

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 32		Rev. 0

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

**Progetto di fattibilità tecnica ed economica**

**INTERFERENZE DELL'OPERA CON AREE INDIVIDUATE  
 NEL CATALOGO DEI FENOMENI FRANOSI (IFFI) E NEL SISTEMA INFORMATIVO  
 TERRITORIALE E AMBIENTALE DELLA REGIONE TOSCANA**

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

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 32	Rev. 0

## 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>CARATTERISTICHE DELLE INTERFERENZE</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE</b>	<b>7</b>
4.1	Lineamenti geologico strutturali	7
4.2	Lineamenti geomorfologici	8
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b>	<b>10</b>
5.1	Classificazione sismica	10
5.2	Pericolosità sismica di base	10
5.3	Risposta sismica locale (metodo semplificato)	12
5.4	Valutazione del potenziale di liquefazione	14
<b>6</b>	<b>ANALISI DELLE INTERFERENZE</b>	<b>15</b>
6.1	Analisi di stabilità areale in condizioni statiche e dinamiche	15
6.2	T.O.C. "Campo al Rena" - Area IFFI – Codice 0496244600	17
6.4	T.O.C. "Malandrone" - Aree IFFI – Codice 0507679600 e Codice 0507680900	24
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI</b>	<b>32</b>
<b>Allegato 1: Indagini geognostiche, prove di laboratorio ed indagini sismiche</b>		

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 32		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.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 32		<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1.2 Scopo del lavoro

Nel presente studio, relativo al progetto “Rifacimento Met. Livorno-Piombino DN 750 (30”), DP 75 bar e opere connesse”, sono descritte le interferenze dei tracciati in progetto con aree censite nel Catalogo dei fenomeni franosi (IFFI) e nel Sistema Informativo Territoriale e Ambientale della Regione Toscana

Il presente studio di dettaglio analizza e illustra compiutamente le interazioni previste tra l’opera in progetto e gli ambiti citati, fornendo elementi utili per l’individuazione di eventuali modifiche del tracciato e/o soluzioni tecniche che permettano di considerare in sicurezza il metanodotto nei confronti dei fenomeni gravitativi censiti.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 32		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		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 32	Rev. 0

### 3 CARATTERISTICHE DELLE INTERFERENZE

L'inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI) è costituito da una banca dati contenente tutte le frane presenti sul territorio nazionale, utile ai fini della pianificazione e prevenzione. La Regione Toscana è in contatto con Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Ente supervisore del progetto IFFI, per il popolamento della banca dati per il territorio di propria competenza.

La Regione Toscana ha realizzato un Database geologico che raccoglie numerosi livelli informativi resi disponibili per la consultazione tramite piattaforma web e tramite strumenti GIS. All'interno del geodatabase morfologico, sono raccolti i corpi franosi censiti all'interno di differenti fonti: Autorità di bacino, progetti specifici regionali, provinciali e comunali, IFFI e ISPRA, ecc.

A seguito della realizzazione del DB geologico e del DB Geomorfologico, il contributo della Regione Toscana alla banca dati IFFI è stato prodotto attraverso l'estrazione dei livelli informativi richiesti dal progetto IFFI e l'adeguamento degli stessi alla struttura dati prevista dall'IFFI. La banca dati IFFI della Toscana è quindi coerente con il livello frane 10k del DB geomorfologico alla data dell'invio ad ISPRA.

In base all'analisi della cartografia del Catalogo IFFI e del Data Base della Regione Toscana risulta che il tracciato in progetto attraversa le aree potenzialmente instabili riportate nella Tabella 3.A e Tabella 3.B seguenti.

**Tabella 3.A: Tabella riepilogativa Interferenza con versanti instabili (DB Toscana)**

da (km)	a (km)	Percorrenza (km)	Comune	Classificazione	Stato Attività
<b>Metanodotto Livorno-Piombino DN 750(30") DP 75 bar</b>					
15,480	15,525	0,045	Collesalvetti	FD - Franosità diffusa	Quiescente
31,260	31,375	0,115	Castellina Marittima	S - Frane di scivolamento e colata lenta	Quiescente
31,390	31,515	0,125		S - Frane di scivolamento e colata lenta	Quiescente

Nel DB IFFI, l'area nel comune di Collesalvetti risulta lievemente più ampia dell'area corrispondente presente nel DB della Regione Toscana e nel PAI.

**Tabella 3.B: Tabella riepilogativa Interferenza con versanti instabili (IFFI)**

da (km)	a (km)	Percorrenza (km)	Comune	Codice	Denominazione
<b>Metanodotto Livorno-Piombino DN 750(30") DP 75 bar</b>					
15,470	15,540	0,070	Collesalvetti	0496244600	Frane di Crollo e Ribaltamento
31,260	31,375	0,115	Castellina Marittima	0507679600	Frane di Crollo e Ribaltamento
31,390	31,515	0,125		0507680900	Frane di Crollo e Ribaltamento

Per quanto riguarda l'inquadramento territoriale e la descrizione delle aree in frana, con relativa cartografia, si rimanda al successivo Capitolo 6 "Analisi delle interferenze".

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 7 di 32	Rev. 0

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE

Il tracciato del "Rifacimento Met. Livorno-Piombino DN 750 (30"), DP 75 bar e opere connesse" in progetto si sviluppa per circa 84,240 km, in direzione N-S, dall'esistente impianto di Collesalveti sito in località Mortaiolo, all'Impianto di Piombino.

Il territorio interessato dalla realizzazione del metanodotto ricade nelle province di Pisa e Livorno ed è compreso nei Fogli della Carta Geologica d'Italia, in scala 1:100000, nei Fogli 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.

### 4.1 Lineamenti geologico strutturali

Il territorio attraversato dal metanodotto 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.

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 cretacico 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 cretacico, 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.

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:

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 32	Rev. 0

- il complesso delle formazioni di tipo toscano;
- il complesso delle formazioni del gruppo dell'Alberese;
- il complesso del gruppo delle formazioni del Flysch cretacico;
- 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.

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.

#### 4.2 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.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ 000</b>	<b>COMMESSA NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 9 di 32		<b>Rev. 0</b>

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.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 32	Rev. 0

## 5 INQUADRAMENTO SISMICO

### 5.1 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 Collesalveti era classificato come Zona 2. 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 Collesalveti viene classificato come Zona 3.

### 5.2 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.

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

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 11 di 32 Rev. 0

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 5.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

### 5.2.1 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 come media dei valori dei nodi della griglia di riferimento, estrapolati dalla Tabella A1 delle NTC 2008

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 12 di 32 Rev. 0

**Tabella 5.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	43.504914°	10.465846°	0.172	2.485	0.276
02	43.384940°	10.514943°	0.156	2.486	0.275
03	43.383802°	10.514537°	0.155	2.487	0.275

### 5.3 Risposta sismica locale (metodo semplificato)

#### 5.3.1 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, è stata eseguita n. 1 prova sismica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) in corrispondenza del sito n. 1 denominata LP-A-M05. 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-M05 per il sito n. 01 ( $V_{s,30} \geq 491$  m/s), con riferimento alla Tabella 5.C seguente, il profilo stratigrafico del suolo di fondazione delle opere in progetto ricade nella categoria B.

Per le altre due aree, in mancanza di una indagine specifica, è stata assunta, cautelativamente, una categoria di sottosuolo C.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 32	Rev. 0

**Tabella 5.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>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.

- **Condizioni topografiche**

In relazione all'andamento morfologico locale pianeggiante, con riferimento alla seguente Tabella 5.D, è possibile classificare i siti di interesse come categoria T1

**Tabella 5.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

### 5.3.2 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<sub>S</sub> = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica

S<sub>T</sub> = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica

a<sub>g</sub> = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A,

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 14 di 32 Rev. 0

**Tabella 5.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 5.F: Accelerazione massima attesa in superficie per le interferenze con le linee in progetto (Stato Limite SLV).**

N.	Dissesto IFFI	$a_g$	$S_s$	$S_T$	$a_{max}$
<b>Metanodotto Livorno-Piombino DN 750(30") DP 75 bar</b>					
01	0496244600	0.172	1.20	1.0	0.206
02	0507679600	0.156	1.47	1.0	0.229
03	0507680900	0.155	1.47	1.0	0.228

## 5.4

### 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 colluviali prevalentemente limoso-argillosi da consistenti a molto consistenti poggianti sulla formazione pliocenica di base argilloso-marnosa, permettono 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:

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 15 di 32 Rev. 0

## 6 ANALISI DELLE INTERFERENZE

Il presente studio riguarda l'interferenza della T.O.C. "Campo al Rena" e la TOC "Malandrone" con alcune aree in dissesto individuate dal DB del progetto IFFI per la Regione Toscana.

Trattandosi di attraversamenti eseguiti con metodologia *trenchless*, lo studio delle interferenze tra le aree potenzialmente instabili e le opere in progetto è stato definito sulla base dell'elaborazione di sezioni stratigrafiche schematiche rappresentative delle aree di interesse.

In particolare, la realizzazione del modello geologico di sottosuolo si basa sull'interpretazione dei risultati ottenuti dalla campagna geognostica e sismica in sito, evidenziando l'assenza di interferenza tra l'opera in progetto ed il volume di terreno potenzialmente instabile.

### 6.1 Analisi di stabilità areale in condizioni statiche e dinamiche

In prima analisi, al fine di valutare le condizioni di stabilità generale dell'area interessata dal progetto, 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 (in presenza di sollecitazioni 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).

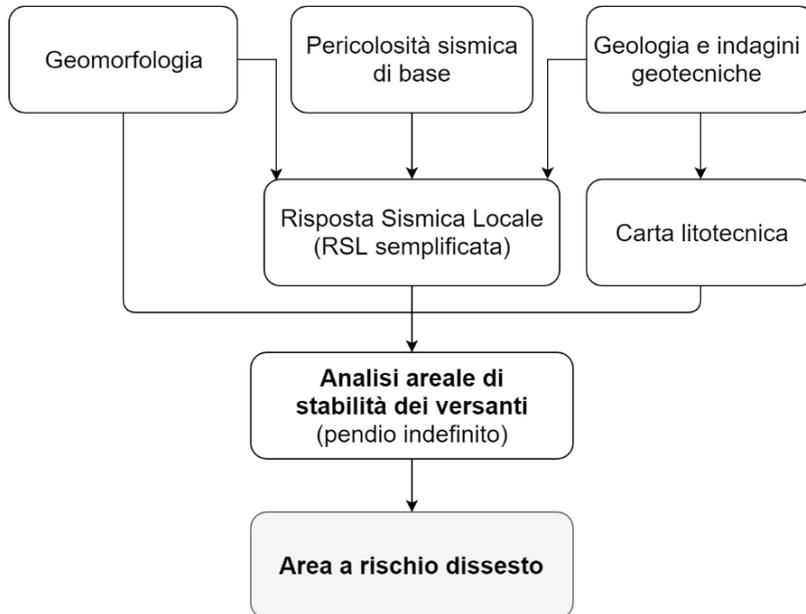
L'approccio prevede l'integrazione di dati morfologici del territorio e geologico-geotecnici, idrogeologici e sismici del suolo, al fine di individuare aree o domini omogenei caratterizzati da un certo livello di pericolosità, espresso in termini di coefficiente di sicurezza.

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 Figura 6.A.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 16 di 32 Rev. <b>0</b>



**Figura 6.A: Diagramma di flusso della metodologia investigativa.**

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 17 di 32 Rev. 0

## 6.2 T.O.C. "Campo al Rena" - Area IFFI - Codice 0496244600

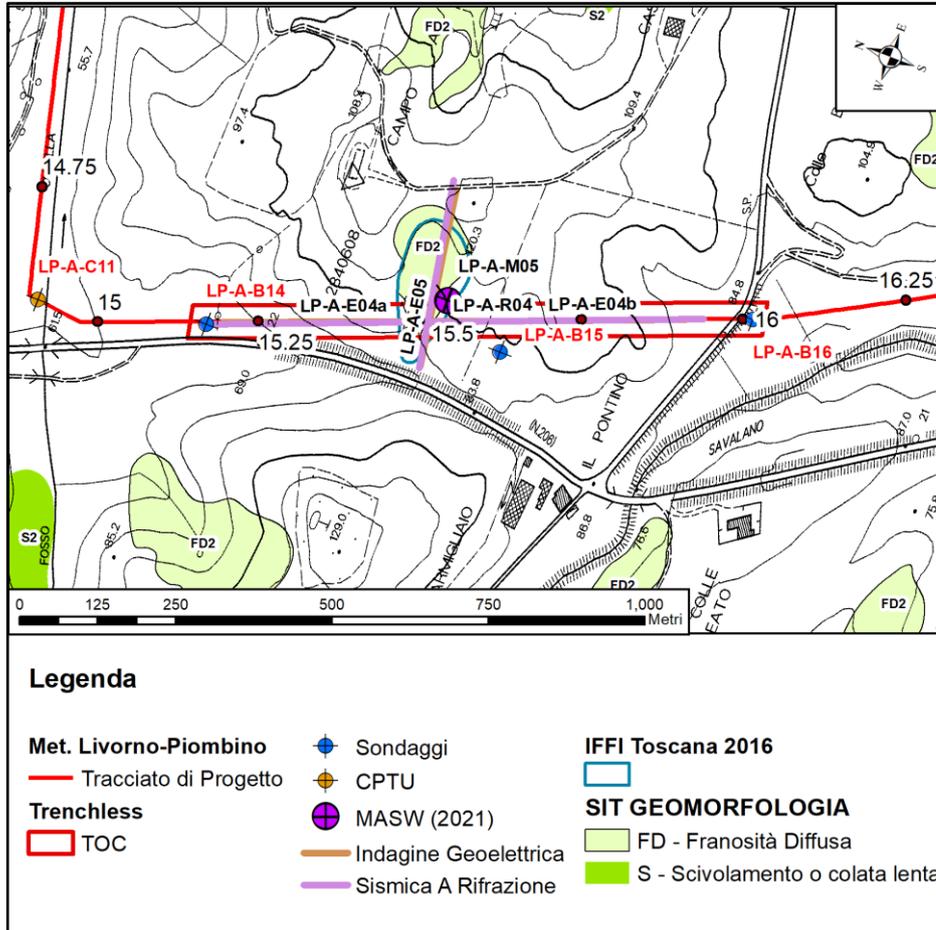


Figura 6.B: T.O.C. "Campo al Rena" - Area IFFI - Codice 0496244600

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 18 di 32

### 6.3.1 Analisi di stabilità areale

L'analisi areale (REL-SIS-E-03023) ha confermato la presenza di una porzione di versante potenzialmente instabile posta in corrispondenza dell'Area IFFI – Codice 0496244600 sia in condizioni statiche che in presenza di sollecitazioni sismiche.

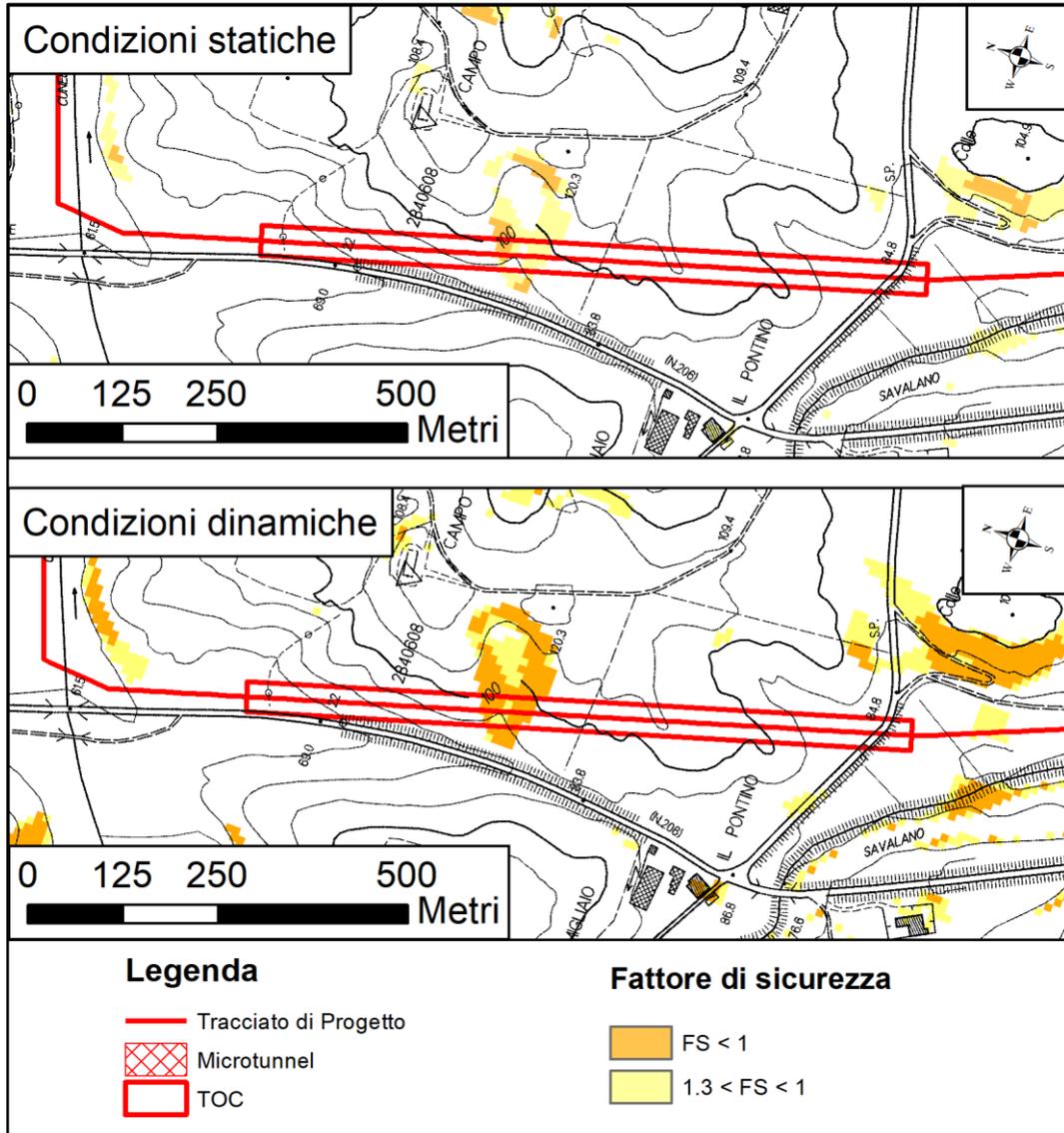


Fig. 6/C: Estratto dell'analisi areali di stabilità (REL-SIS-E-03023)

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 32	Rev. 0

### 6.3.2 *Indagini eseguite e modello geotecnico*

Il modello geotecnico di sottosuolo è stato definito sulla base del quadro delle conoscenze riguardanti il territorio attraversato dalla condotta in progetto e considerando i risultati della campagna geognostica appositamente eseguita.

La campagna di indagine è consistita nell'esecuzione di indagini dirette e indirette.

In particolare, la ditta L&R Laboratori e Ricerche Srl di San Giovanni la Punta (CT) nel periodo di giugno 2021 ha eseguito n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spini sino a profondità di 10÷40 m dal p.c. locale.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi si è provveduto a:

- rilevare la stratigrafia mediante il riconoscimento litologico macroscopico dei terreni attraversati;
- prelevare campioni indisturbati, con campionatore a pareti sottili (Shelby) nei terreni coesivi;
- eseguire prove penetrometriche dinamiche standard in foro (SPT) negli orizzonti granulari con conservazione di campioni rimaneggiati.

I campioni di terreno prelevati nel corso dell'indagine sono stati inviati al LABORATORIO GEOMECCANICO Srl di Ugo Sergio Orazi di Mombaroccio (PU) ove sono state seguite prove di caratterizzazione e prove meccaniche per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio in termini di tensioni totali ed efficaci.

Per quanto riguarda le indagini indirette, la ditta IMG S.r.l. di Piobesi d'Alba (CN) ha eseguito una indagine geofisica (riportata nella Relazione geotecnica REL-GEO-03022) e consistita in:

- n. 1 prova sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) denominata LP-A-M05;
- n. 2 stendimenti di sismica a rifrazione con misura della velocità delle onde P e delle onde S denominate LP-A-R4 e LP-A-R5;
- n. 2 tomografie elettriche (ERT) denominate LP-A-E04 e LP-A-E05

L'esame dei risultati ottenuti nelle indagini eseguite, sia di tipo geognostico che di tipo geofisico, ha consentito di ricostruire la successione stratigrafica della zona interessata dall'opera in progetto. Tale successione può essere schematizzata a grandi linee con un modello a due strati caratterizzato da:

- *Strato 1*: coltre di copertura, rappresentata da terreno vegetale, sedimenti di origine colluviale e di forte alterazione eluviale.
- *Strato 2*: formazione integra di base (Formazione delle Argille Azzurre – FAA), rappresentata da argille estremamente consistenti, debolmente marnose, di età pliocenica.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 20 di 32		Rev. <b>0</b>

### 6.3.3 *Descrizione dell'area*

L'area IFFI in corrispondenza della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) Campo al Rena a circa il km 15,500 del metanodotto in progetto, è un'area che si sviluppa lungo un blando impluvio impostato sul versante occidentale di un modesto rilievo collinare, allungato in direzione circa nord-sud, in località Campo al Rena nel comune di Collesalveti, circa 300 a NNE del nucleo abitato di Marmigliaio.

L'area IFFI, classificata come "Frana di crollo e ribaltamento" e come FD2 Area a Franosità diffusa – Quiescente nel DB Geomorfologico della Regione Toscana, è rappresentata da una zona a franosità diffusa che presenta una forma triangolare rovesciata che si estende per circa 200 m in lunghezza e circa 100 m in larghezza nella parte alta del versante per poi restringersi nella zona di interferenza sino a circa 70 m nella zona di interferenza con la condotta (nel DB della Regione Toscana e nel PAI l'area risulta lievemente più stretta dell'area).

Il versante si presenta un profilo blandamente ondulato con acclività media attorno al 15÷20%.

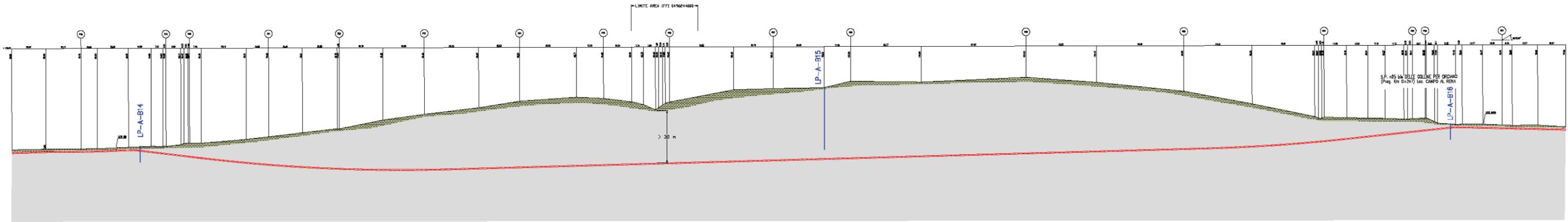
Il progetto della condotta prevede la realizzazione di Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C. Campo al Rena), con una geometria tale da passare almeno 30 m al di sotto del limite inferiore della coltre di copertura potenzialmente instabile nell'area perimetrata dalla Cartografia IFFI.

La sezione stratigrafica di attraversamento è riportata nella successiva Figura 6.C.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03026</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

SEZIONE STRATIGRAFICA "T.O.C." CAMPO AL RENA

Scala 1:2500



-  Coltre di copertura
-  Formazione pliocenica di base (FAA)

Figura 6.C: Sezione stratigrafica attraversamento T.O.C. Campo al Rena - Area IFFI - Codice 0496244600.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 22 di 32 Rev. 0

#### 6.3.4 Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni

L'esame dei dati stratigrafici e geotecnici ha messo in evidenza una successione stratigrafica uniforme caratterizzata da una esigua coltre di copertura di origine eluvio-colluviale, generalmente di natura limoso-argillosa e argilloso-limosa, di spessore variabile da un minimo di poche decine di centimetri (corrispondente in pratica all'orizzonte pedogenizzato superficiale) ad un massimo attorno a 3÷5 m.

La coltre di copertura poggia sulla formazione pliocenica (Formazione delle Argille Azzurre – FAA) costituita da argilla limosa debolmente marnosa, di colore grigio-azzurro, estremamente consistente con rari e sottili interstrati di sabbia limosa; il substrato, in superficie, per alcuni metri di spessore, si presenta leggermente alterato e decompresso; in particolare, nella successione stratigrafica dell'attraversamento, è possibile individuare:

**Strato 1:** (dal p.c. sino a 3.0÷5.0 m di profondità)

Limo argilloso, argilla limosa e limo sabbioso di colore marrone, molto consistente (*coltre di copertura eluvio-colluviale*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 100\div150 \text{ kN/m}^2$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\varphi' = 23\div25^\circ$
- Coesione intercetta,  $c' = 2.0\div30.0 \text{ kN/m}^2$

**Strato 2:** (da 3.0÷5.0 m sino alle massime profondità investigate)

Argilla limosa, debolmente marnosa di colore grigio-azzurro estremamente consistente con porzioni in cui è riconoscibile una struttura scagliosa (*formazione delle Argille Azzurre - FAA*).

- Peso di volume,  $\gamma = 20.0\div21.0 \text{ kN/m}^3$
- Classificazione USCS, = CL e CH
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 200\div300 \text{ kN/m}^2$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\varphi' = 22\div24^\circ$
- Coesione intercetta,  $c' = 30\div50 \text{ kN/m}^2$

#### Falda acquifera

Nel corso della campagna geognostica effettuata non è stata rilevata la falda acquifera sino alle massime profondità investigate.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 23 di 32	Rev. 0

### 6.3.5 Tomografia sismica

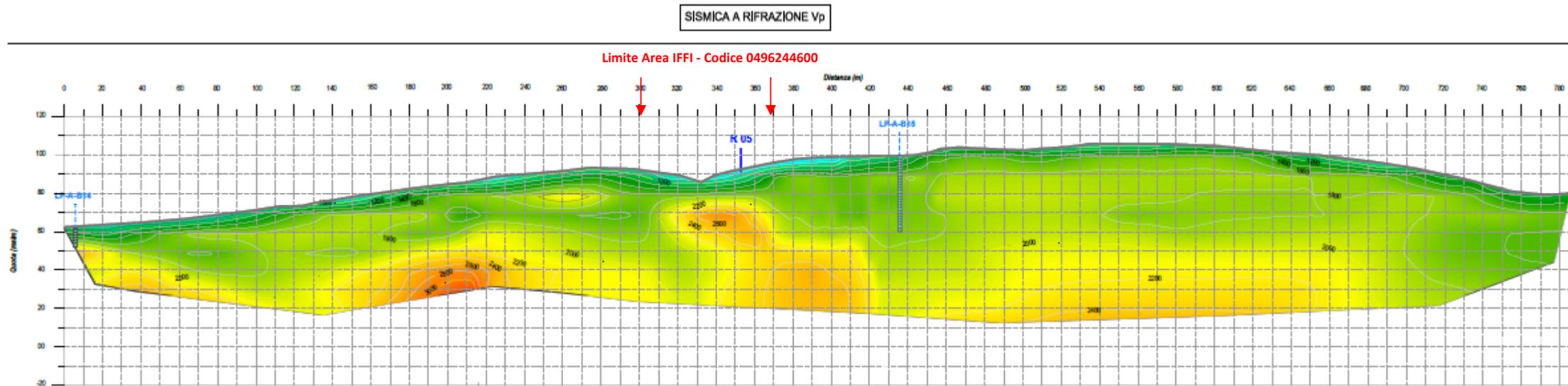


Figura 6.D: Tomografia sismica R04 (profilo longitudinale): TOC “Campo al Rena”.

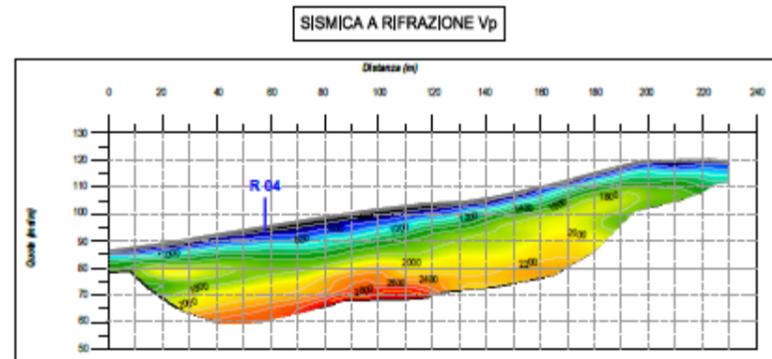


Figura 6.E: Tomografia sismica R05 (profilo trasversale): TOC “Campo al Rena”.

Per quanto attiene le sezioni geofisiche, il passaggio tra i depositi di copertura e la formazione pliocenica di base corrisponde approssimativamente alla curva delle isovelocità delle onde di compressione (onde P) di 1000 m/sec.

Da quanto sopra descritto risulta che, nel tratto di interferenza con l'area PAI, ovvero quella suscettibile di dissesti, la profondità della trivellazione si attesta a oltre 30 m dal p.c.. L'opera in progetto interessa esclusivamente la formazione pliocenica di base ed attraversa litotipi dotati di buone caratteristiche geomeccaniche presentando velocità delle onde P attorno ai 2000 m/sec.

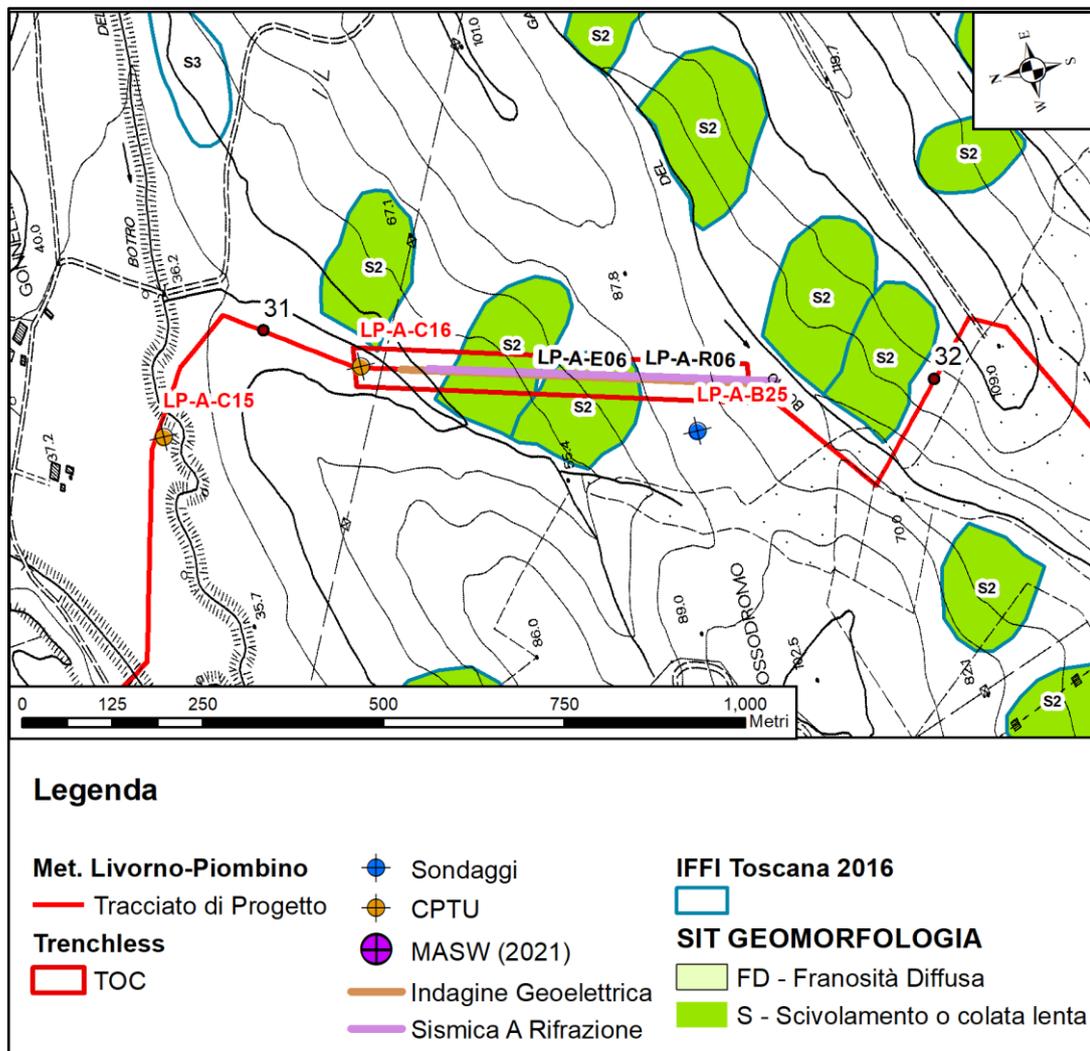
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03026</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 6.3.6 Risultati della verifica delle interferenze

L'esame delle sezioni stratigrafiche e geofisiche dell'attraversamento dell'area IFFI in oggetto mostrano che la *trenchless*, nel tratto di interesse, si trova a profondità superiori a 30 m dal pc locale e quindi sicuramente si sviluppa ben al di sotto della coltre di copertura eluvio-colluviale potenzialmente instabile e completamente all'interno della formazione piocenica integra.

Per i motivi sopra esposti si ritiene che nella percorrenza dell'area IFFI l'opera in progetto si trovi in sicurezza rispetto alle condizioni dei dissesti ed ai livelli di rischio esistente.

### 6.4 T.O.C. "Malandrone" - Aree IFFI - Codice 0507679600 e Codice 0507680900



**Figura 6.F: T.O.C. "Malandrone" - Aree IFFI - Codice 0507679600 e Codice 0507680900**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03026</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### 6.4.1 *Analisi di stabilità areale*

L'analisi areale (REL-SIS-E-03023) ha confermato la presenza di porzioni di versante potenzialmente instabili (in particolare in condizioni dinamiche) poste in corrispondenza delle Aree IFFI – Codice 0507679600 e Codice 0507680900

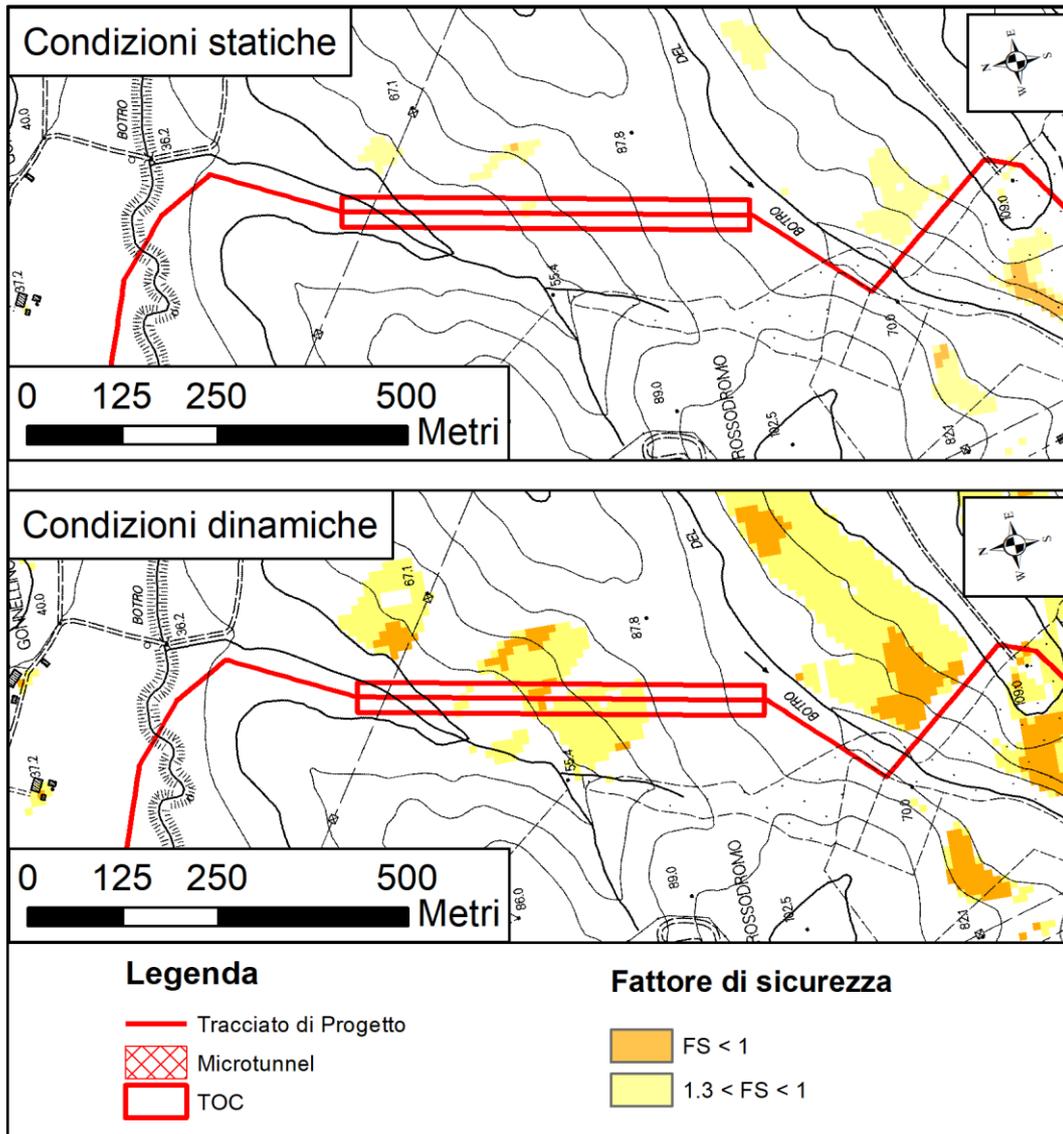


Figura 6.G: Estratto dell'analisi areali di stabilità (REL-SIS-E-03023)

#### 6.4.2 *Indagini eseguite e modello geotecnico*

Il modello geotecnico di sottosuolo è stato definito sulla base del quadro delle conoscenze riguardanti il territorio attraversato dalla condotta in progetto e considerando i risultati della campagna geognostica appositamente eseguita.

La campagna di indagine è consistita nell'esecuzione di indagini dirette e indirette.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-GEO-E-03026</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 26 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

In particolare, la ditta L&R Laboratori e Ricerche Srl di San Giovanni la Punta (CT) nel periodo di giugno 2021 ha eseguito:

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto sino a profondità di 25 m dal p.c. locale denominato LP-A-B25
- n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono (CPTU) denominata LP-A-C16, spinta sino alla profondità massima di 6.3 m dal p.c. locale, profondità alla quale si raggiungevano i valori massimi di spinta dell'attrezzatura.

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio si è provveduto a:

- rilevare la stratigrafia mediante il riconoscimento litologico macroscopico dei terreni attraversati;
- prelevare campioni indisturbati, con campionatore a pareti sottili (Shelby) nei terreni coesivi;
- eseguire prove penetrometriche dinamiche standard in foro (SPT) negli orizzonti granulari con conservazione di campioni rimaneggiati.

I campioni di terreno prelevati nel corso dell'indagine sono stati inviati al LABORATORIO GEOMECCANICO Srl di Ugo Sergio Orazi di Mombaroccio (PU) ove sono state seguite prove di caratterizzazione e prove meccaniche per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio in termini di tensioni totali ed efficaci.

Per quanto riguarda le indagini indirette, la ditta IMG S.r.l. di Piobesi d'Alba (CN) ha eseguito una indagine geofisica (riportata nella Relazione geotecnica REL-GEO-03022) e consistita in:

- n. 1 stendimento di sismica a rifrazione con misura della velocità delle onde P e delle onde S denominate LP-A-R06;
- n. 1 tomografia elettrica (ERT) denominata LP-A-E06

L'esame dei risultati ottenuti nelle indagini eseguite, sia di tipo geognostico che di tipo geofisico, ha consentito di ricostruire la successione stratigrafica della zona interessata dall'opera in progetto. Tale successione può essere schematizzata a grandi linee con un modello a due strati caratterizzato da:

- *Strato 1*: coltre di copertura, rappresentata da terreno vegetale, sedimenti di origine colluviale e di forte alterazione eluviale.
- *Strato 2*: formazione integra di base (Formazione delle Argille Azzurre – FAA), rappresentata da argille estremamente consistenti, debolmente marnose, di età pliocenica.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 27 di 32		Rev. 0

### 6.4.3 *Descrizione dell'area*

Le aree IFFI (Codice 0507679600 e Codice 0507680900) in corrispondenza della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) "Malandrone" comprese tra circa il km 31,260 e il km 31,515 del metanodotto in progetto, sono due aree adiacenti che si sviluppano lungo il versante nord-occidentale di un modesto rilievo collinare, allungato in direzione OSO-ENE, nel comune di Campiglia Marittima, circa 1 km a NE del nucleo abitato di Malandrone.

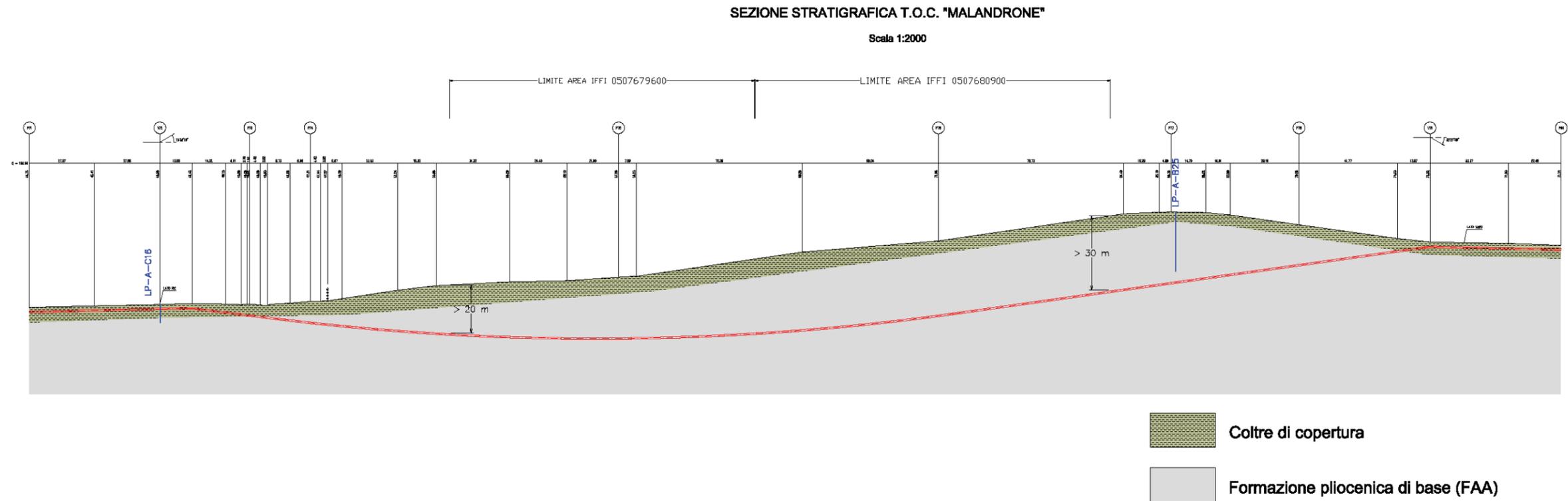
Le due aree IFFI, classificate come "Frana di crollo e ribaltamento" e come S2 "Frane di scivolamento e colata lenta"– Quiescente nel DB Geomorfologico della Regione Toscana, sono praticamente contigue che si estendono per circa 200 m in lunghezza e circa 250 m in larghezza totale nella zona di interferenza con la condotta.

Il versante presenta un profilo blandamente ondulato con acclività media attorno al 10÷15%.

Il progetto della condotta prevede la realizzazione di Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C. "Malandrone"), con una geometria tale da passare a profondità minime di 20 m dal p.c. nella parte basale del versante e 30 m nella parte alta del versante, che garantiscono un franco minimo rispettivamente di almeno 10 m e 20 m al di sotto del limite inferiore della coltre di copertura potenzialmente instabile nelle aree perimetrate dalla Cartografia IFFI.

La sezione stratigrafica di attraversamento è riportata nella successiva Figura 6.H

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03026</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Figura 6.H: Sezione stratigrafica attraversamento T.O.C. "Malandrone" - Aree IFFI – Codice 0507679600 e Codice 0507680900**

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 29 di 32	Rev. 0

#### 6.4.4 Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni

L'esame dei dati stratigrafici e geotecnici ha messo in evidenza una successione stratigrafica uniforme caratterizzata da una coltre di copertura di origine eluvio-colluviale, generalmente di natura limoso-argillosa e argilloso-limosa, di spessore attorno a 4÷6 m.

La coltre di copertura poggia sulla formazione pliocenica (Formazione delle Argille Azzurre – FAA) costituita da argilla limosa debolmente marnosa, di colore grigio-azzurro, estremamente consistente con rari e sottili interstrati di sabbia limosa; il substrato, in superficie, per alcuni metri di spessore, si presenta leggermente alterato e decompresso; in particolare, nella successione stratigrafica dell'attraversamento, è possibile individuare:

**Strato 1:** (dal p.c. sino a 4.0÷6.2 m di profondità)

Limo argilloso, argilla limosa e limo sabbioso di colore marrone, molto consistente, con diffuse concrezioni carbonatiche nodulari (*terreno vegetale e coltre di copertura eluvio-colluviale*).

- Peso di volume,  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Classificazione USCS,  $= \text{CH}$
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 100\div 150 \text{ kN/m}^2$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\varphi' = 22\div 23^\circ$
- Coesione intercetta,  $c' = 10\div 20 \text{ kN/m}^2$

**Strato 2:** (da 4.0÷6.2 m sino alle massime profondità investigate)

Argilla limosa, debolmente marnosa di colore grigio-azzurro estremamente consistente con porzioni in cui è riconoscibile una struttura scagliosa (*formazione delle Argille Azzurre - FAA*).

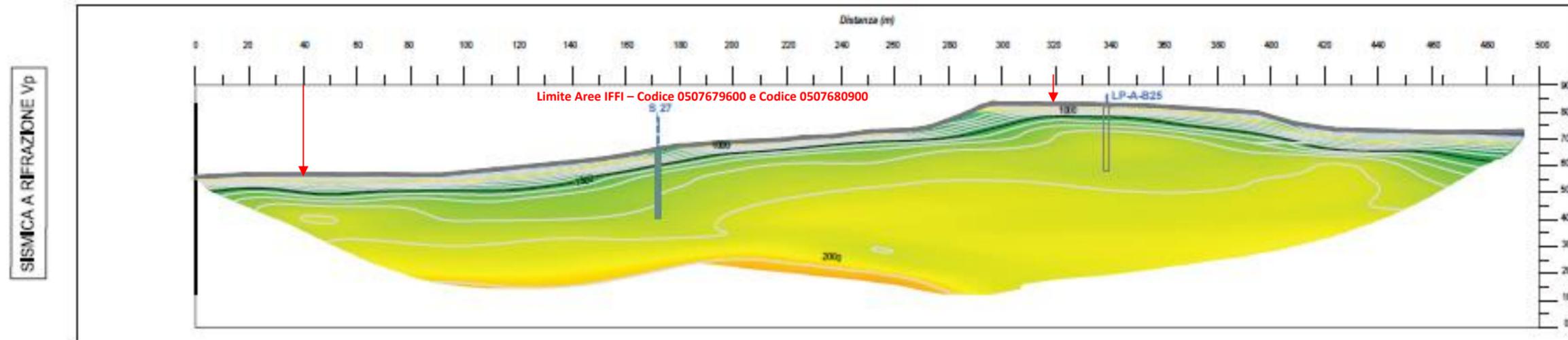
- Peso di volume,  $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Classificazione USCS,  $= \text{CH}$
- Resistenza al taglio non drenata,  $c_u = 200\div 300 \text{ kN/m}^2$
- Angolo di resistenza al taglio efficace,  $\varphi' = 22\div 24^\circ$
- Coesione intercetta,  $c' = 30\div 50 \text{ kN/m}^2$

#### Falda acquifera

Nel corso della campagna geognostica effettuata non è stata rilevata la falda acquifera sino alle massime profondità investigate.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 30 di 32	Rev. 0

#### 6.4.5 Tomografia sismica



**Figura 6.I: Tomografia sismica R06 (profilo longitudinale): TOC "Malandrone".**

Per quanto attiene le sezioni geofisiche, il passaggio tra i depositi di copertura e la formazione pliocenica di base corrisponde approssimativamente alla curva delle isovelocità delle onde di compressione (onde P) di 1000 m/sec.

Da quanto sopra descritto risulta che, nel tratto di interferenza con le aree IFFI, ovvero nelle aree suscettibili di dissesti, la trivellazione si attesta a profondità minime (nelle zone più esterne delle aree) superiori a 20 m dal p.c. nella parte bassa del versante e superiori a 30 m dal p.c. in quella alta. L'opera in progetto interessa esclusivamente la formazione pliocenica di base ed attraversa litotipi dotati di buone caratteristiche geomeccaniche presentando velocità delle onde P attorno ai 2000 m/sec.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 32		Rev. 0

#### 6.4.6 **Risultati della verifica delle interferenze**

L'esame delle sezioni stratigrafiche e geofisiche dell'attraversamento delle aree IFFI in oggetto mostrano che la *trenchless*, nel tratto di interesse, si trova a profondità minime di 20 m dal p.c. nella parte basale del versante e superiori a 30 m nella parte alta del versante cui corrispondono profondità minime rispettivamente di circa 10 m e 20 m dalla base della coltre di copertura. La *trenchless* quindi sicuramente si sviluppa ben al di sotto della coltre di copertura eluvio-colluviale potenzialmente instabile e completamente all'interno della formazione pliocenica integra.

Per i motivi sopra esposti si ritiene che nella percorrenza delle aree IFFI l'opera in progetto si trovi in sicurezza rispetto alle condizioni dei dissesti ed ai livelli di rischio esistente.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03026
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 32	Rev. 0

## 7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Nel presente studio, relativo al progetto “Rifacimento Met. Livorno-Piombino DN 750 (30”), DP 75 bar e opere connesse”, è stata descritta l’interferenza del tracciato in progetto con alcune aree individuate nella Cartografia del Catalogo IFFI e nel DB Geomorfologico della Regione Toscana.

Le aree individuate sono risultate potenzialmente instabili anche a seguito della verifica di stabilità areale preliminare effettuata.

Le aree di attraversamento sono state oggetto di indagini geognostiche e geofisiche che hanno consentito la definizione del Modello geologico del sottosuolo.

Trattandosi di attraversamenti eseguiti con metodologia “trenchless”, lo studio delle interferenze tra le aree potenzialmente instabili e l’opera in progetto è stato definito sulla base dell’elaborazione di sezioni stratigrafiche schematiche rappresentative delle aree di interesse.

Nella prima area analizzata (progressiva km 15,500 circa), il progetto della condotta prevede la realizzazione di una Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C. Campo al Rena), con una geometria tale da passare almeno 30 m al di sotto del limite inferiore della coltre di copertura potenzialmente instabile, e completamente all’interno della formazione pliocenica integra ,nell’area perimetrata dalla Cartografia IFFI.

Nella seconda area analizzata (progressiva tra circa il km 31,260 e il km 31,515), il progetto della condotta prevede la realizzazione di una Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C. Malandrone), con una geometria tale da trovarsi a profondità minime di 20 m dal p.c. nella parte basale del versante e superiori a 30 m nella parte alta del versante cui corrispondono profondità minime rispettivamente di circa 10 m e 20 m dalla base della coltre di copertura. La *trenchless* quindi sicuramente si sviluppa ben al di sotto della coltre di copertura eluvio-colluviale potenzialmente instabile e completamente all’interno della formazione pliocenica integra nelle aree perimetrata dalla Cartografia IFFI.

Le verifiche eseguite indicano pertanto che l’opera in progetto è compatibile con le condizioni di dissesto ed il livello di rischio esistente nelle aree interessate dai lavori.