \text{in cui:}$$

$S_S$  = 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,

**Tabella 4.E: Espressioni di  $S_S$  (estratte da Tabella 3.2.IV NTC 2018)**

Categoria sottosuolo	$S_S$
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,60$

Nel caso in esame potrà essere assunto:

**Tabella 4.F: Valori di  $a_{max}$  per le aree critiche individuate**

Nr. ID	Prog. km	$a_g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	$a_{max}$
1	28,650	0,164	B	T1	0,197
2	28,750	0,164	B	T1	0,197
3	66,100	0,073	B	T2	0,105

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 37		Rev. 0

#### 4.5 Valutazione del potenziale di liquefazione

Col termine di liquefazione si intende generalmente la perdita di resistenza dei terreni saturi, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

Questi fenomeni si verificano soprattutto nelle sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

Le caratteristiche stratigrafiche dell'immediato sottosuolo nell'area, con la presenza di sedimenti alluvio-colluviali di natura limoso-argillosa molto consistente o sabbioso-limoso molto addensati poggianti sulla formazione di base costituita da argille marnose (formazione delle Argille Azzurre) per i siti n. 1 e n. 2 e da rocce vulcaniche di tipo Rioliti per il sito n. 3 in assenza di falda, pertanto di escludere l'instaurarsi di fenomeni di alterazione locale (liquefazione) delle caratteristiche di resistenza al taglio dei terreni in concomitanza di eventi sismici.

In particolare, in accordo a quanto previsto nelle N.T.C., al punto 7.11.3.4.2, la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto:

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 16 di 37		Rev. 0

## 5 VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE

### 5.1 Premessa

Le verifiche di stabilità sono state eseguite lungo sezione longitudinale interessata dalla posa della condotta in progetto.

### 5.2 Azione sismica

Nel caso si utilizzino approcci basati sul metodo pseudo-statico, l'azione sismica deve essere rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente coinvolto dal meccanismo di rottura ipotizzato e la cui direzione è modulata da due coefficienti  $k$  di seguito definiti (NTC 2018 paragrafo 7.11.5.3.2).

Nella norma è previsto che nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono quindi esprimersi come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale, che risultano essere:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad \text{in cui:}$$

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (Tabella 5.A)

$a_{max}$  accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido

$g$  accelerazione di gravità

**Tabella 5.A: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito**  
(Tabella 7.11.1 NTC 2018)

	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

Sulla base dei dati sopra esposti per le varie aree oggetto di studio risultano i valori di  $k_h$  riportati nella seguente Tabella 5.B:



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 17 di 37 Rev. 0

**Tabella 5.B: Valori di kh per le aree critiche individuate**

Nr. ID	Prog. km	$a_g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	$a_{max}$	$\beta$	$k_h$
1	28,650	0,164	B	T1	0,197	0.24	0.047
2	28,750	0,164	B	T1	0,197	0.24	0.047
3	66,100	0,073	B	T2	0,105	0.20	0.021

### 5.3 Metodi e condizioni delle verifiche

I calcoli di stabilità sono stati eseguiti applicando il metodo dell'equilibrio limite nella versione di Morgenstern & Price (1965), così come rielaborato da Zhu ed al. (2005) con il programma freeware SSAP 4.9.6 (2018) Slope Stability Analysis Program del dott. geol. L. Borselli docente della Facoltà di Ingegneria, Universidad Autonoma de San Luis Potosí, Mexico.

Sono state effettuate ricerche automatiche di superfici complesse anche in presenza di sollecitazioni sismiche. L'azione sismica è stata simulata con il metodo pseudo-statico, per mezzo di un'azione statica equivalente, calcolata con i coefficienti sismici orizzontali e verticali (paragrafo 7.11.3.5.2 NTC 2018).

Per quanto riguarda la parametrizzazione geotecnica degli orizzonti e in particolare i valori di resistenza al taglio efficaci, per i terreni coesivi delle coltri, si è fatto riferimento ai risultati delle prove di laboratorio; per la caratterizzazione dei terreni incoerenti o granulari sono stati utilizzati i risultati delle prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) eseguite nel foro di sondaggio per la cui interpretazione sono state utilizzate sperimentate correlazioni disponibili in letteratura. Infine, per le formazioni di base, sono stati utilizzati dati bibliografici disponibili in letteratura.

In relazione alle particolari condizioni stratigrafiche delle aree nelle zone oggetto di studio non sono presenti falde idriche né esistono i presupposti per una loro stabile formazione.

Per questi motivi è stata ipotizzata, cautelativamente, una saturazione "dall'alto" del coltre di copertura in concomitanza di forti e prolungati eventi meteorici. In relazione alla necessaria previsione di opere di drenaggio (sottocondotta) nelle aree critiche attraversate, sono state assunte due differenti condizioni idrauliche:

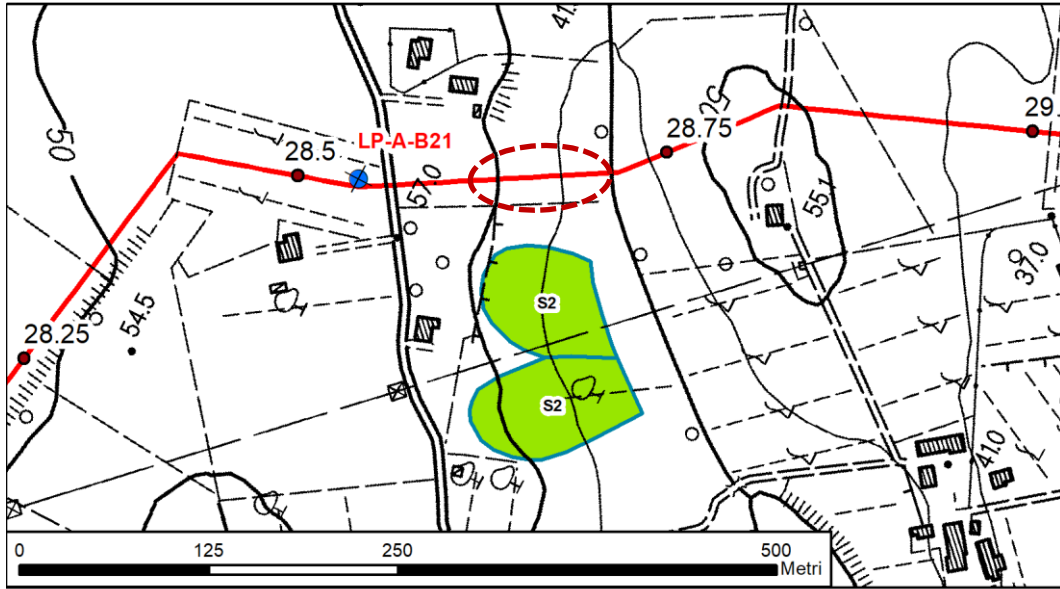
- saturazione di tutta la coltre di copertura (condizione limite) ante-operam;
- saturazione della coltre di copertura sino alla base delle opere drenanti (circa -2.5 m dal p.c.) al fine di verificare la situazione a seguito della posa del condotta.

I calcoli sono stati eseguiti su 5000 superfici di scivolamento di forma complessa, distribuite sull'intera sezione considerata mediante l'algoritmo di Morgenstern & Price (1965).

Nei calcoli sono state considerate "critiche" tutte le superfici con coefficiente di sicurezza  $F_s < 1.2$  in condizioni statiche e  $F_s < 1.1$  in presenza di sollecitazioni sismiche.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 18 di 37 Rev. <b>0</b>

#### 5.4 Area 1 - km 28,650



#### Legenda

Met. Livorno-Piombino

— Tracciato di Progetto

#### Indagini Geognostiche

• Indagini Dirette

#### Zone in dissesto

IFFI Toscana 2016

□

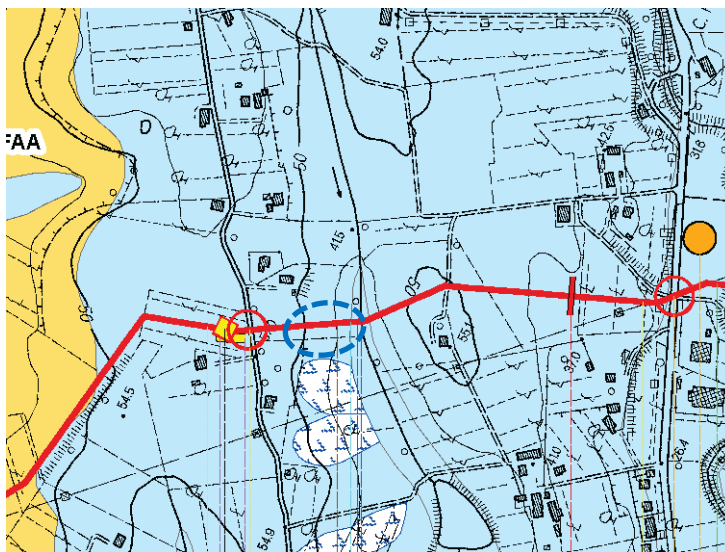
#### SIT GEOMORFOLOGIA

□ FD - Franosità Diffusa

□ S - Scivolamento o colata lenta



Figura 5.A Area 1 - km 28,650



#### Legenda

□ b-Deposito alluvionale

□ a1q-Frana Quiescente

□ FAA-Argille Azzurre

Figura 5.B Stralcio Carta Geologica, scala 1:10000

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 37	Rev. 0

#### 5.4.1 **Descrizione dell'area**

L'Area 1 interessa il tracciato del metanodotto circa al km 28,650, e si sviluppa per circa 70 m lungo il versante sud-orientale di un modesto rilievo, allungato in direzione SO-NE. Il versante presenta un profilo di superficie uniforme con acclività media pari al 23%.

L'immediato sottosuolo dell'area, è costituito da una coltre di origine alluvionale antica di spessore attorno a 9 m poggiante sulla formazione pliocenica argilloso-marnosa.

Allo stato attuale il pendio non evidenzia indizi di fenomeni gravitativi ma i risultati dell'analisi areale preliminare di stabilità e la presenza poco più a ovest di due aree individuate nella cartografia del Catalogo IFFI e nel Database geomorfologico della Regione Toscana come aree S2 "Scivolamento o colata lenta" fanno presupporre una potenziale instabilità del versante.

#### 5.4.2 **Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni**

Al fine di definire la natura litologica e le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area in esame sono stati presi in considerazione i dati dell'indagine geognostica eseguita nelle vicinanze, nel periodo Luglio 2021, dalla ditta L&R di San Giovanni La Punta (CT), e consistita in:

- n. 1 sondaggio geognostico, a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità massima di 15.0 m dal p.c. locale, identificato in planimetria di Figura 5.A con LP-A-B21.

Per una migliore valutazione delle caratteristiche sismiche dei terreni e per la definizione delle velocità equivalenti ( $V_{s,eq}$ ) richieste dalle NTC2018 per la definizione delle categorie di sottosuolo di fondazione, ad integrazione della indagine, la ditta Geores Srl di Frosinone, in corrispondenza del sondaggio LP-A-B21, ha anche eseguito una indagine geofisica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) denominata LP-A-M09.

La stratigrafia del sondaggio geognostico, i certificati delle prove di laboratorio geotecnico ed i risultati della prova sismica MASW sono riportati nella Relazione Geotecnica REL-GEO-E-03022.

L'esame dei dati stratigrafici e geotecnici in possesso, ha messo in evidenza, nell'area, una successione stratigrafica, caratterizzata dalla presenza, subito al di sotto dell'orizzonte superficiale di terreno vegetale, di una coltre di origine alluvionale antica, di circa 9 m di spessore, di natura prevalentemente sabbioso-limoso con valori di addensamento sensibilmente inferiori in superficie (primi 3 m).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 20 di 37	Rev. 0

La coltre alluvionale poggia sul substrato plio-pleistocenico argilloso-limoso della Formazione delle "Argille Azzurre". In particolare nell'area, ai fini del presente studio è possibile individuare la seguente successione stratigrafica:

**Strato 1:** (dal p.c. sino a 2.5÷3.0 m di profondità)

Sabbia limosa mediamente addensata, con matrice di colore marrone variamente abbondante ed elementi sparsi di ghiaia fine (*terreno vegetale e/o coltre alluvionale superficiale*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0$  kN/m<sup>3</sup>
- Indice SPT,  $N_{SPT} = 15$  colpi/30cm
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\phi' = 26\div 30$  °
- Coesione intercetta,  $c' = 0\div 10$  kPa

**Strato 2:** (da 2.5÷3.0 m sino a 9.2 m di profondità)

Sabbia limosa addensata, con matrice di colore marrone chiaro ed elementi sparsi di ghiaia fine; presenza di intercalazioni limoso-argillose di spessore decimetrico (*coltre alluvionale antica*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0$  kN/m<sup>3</sup>
- Indice SPT,  $N_{SPT} = 36\div 41$  colpi/30cm
- Angolo di resistenza al taglio,  $\phi' = 35\div 40$  °

**Strato 3:** (da 9.2 m sino alla massima profondità investigate)

Argilla limosa, di colore grigiastro, molto consistente (formazione plio-pleistocenica di base).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.5$  kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 120\div 200$  kPa
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\phi' = 23\div 25$  °
- Coesione intercetta,  $c' = 40\div 60$  kPa

**Falda acquifera**

Nel corso della campagna geognostica (luglio 2021) non è stata rilevata la presenza della superficie piezometrica della falda sino alla massima profondità investigata (15 m).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 37		Rev. 0

#### 5.4.4 *Analisi di stabilità del versante*

Visto lo sviluppo della condotta in progetto, lungo la massima pendenza del versante, nel presente paragrafo vengono analizzati i risultati delle analisi di stabilità di versante effettuate lungo n. 1 sezione rappresentativa, secondo i criteri riportati nei paragrafi precedenti. In particolare nello schema di calcolo adottato sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici che meglio rappresentano le caratteristiche geomeccaniche degli orizzonti individuati:

##### **Parametri geotecnici:**

*Terreno 1: Terreno vegetale e Coltre alluvionale superficiale:*

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 28^\circ \quad c = 0 \text{ kPa}$$

*Terreno 2: Coltre alluvionale antica:*

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 35.0^\circ \quad c = 0 \text{ kPa}$$

*Terreno 3: Formazione di base argilloso-limosa:*

$$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 24.0^\circ \quad c = 50 \text{ kPa}$$

##### **Parametri sismici:**

$$k_h = 0.047 \quad k_v = 0.024$$

##### **Condizioni idrauliche:**

In assenza di falda nel corso della perforazione (sino a 15 m di profondità) sono state comunque assunte le seguenti condizioni limite come descritto nel precedente paragrafo 6.3.

Falda attuale: condizione limite p.c.

Falda di progetto: condizione limite -2.5 m

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 22 di 37 Rev. 0

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat
	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	28.00	0	0	19.00	20.00
2	35.00	0	0	19.00	20.00
3	24.00	50.00	0	19.50	20.50

SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO

Fs minimo : 1,000  
Fs massimo : 1,2000  
N.Superfici plottate : 2453  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

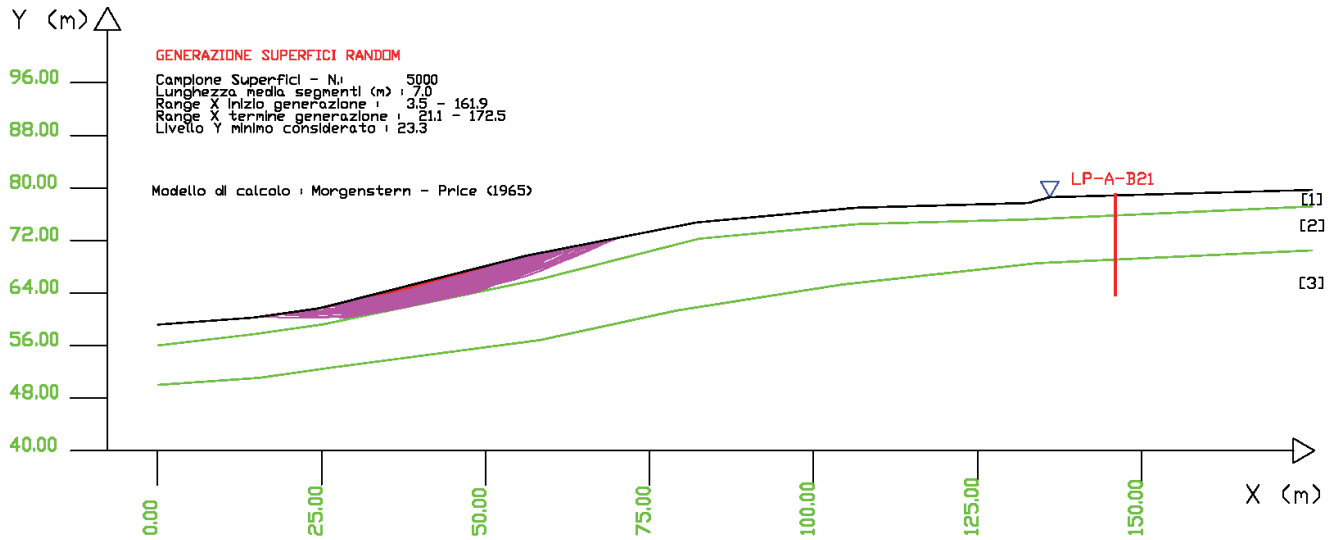


Figura 5.C: Condizione limite ante-operam: Falda al p.c. - Assenza sisma

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat
	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	28.00	0	0	19.00	20.00
2	35.00	0	0	19.00	20.00
3	24.00	50.00	0	19.50	22.00

SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO

Fs minimo : 0,8460  
Fs massimo : 1,1000  
N.Superfici plottate : 2916  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0470

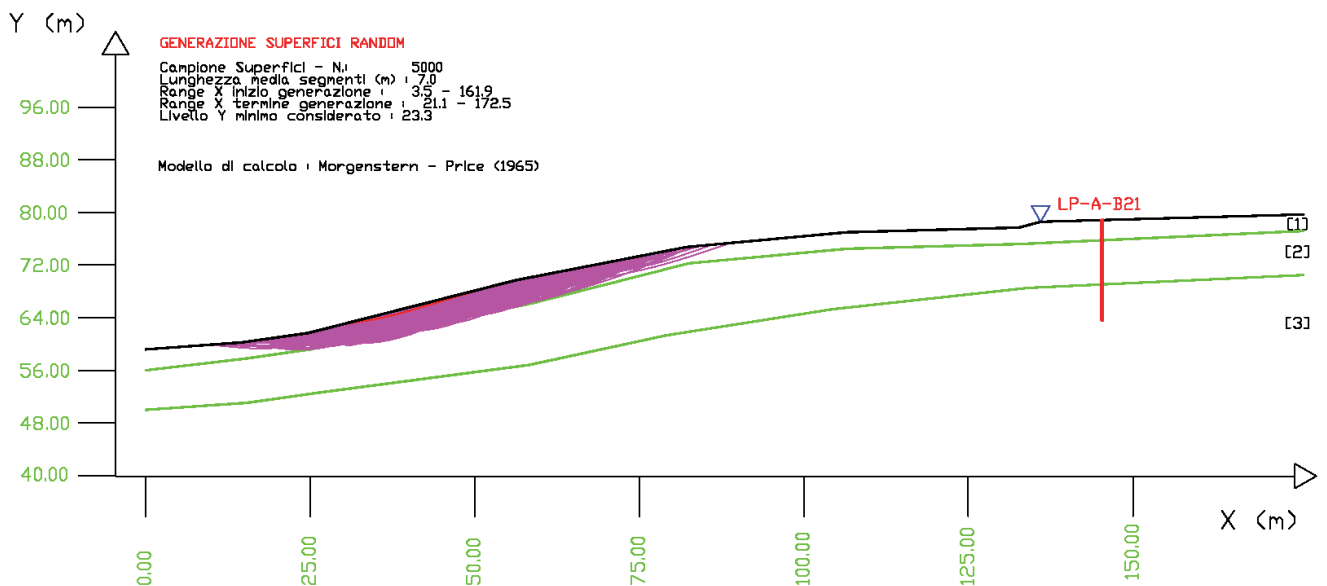
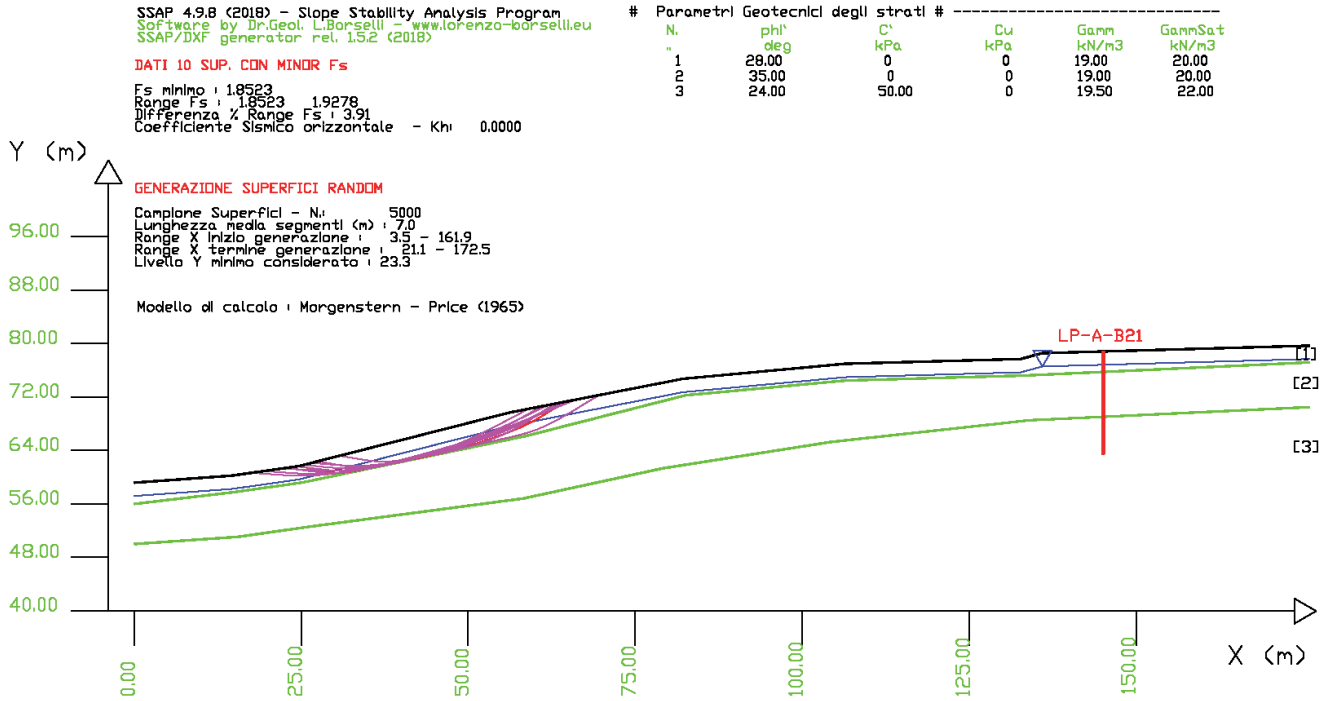
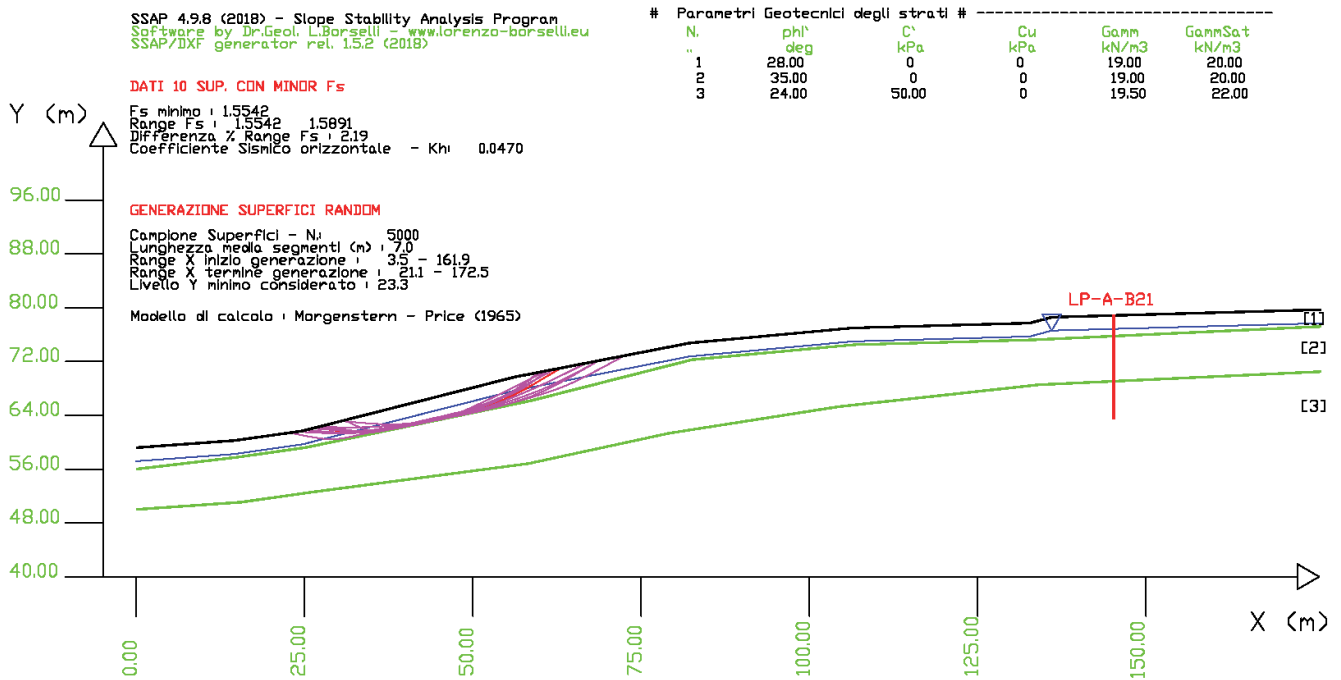


Figura 5.D: Condizione limite ante-operam: Falda al p.c. - Presenza sisma

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 23 di 37	<b>Rev.</b> 0



**Figura 5.E: Condizione limite di progetto: Falda -2.5 m – Assenza sisma**



**Figura 5.F: Condizione limite di progetto: Falda -2.5 m – Presenza sisma**

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 37	Rev. 0

#### 5.4.5 **Analisi dei risultati delle verifiche di stabilità del versante**

Dall'esame dei dati delle verifiche di stabilità del versante, riportati schematicamente nelle sezioni del paragrafo precedente, è possibile formulare le seguenti considerazioni.

Le caratteristiche stratigrafiche dell'area evidenziano la presenza di una parte superficiale della coltre alluvionale sabbioso-limosa, con minore grado di addensamento di circa 3 m di spessore per cui si è ipotizzato che sia questa la parte potenzialmente instabile.

Nella situazione attuale del pendio (ante-operam), nel caso limite di completa saturazione della parte più superficiale della coltre alluvionale (Strato1) si avrebbero valori minimi del fattore di sicurezza  $F_s > 1.00$  (Figura 5.C) in condizioni statiche e in caso di sollecitazioni sismiche si avrebbero valori del fattore di sicurezza minimo  $F_s > 0,85$  (Figura 5.D) inferiore a quanto previsto dalla vigente normativa (NTC 2018).

Nel progetto della condotta è prevista la realizzazione di un letto di posa drenante in grado di impedire che la superficie piezometrica della falda risalga a quote superiori a -2.5 m dal pc locale; questo fa sì che nella situazione di progetto, anche con innalzamento della falda a - 2.5 m dal pc, in condizioni statiche si abbiano valori di  $F_s > 1,85$  (Figura 5.E) ed in condizioni sismiche valori di  $F_s > 1,55$  (Figura 5.F) in accordo con quanto previsto dalla vigente normativa.

Per i motivi sopra esposti si ritiene che nella percorrenza dell'Area 1 al km 28.650, l'opera in progetto si trovi in sicurezza rispetto alle condizioni di stabilità del versante.

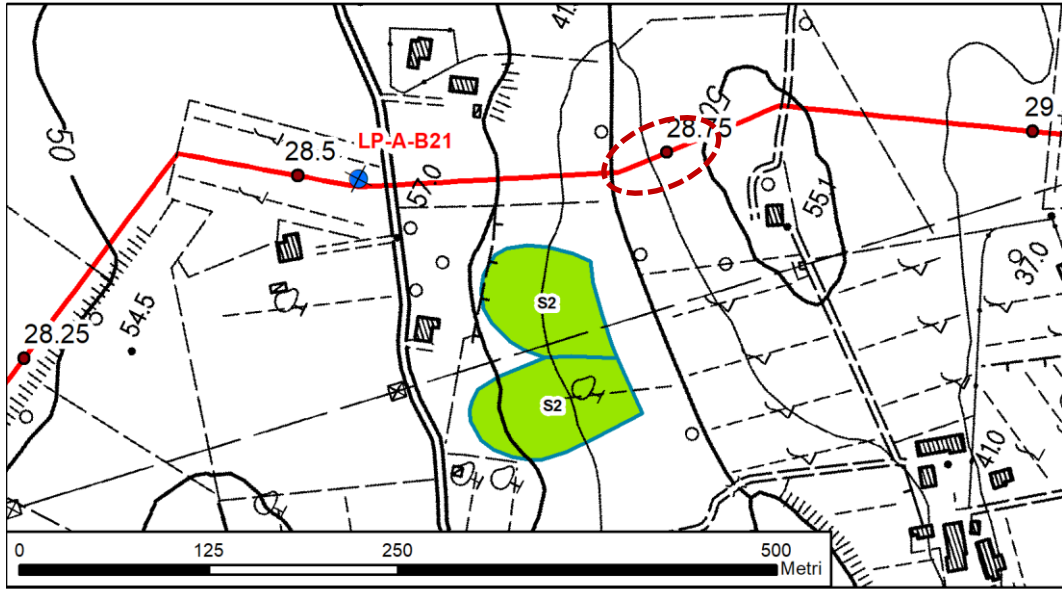
La previsione degli interventi di drenaggio alla base della condotta e di regimazione delle acque meteoriche superficiali fa sì che non vi sia un aggravio delle condizioni di sicurezza dell'area.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 25 di 37

5.5

**Area 2 - km 28,750**



**Legenda**

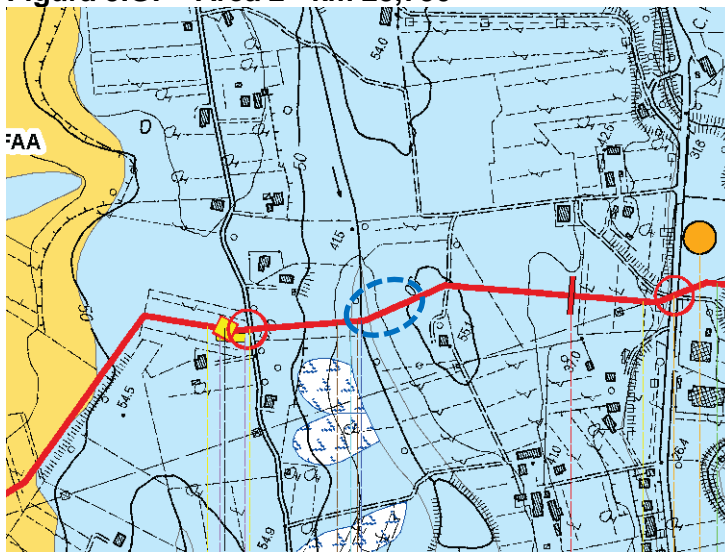
- Met. Livorno-Piombino**
- Tracciato di Progetto
- Indagini Geognostiche**
- Indagini Dirette

**Zone in dissesto**

- IFFI Toscana 2016**
- SIT GEOMORFOLOGIA**
- FD - Franosità Diffusa
- S - Scivolamento o colata lenta



**Figura 5.G: Area 2 - km 28,750**



**Legenda**

- b-Deposito alluvionale
- a1q-Frana Quiescente
- FAA-Argille Azzurre

**Figura 5.H Stralcio Carta Geologica, scala 1:10000**

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 26 di 37	Rev. 0

### 5.5.1 *Descrizione dell'area*

L'Area 2 interessa il tracciato del metanodotto circa al km 28,750, e si sviluppa per circa 60 m lungo il versante nord-occidentale di un modesto rilievo, allungato in direzione SO-NE. Il versante presenta un profilo di superficie uniforme con acclività media pari al 23%.

L'immediato sottosuolo dell'area, è costituito da una coltre di origine alluvionale antica di spessore attorno a 9 m poggiante sulla formazione pliocenica argilloso-marnosa.

Allo stato attuale il pendio non evidenzia indizi di fenomeni gravitativi ma i risultati dell'analisi areale preliminare di stabilità e la presenza lungo il versante prospiciente (con le stesse caratteristiche stratigrafiche e morfologiche) di due aree individuate nella cartografia del Catalogo IFFI e nel Database geomorfologico della Regione Toscana come aree S2 "Scivolamento o colata lenta" fanno presupporre una potenziale instabilità del versante.

### 5.5.2 *Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni*

Al fine di definire la natura litologica e le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area in esame sono stati acquisiti i dati dell'indagine geognostica eseguita in un'area vicina, nel periodo Luglio 2021, dalla ditta L&R di San Giovanni La Punta (CT), e consistita in:

- n. 1 sondaggio geognostico, a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità massima di 15.0 m dal p.c. locale, identificato in planimetria di Figura 5.G con LP-A-B21.

Per una migliore valutazione delle caratteristiche sismiche dei terreni e per la definizione delle velocità equivalenti ( $V_{s,eq}$ ) richieste dalle NTC2018 per la definizione delle categorie di sottosuolo di fondazione, ad integrazione della indagine, la ditta Geores Srl di Frosinone, in corrispondenza del sondaggio LP A-B21, ha anche eseguito una indagine geofisica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) denominata LP-A-M09.

La stratigrafia del sondaggio geognostico, i certificati delle prove di laboratorio geotecnico ed i risultati della prova sismica MASW sono riportati nella Relazione Geotecnica REL-GEO-E-03022.

L'esame dei dati stratigrafici e geotecnici in possesso, ha messo in evidenza, nell'area, una successione stratigrafica, caratterizzata dalla presenza, subito al di sotto dell'orizzonte superficiale di terreno vegetale, di una coltre di origine alluvionale antica, di circa 9 m di spessore, di natura prevalentemente sabbioso-limosa con valori di addensamento sensibilmente inferiori in superficie (primi 3 m).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 27 di 37	Rev. 0

La coltre alluvionale poggia sul substrato plio-pleistocenico argilloso-limoso della Formazione delle "Argille Azzurre". In particolare nell'area, ai fini del presente studio è possibile individuare la seguente successione stratigrafica:

**Strato 1:** (dal p.c. sino a 2.5÷3.0 m di profondità)

Sabbia limosa mediamente addensata, con matrice di colore marrone variamente abbondante ed elementi sparsi di ghiaia fine (*terreno vegetale e/o coltre alluvionale superficiale*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0$  kN/m<sup>3</sup>
- Indice SPT,  $N_{SPT} = 15$  colpi/30cm
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\phi' = 26\div30$  °
- Coesione intercetta,  $c' = 0\div10$  kPa

**Strato 2:** (da 2.5÷3.0 m sino a 9.2 m di profondità)

Sabbia limosa addensata, con matrice di colore marrone chiaro ed elementi di ghiaia fine sparsi; presenza di intercalazioni limoso-argillose di spessore decimetrico (*coltre alluvionale antica*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0$  kN/m<sup>3</sup>
- Indice SPT,  $N_{SPT} = 36\div41$  colpi/30cm
- Angolo di resistenza al taglio,  $\phi' = 35\div40$  °

**Strato 3:** (da 9.2 m sino alla massima profondità investigate)

Argilla limosa, di colore grigiastro, molto consistente (formazione plio-pleistocenica di base).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.5$  kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 150\div200$  kPa
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\phi' = 23\div25$  °
- Coesione intercetta,  $c' = 40\div60$  kPa

**Falda acquifera**

Nel corso della campagna geognostica (luglio 2021) non è stata rilevata la presenza della superficie piezometrica della falda sino alla massima profondità investigata (15 m).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 37		Rev. 0

#### 5.5.4 *Analisi di stabilità del versante*

Visto lo sviluppo della condotta in progetto, lungo la massima pendenza del versante, nel presente paragrafo vengono analizzati i risultati delle analisi di stabilità di versante effettuate lungo n. 1 sezione rappresentativa, secondo i criteri riportati nei paragrafi precedenti. In particolare, nello schema di calcolo, adottato sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici che meglio rappresentano le caratteristiche geomeccaniche degli orizzonti individuati:

##### **Parametri geotecnici:**

*Terreno 1: Terreno vegetale e Coltre alluvionale superficiale:*

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 28^\circ \quad c = 0 \text{ kPa}$$

*Terreno 2: Coltre alluvionale antica:*

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 35.0^\circ \quad c = 0 \text{ kPa}$$

*Terreno 3: Formazione di base argilloso-limosa:*

$$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 24.0^\circ \quad c = 50 \text{ kPa}$$

##### **Parametri sismici:**

$$k_h = 0.047 \quad k_v = 0.024$$

##### **Condizioni idrauliche:**

In assenza di falda nel corso della perforazione (sino a 15 m di profondità) sono state comunque assunte le seguenti condizioni limite come descritto nel precedente paragrafo 6.3.

Falda attuale: condizione limite p.c.

Falda di progetto: condizione limite -2.5 m

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 29 di 37 Rev. 0

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
SSAP/DXF generator rel. 1.3.2 (2018)

# Parametri Geotecnici degli strati #						
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	
	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	
1	28.00	0	0	19.00	20.00	
2	35.00	0	0	19.00	20.00	
3	24.00	50.00	0	19.50	20.50	

SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO

Fs minimo : 1,000  
Fs massimo : 1,2000  
N.Superfici plottate : 2453  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

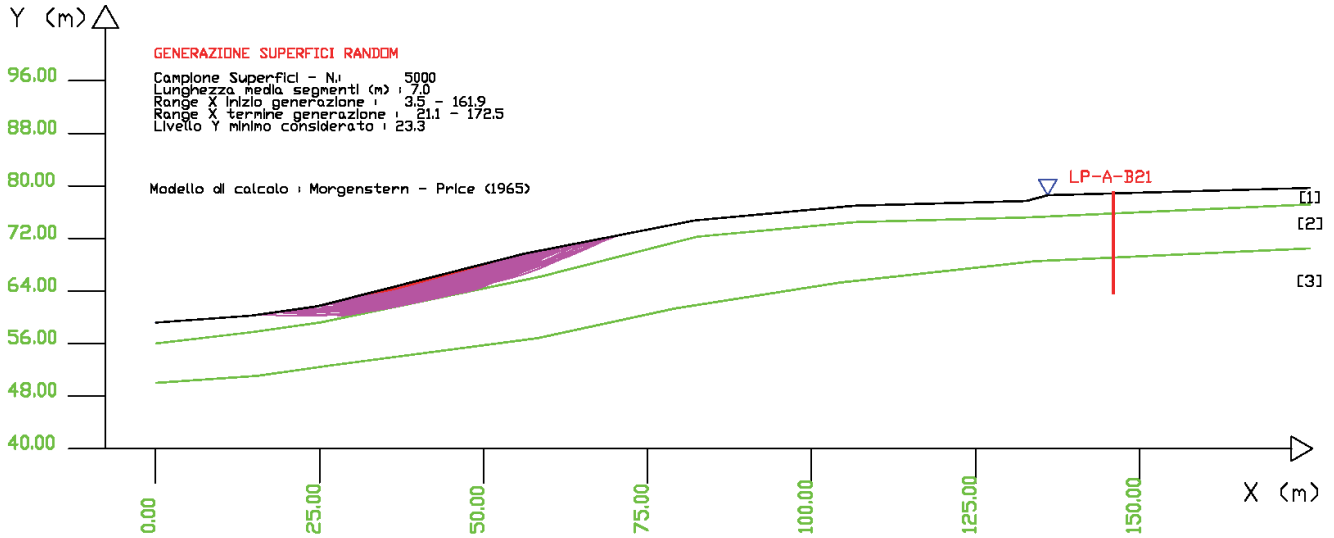


Figura 5.I: Condizione limite ante-operam: Falda al p.c. – Assenza sisma

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
SSAP/DXF generator rel. 1.3.2 (2018)

# Parametri Geotecnici degli strati #						
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	
	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	
1	28.00	0	0	19.00	20.00	
2	35.00	0	0	19.00	20.00	
3	24.00	50.00	0	19.50	22.00	

SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO

Fs minimo : 0,8460  
Fs massimo : 1,1000  
N.Superfici plottate : 2916  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0470

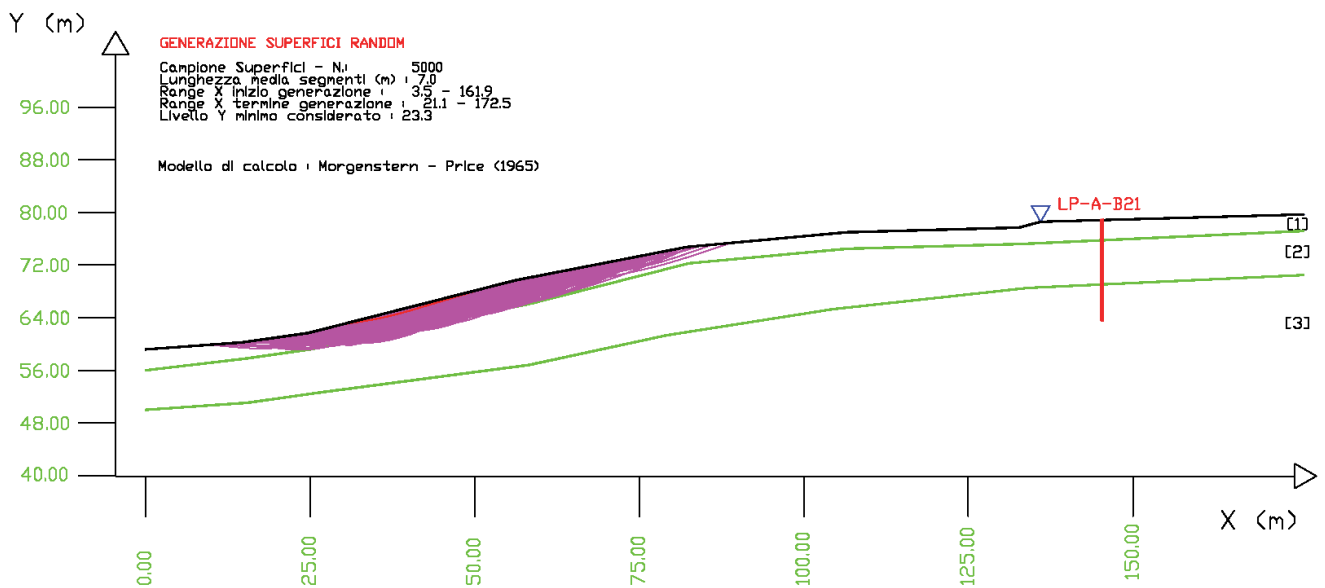
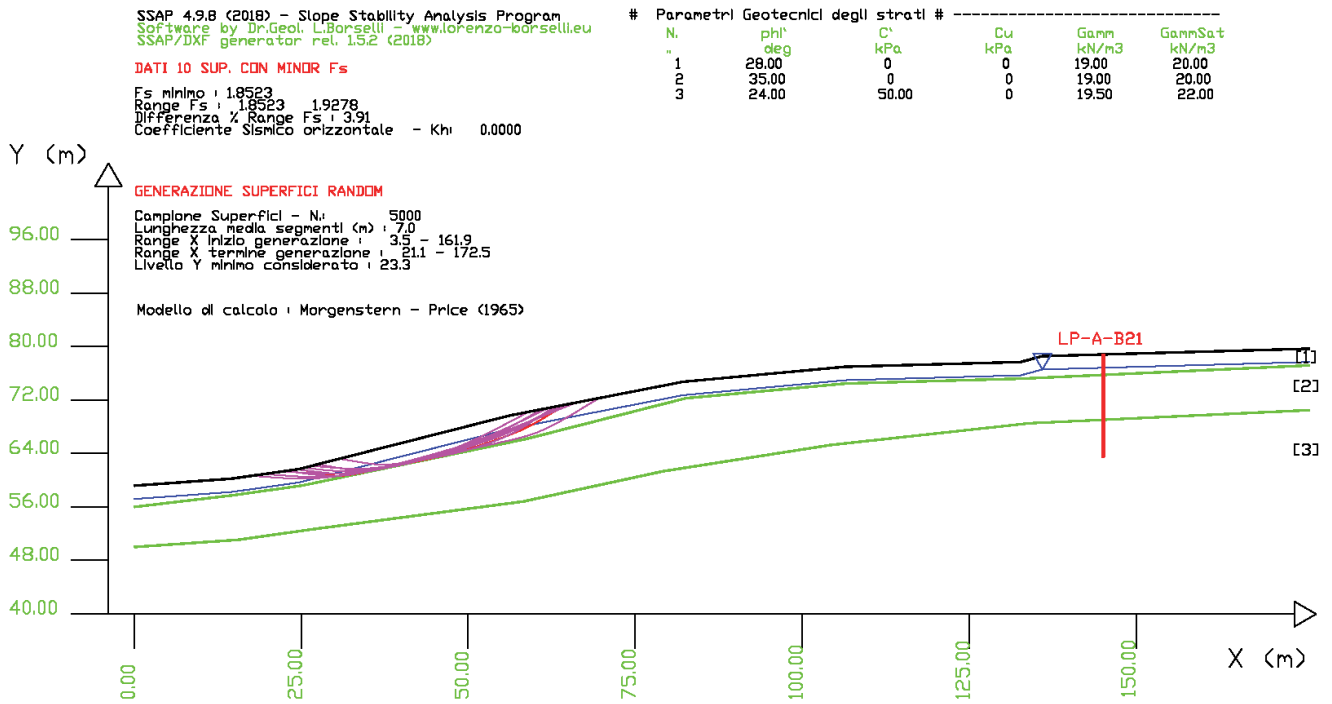
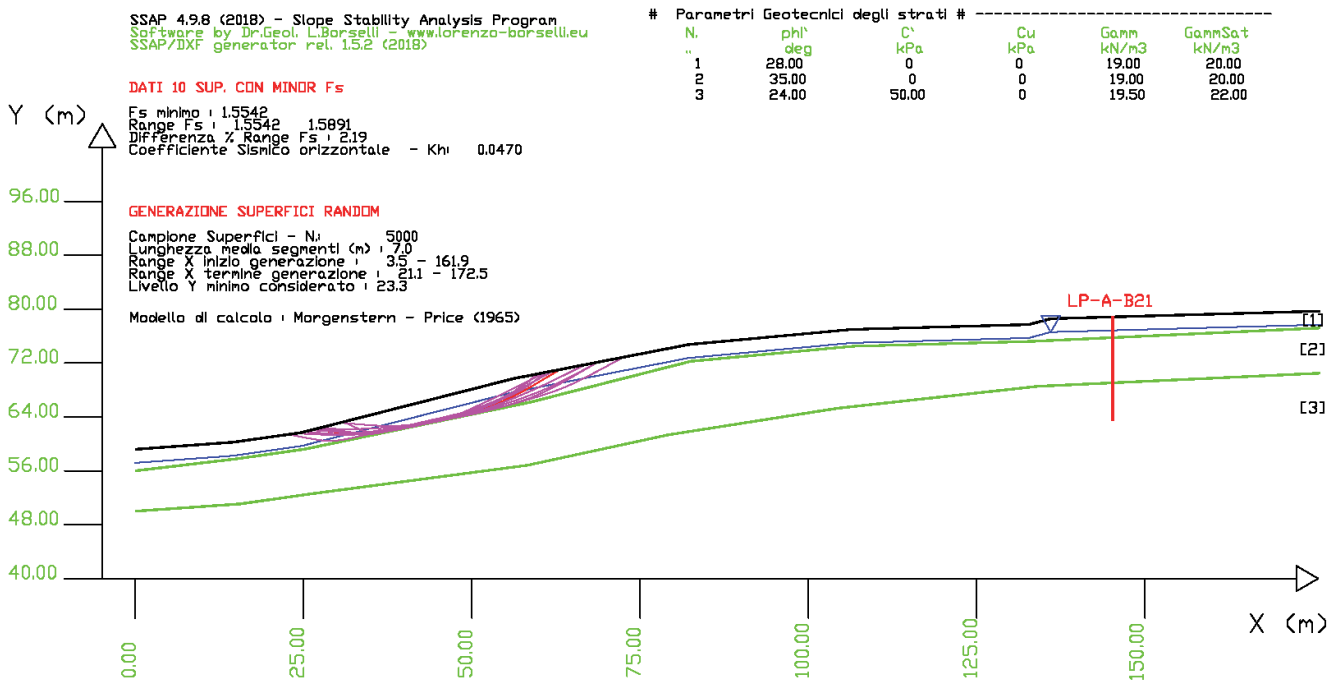


Figura 5.J: Condizione limite ante-operam: Falda al p.c. – Presenza sisma

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 30 di 37	<b>Rev.</b> 0



**Figura 5.K: Condizione limite di progetto: Falda -2.5 m – Assenza sisma**



**Figura 5.L: Condizione limite di progetto: Falda -2.5 m – Presenza sisma**

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 37	Rev. <b>0</b>

### 5.5.5 **Analisi dei risultati delle verifiche di stabilità del versante**

Dall'esame dei dati delle verifiche di stabilità del versante, riportati schematicamente nelle sezioni del paragrafo precedente, è possibile formulare le seguenti considerazioni.

Le caratteristiche stratigrafiche dell'area evidenziano la presenza di una parte superficiale della coltre alluvionale sabbioso-limosa, con minore grado di addensamento di circa 3 m di spessore per cui si è ipotizzato che sia questa la parte potenzialmente instabile.

Nella situazione attuale del pendio (ante-operam), nel caso limite di completa saturazione della parte più superficiale della coltre alluvionale (Strato1) si avrebbero valori minimi del fattore di sicurezza  $F_s > 1.06$  (Figura 5.I) in condizioni statiche e in caso di sollecitazioni sismiche si avrebbero valori del fattore di sicurezza minimo  $F_s > 0,98$  (Figura 5.J) inferiore a quanto previsto dalla vigente normativa (NTC 2018).

Nel progetto della condotta è prevista la realizzazione di un letto di posa drenante in grado di impedire che la superficie piezometrica della falda risalga a quote superiori a -2.5 m dal pc locale; questo fa sì che nella situazione di progetto, anche con innalzamento della falda a - 2.5 m dal pc, in condizioni statiche si abbiano valori di  $F_s > 1,95$  (Figura 5.K) ed in condizioni sismiche valori di  $F_s > 1,75$  (Figura 5.L) in accordo con quanto previsto dalla vigente normativa.

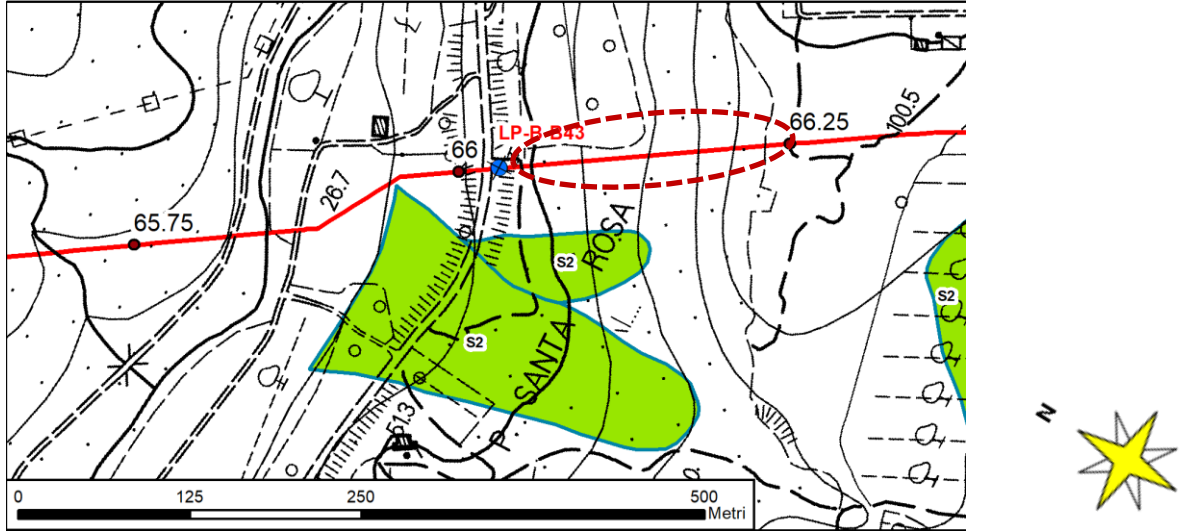
Per i motivi sopra esposti si ritiene che nella percorrenza dell'Area 2 al km 28.750, l'opera in progetto si trovi in sicurezza rispetto alle condizioni di stabilità del versante.

La previsione degli interventi di drenaggio alla base della condotta e di regimazione delle acque meteoriche superficiali fa sì che non vi sia un aggravio delle condizioni di sicurezza dell'area.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 32 di 37

5.6

Area 3 - km 66,100



**Legenda**

Met. Livorno-Piombino

— Tracciato di Progetto

**Indagini Geognostiche**

⊕ Indagini Dirette

**Zone in dissesto**

IFFI Toscana 2016

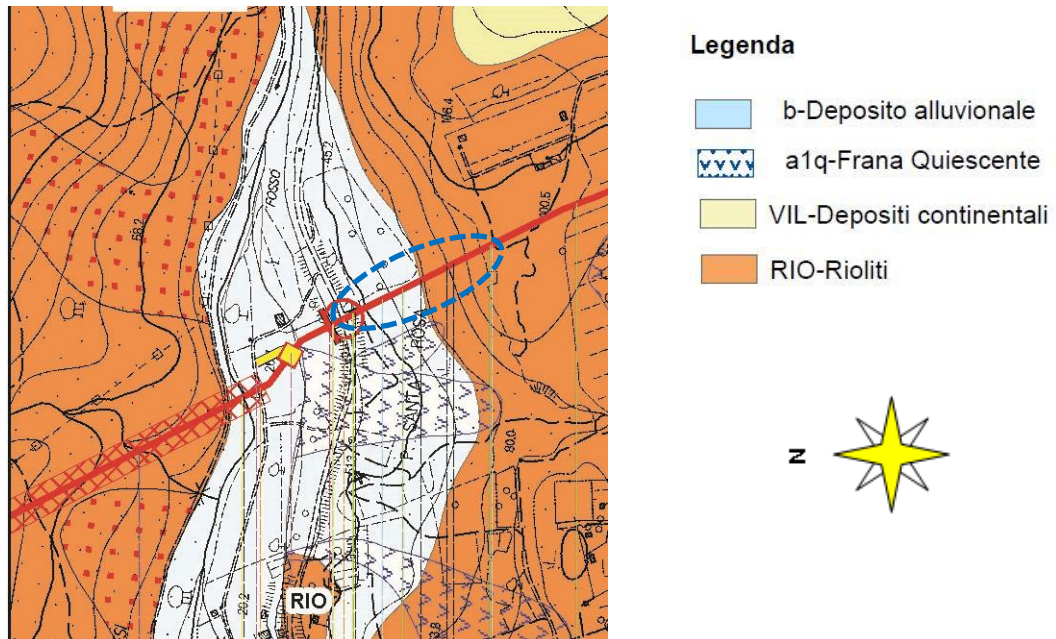


**SIT GEOMORFOLOGIA**

□ FD - Franosità Diffusa

■ S - Scivolamento o colata lenta

**Figura 5.M: Area 3 - km 66,100**



**Legenda**

□ b-Deposito alluvionale

▨ a1q-Frana Quiescente

□ VIL-Depositi continentali

□ RIO-Rioliti

**Figura 5.N Stralcio Carta Geologica, scala 1:10000**



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 33 di 37	Rev. 0

### 5.6.1 **Descrizione dell'area**

L'Area 3 interessa il tracciato del metanodotto al km 66,100, e si sviluppa per circa 120 m lungo il versante nord-occidentale di un modesto rilievo, allungato in direzione est-ovest, in un tratto in cui presenta un profilo di superficie uniforme con acclività media pari al 27%. L'immediato sottosuolo dell'area, è costituito da una coltre di origine alluvionale antica di spessore di più di 15 m nella parte basale del versante mentre, nella parte alta altresì affiora il substrato roccioso vulcanico costituito da rioliti.

Allo stato attuale il pendio non evidenzia indizi di fenomeni gravitativi ma i risultati dell'analisi areale preliminare di stabilità e la presenza nella zona occidentale del versante (con le stesse caratteristiche stratigrafiche e morfologiche) di due aree individuate nella cartografia del Catalogo IFFI e nel Database geomorfologico della Regione Toscana come aree S2 "Scivolamento o colata lenta" fanno presupporre una potenziale instabilità del versante.

### 5.6.2 **Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni**

Al fine di definire la natura litologica e le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area in esame sono stati acquisiti i dati dell'indagine geognostica eseguita in un'area vicina, nel periodo di giugno 2021, dalla ditta L&R di San Giovanni La Punta (CT), e consistita in:

- n. 1 sondaggio geognostico, a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità massima di 15.0 m dal p.c. locale, identificato in planimetria di Figura 5.M con LP-A-B43.

Per una migliore valutazione delle caratteristiche sismiche dei terreni e per la definizione delle velocità equivalenti ( $V_{s,eq}$ ) richieste dalle NTC2018 per la definizione delle categorie di sottosuolo di fondazione, ad integrazione della indagine, la ditta Geores Srl di Frosinone, alla base del versante, ha anche eseguito una indagine geofisica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) denominata LP-A-M17.

La stratigrafia del sondaggio geognostico, i certificati delle prove di laboratorio geotecnico ed i risultati della prova sismica MASW sono riportati nella Relazione Geotecnica REL-GEO-E-03022.

L'esame dei dati stratigrafici e geotecnici in possesso, ha messo in evidenza, nella parte basale dell'area, una successione stratigrafica, caratterizzata dalla presenza, subito al di sotto dell'orizzonte superficiale di terreno di riporto costituente la massicciata della sede di Via Valle, di una coltre di origine alluvionale antica, costituita da sedimenti prevalentemente limoso-argillosi in superficie (primi 4 m) e sabbia-limosa addensata con intercalazioni di livelli a maggior componente limoso-argillosa estremamente consistenti.

#### **Strato 1: (dal p.c. sino a 1.0 m di profondità)**

Terreno di riporto ghiaioso fine, addensato, costituente la massicciata stradale (non di interesse per lo studio della stabilità del versante sovrastante Via della Valle).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\phi' = 40\div 45^\circ$

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 34 di 37	Rev. 0

**Strato 2:** (da 1.0 m sino a 4.6 m di profondità)

Limo argilloso e limo sabbioso marrone, molto consistente, con concrezioni carbonatiche nodulari sparse (*coltre alluvionale antica*).

- Peso di volume,  $\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3$
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 150 \div 200 \text{ kPa}$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\varphi' = 23 \div 25^\circ$
- Coesione intercetta,  $c' = 10 \div 30 \text{ kPa}$

**Strato 3:** (da 4.6 m sino alla massima profondità investigate)

Alternanza di sabbia limosa e limo sabbioso, molto addensati, e limo argilloso marrone, molto consistente (*coltre alluvionale antica*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Indice SPT,  $N_{SPT} = 55 \div R \text{ colpi/30cm}$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\varphi' = 35 \div 45^\circ$

**Falda acquifera**

Nel corso della campagna geognostica (giugno 2021) non è stata rilevata la presenza della superficie piezometrica della falda sino alla massima profondità investigata (15 m).

### 5.6.3 **Analisi di stabilità del versante**

Visto lo sviluppo della condotta in progetto, lungo la massima pendenza del versante, nel presente paragrafo vengono analizzati i risultati delle analisi di stabilità di versante effettuate lungo n. 1 sezione rappresentativa, secondo i criteri riportati nei paragrafi precedenti. Il tratto esaminato si sviluppa subito a monte di Via della Valle che sarà interessato dai lavori di posa in opera "a cielo aperto". In particolare nello schema di calcolo adottato sono state assunte i seguenti parametri geotecnici che meglio rappresentano le caratteristiche geomeccaniche degli orizzonti individuati:

**Parametri geotecnici:**

*Terreno 1: Substrato roccioso riolitico (affiorante nella parte alta del versante):*

$$\gamma = 24.0 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 40.0^\circ \quad c = 100 \text{ kPa}$$

*Terreno 2: Coltre alluvionale superficiale:*

$$\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 24^\circ \quad c = 20 \text{ kPa}$$

*Terreno 3: Coltre alluvionale antica sabbioso-limosa:*

$$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi = 35.0^\circ \quad c = 0 \text{ kPa}$$

**Parametri sismici:**

$$k_h = 0.021 \quad k_v = 0.011$$

**Condizioni idrauliche:**

In assenza di falda nel corso della perforazione (sino a 15 m di profondità) sono state comunque, cautelativamente, assunte le seguenti condizioni limite:

Falda ante-operam: condizione limite p.c.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 35 di 37 Rev. 0

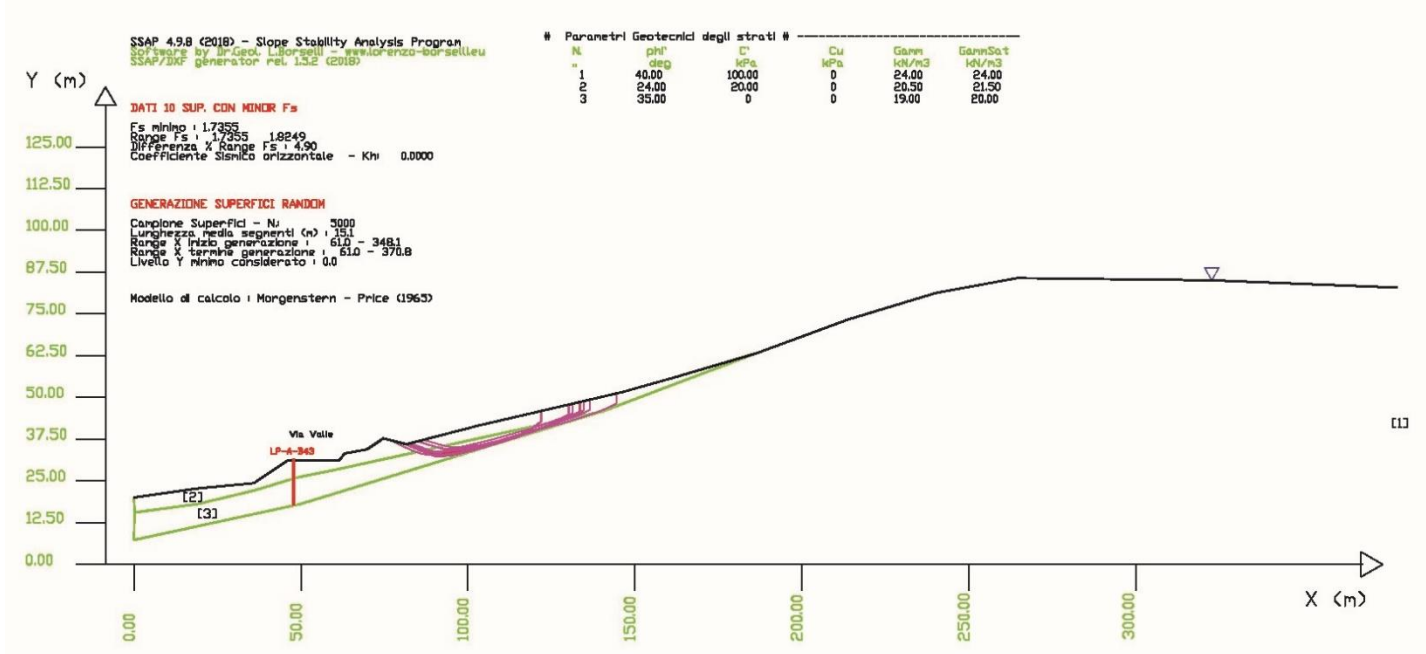


Figura 5.O: Condizione limite ante-operam: Falda al p.c. – Assenza sisma

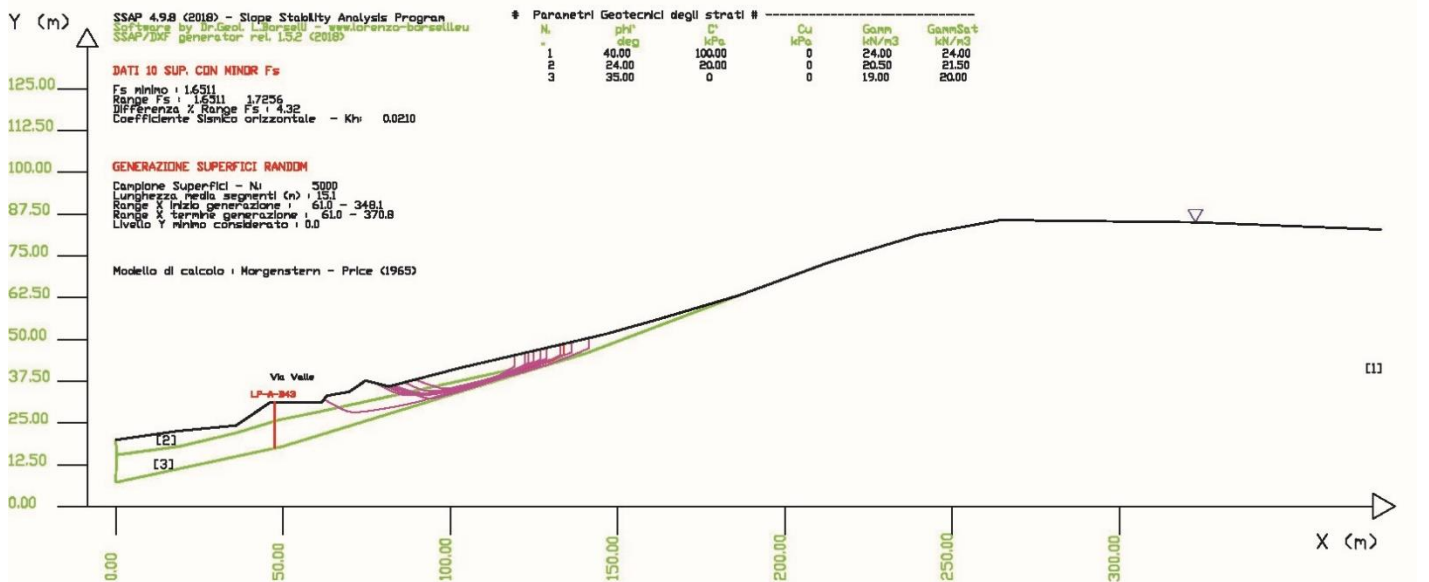


Figura 5.P: Condizione limite ante-operam: Falda al p.c. – Presenza sisma

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03035
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 36 di 37		Rev. 0

#### 5.6.4 **Analisi dei risultati delle verifiche di stabilità del versante**

Dall'esame dei dati delle verifiche di stabilità del versante, riportati schematicamente nelle sezioni del paragrafo precedente, è possibile formulare le seguenti considerazioni.

Le caratteristiche stratigrafiche dell'area evidenziano la presenza di una coltre di origine alluvionale antica di spessore di più di 15 m nella parte basale del versante (in corrispondenza di Via della Valle). Nella parte alta del versante altresì affiora il substrato roccioso costituito da rioliti.

Nella situazione attuale del pendio (ante-operam), nel caso limite di completa saturazione della parte più superficiale della coltre alluvionale si avrebbero valori minimi del fattore di sicurezza  $F_s > 1,74$  (Figura 5.O) in condizioni statiche e in caso di sollecitazioni sismiche si avrebbero valori del fattore di sicurezza minimo  $F_s > 1,65$  (Figura 5.P) in accordo con quanto previsto dalla vigente normativa (NTC 2018).

Nel progetto della condotta, visto la sensibile acclività dell'area, è prevista la realizzazione di un letto di posa drenante e, a protezione della scarpata di monte di Via della Valle, un'opera di sostegno. Gli interventi progettuali previsti permettono di garantire ulteriormente le attuali buone condizioni di stabilità dell'area.

Per i motivi sopra esposti si ritiene che nella percorrenza dell'Area 3 al km 66,100, l'opera in progetto si trovi in sicurezza rispetto alle condizioni di stabilità del versante.

La previsione degli interventi di drenaggio alla base della condotta e di regimazione delle acque meteoriche superficiali fa sì che non vi sia un aggravio, ma anzi un miglioramento, delle condizioni di sicurezza dell'area.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03035</b>
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 37 di 37	Rev. <b>0</b>

## 7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio, relativo al progetto "Rifacimento Met. Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar e opere connesse", ha previsto la verifica analitica di stabilità di alcune porzioni di versanti, attualmente senza indizi di fenomeni gravitativi in atto e/o pregressi, che sono stati individuati come potenzialmente critici nello studio preliminare di analisi areale della stabilità dei pendii (REL-SIS-E-03023).

Nelle aree di interesse erano presenti indagini geognostiche e geofisiche che hanno consentito la definizione del Modello geologico del sottosuolo.

In assenza di falda nel corso della perforazione (sino a 15 m di profondità) nelle verifiche di stabilità sono state comunque ipotizzate delle condizioni limite di saturazione dei sedimenti della coltre di copertura al fine di schematizzare la situazione limite in cui si potrebbe venire a trovare il versante in concomitanza di eventi meteorici particolarmente prolungati.

Le verifiche analitiche della stabilità hanno mostrato una debole criticità delle aree n. 1 e n. 2 (con valori del coefficiente di sicurezza  $F_s$  prossimi all'unità) soltanto nell'ipotesi di completa saturazione "dall'alto" della coltre di copertura. Tuttavia, considerando che nella realizzazione dell'opera è prevista la costituzione di un letto di posa drenante in grado di impedire la saturazione di uno strato superficiale di almeno 2.5 m di spessore, i valori dei coefficienti di sicurezza sono risultati sempre superiori a quanto previsto dalla vigente normativa (sia in condizioni statiche che in presenza di sollecitazioni sismiche) confermando le sostanziali condizioni di stabilità emerse nel corso del rilievo geomorfologico di dettaglio.

Per quanto riguarda l'area n. 3, le verifiche hanno mostrato l'assenza di condizioni critiche anche in condizioni di completa saturazione della coltre di copertura ed in presenza di sollecitazioni sismiche.

Nel progetto della condotta, visto la sensibile acclività dell'area, è stata prevista la realizzazione di un letto di posa drenante e, a protezione della scarpata di monte di Via della Valle, un'opera di sostegno. Gli interventi in progetto permettono di garantire ulteriormente le attuali buone condizioni di stabilità dell'area.

Le verifiche eseguite indicano pertanto che il metanodotto in progetto interessa dei versanti con scarsa criticità dal punto di vista della stabilità e che la realizzazione delle opere di drenaggio superficiale e al di sotto della condotta permetterà di garantire nel tempo sicure condizioni di stabilità.