

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 25		Rev. 0

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

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

**VERIFICA TECNICA DI COMPATIBILITÀ
 DELLE INTERFERENZE DELL'OPERA CON AREE PAI**

0	Emissione	Rocchetti	Onori	Caffarelli	Feb. '22
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 25	Rev. 0

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
	1.1 Premessa	3
	1.2 Scopo del lavoro	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
	2.1 Normative di riferimento	5
	2.2 Documenti di riferimento	6
3	CARATTERISTICHE DELLE INTERFERENZE	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE	8
	4.1 Lineamenti geologico strutturali	8
	4.2 Lineamenti geomorfologici	9
5	INQUADRAMENTO SISMICO	11
	5.1 Classificazione sismica	11
	5.2 Pericolosità sismica di base	11
	5.3 Risposta sismica locale (metodo semplificato)	13
	5.4 Valutazione del potenziale di liquefazione	15
6	VERIFICA TECNICA DI COMPATIBILITA'	16
	6.1 Analisi di stabilità areale in condizioni statiche e dinamiche	17
	6.2 Indagini eseguite e modello geotecnico	19
	6.3 Descrizione dell'area	20
	6.4 Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni	22
	6.5 Tomografia sismica	23
	6.6 Risultati della verifica tecnica di compatibilità	24
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	25
	Allegato 1: Indagini geognostiche, prove di laboratorio ed indagini sismiche	

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 25	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)
Linea principale			
Rifacimento Met. Livorno-Piombino	750	75	84,240
Linee secondarie			
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)
Linee secondarie			
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		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 25		Rev. 0

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 PAI.

Il presente studio di dettaglio analizza e illustra compiutamente le interazioni previste tra l'opera in progetto e gli ambiti citati, fornendo quindi elementi utili ai fini dell'emissione del parere di compatibilità idrogeologica dell'opera da parte degli Enti coinvolti nell'attuale procedura di VIA.

In particolare, l'interferenza esaminata risulta essere una Area PAI classificata come P.F.3 attraversata con metodologia trenchless al km 15,480 del tracciato di progetto, per un'estensione lineare di 0,045km.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 25	Rev. 0

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.

2.1.1 **Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale**

La riforma delle Autorità di bacino distrettuali, avviata con l'art. 51 della legge 28 dicembre 2015, n. 221 e attuata con il D.M. n. 294 del 25 ottobre 2016 e il successivo D.P.C.M. 4 aprile 2018, ha introdotto a scala nazionale un nuovo assetto di governance distrettuale, articolato su 7 distretti idrografici cui fanno capo altrettante Autorità.

Ai sensi del nuovo art. 64 comma 1 lettera c) del D.Lgs. 152/2006 il distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale è stato ridefinito e comprende, nell'attuale configurazione, i bacini idrografici del fiume Arno, del fiume Serchio, del fiume Magra nonché i bacini regionali della Liguria e della Toscana.

A partire dall'avvio operativo dell'Autorità di bacino distrettuali, e dal passaggio di competenza degli ex bacini regionali toscani al Distretto Settentrionale, è stato avviato un percorso di omogeneizzazione delle modalità e dei criteri di modifica ed integrazione del PAI che attualmente interessa l'Arno, l'Ombrone e i bacini del Toscana Costa e Toscana Nord.

Nella Gazzetta Ufficiale n. 9 del 13.01.2020 è stato pubblicato il comunicato dell'adozione del "*Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica*" relativo al territorio dei bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e degli ex bacini regionali della Toscana.

Dal punto di vista dei criteri e delle metodologie, in seguito alla pubblicazione in G.U. della delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n.20 del 20 dicembre 2019, anche per il PAI del bacino dell'Arno viene applicato quanto previsto agli allegati 2 e 3 della disciplina del Progetto di Piano – PAI "*dissesti geomorfologici*".

Con l'adozione del Progetto di Piano non sono previste specifiche misure di salvaguardia con effetti immediatamente efficaci per i privati. Solo con l'approvazione finale sarà completamente operativa la disciplina di Piano, questa andrà a sostituire interamente le norme relative alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica per il bacino del fiume Arno, il bacino del fiume Serchio e gli ex bacini

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 25	Rev. 0

regionali toscani: sino a quel momento si continuano ad applicare le norme e la cartografia dei PAI vigenti.

Nello specifico lo studio attuale riguarda aree ricadenti nel Piano di Bacino del fiume Arno. Il progetto di piano stralcio del bacino del fiume Arno è stato adottato con delibera del Comitato Istituzionale n.164 del 1° agosto 2002 (G.U. n. 238 del 10.10.2002).

Il PAI per il bacino dell'Arno è entrato in vigore con la pubblicazione del D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3/10/2005), le norme di attuazione e gli allegati sono stati pubblicati sulla G.U. n. 248 del 24.10.2005, riferimento formale per la corretta applicazione della normativa alle aree a pericolosità.

Il PAI identifica e quantifica le situazioni di degrado sotto il profilo idrogeologico ed individua le relative presumibili cause, in funzione del livello di conoscenza già raggiunto e con la previsione di aggiornamenti dinamici in funzione del completamento delle conoscenze e dell'evoluzione dei fenomeni.

Con l'adozione definitiva del PGRA, le norme di PAI del bacino dell'Arno continuano a mantenere la loro operatività rispetto alla pericolosità idraulica esclusivamente per quanto non espressamente in contrasto con la Disciplina dello stesso PGRA.

Il PAI mantiene integralmente i propri contenuti e le proprie norme d'uso per quanto riguarda la pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana nel territorio del bacino dell'Arno.

In particolare, nella cartografia allegata al PAI, la pericolosità risulta così graduata:

- pericolosità molto elevata da frana (P.F.4): pericolosità indotta da fenomeni franosi attivi;
- pericolosità elevata da frana (P.F.3): pericolosità indotta da fenomeni franosi inattivi che presentano segni di potenziale instabilità (frane quiescenti);
- pericolosità media da frana (P.F.2): pericolosità indotta da fenomeni franosi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente).

In base all'aggiornamento ai sensi degli art. 27 e 32 delle Norme di Piano con l'applicazione dei criteri di cui all'allegato 2 le amministrazioni procedono all'adeguamento dei propri strumenti di governo del territorio.

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-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 7 di 25		Rev. 0

3 CARATTERISTICHE DELLE INTERFERENZE

Per quanto riguarda il pericolo da frana, dall'analisi della cartografia del PAI risulta che il tracciato in progetto attraversa (T.O.C. Campo al Rena) un'area potenzialmente instabile definita con una classe di pericolosità elevata P.F.3, per una lunghezza di soli 0,045 km (Tabella 3.A)

Tabella 3.A: Interferenze con aree a Pericolosità da Frana

da (km)	a (km)	Percorrenza (km)	Comune	Classe di pericolosità
METANODOTTO LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 BAR				
15,480	15,525	0,045	Collesalveti	PF3

Per quanto riguarda l'inquadramento territoriale e la descrizione dell'area in frana, con relativa cartografia, si rimanda al successivo Capitolo 6 "Verifica Tecnica di compatibilità".

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 25	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-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 9 di 25	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.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 25		Rev. 0

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-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 25	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-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 12 di 25 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 ≥ 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-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 13 di 25 Rev. 0

Tabella 5.B: Parametri spettrali: $V_N = 50$ anni - Classe d'Uso IV (Opere strategiche)

Coordinate WGS84: Latitudine: 43.504914° - Longitudine: 10.465846°				
Stato limite	T_R (anni)	a_g	F_o	T_c
SLD	101	0.074	2.449	0.252
SLV	949	0.172	2.485	0.276

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*) 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 (≤ 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.

Nel caso in esame (LP-A-M05), in assenza del "bedrock sismico" a profondità inferiori a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è risultata essere $V_{s,30} \geq 491$ m/s.

- *Categoria di sottosuolo di riferimento*

Sulla base dei valori di $V_{s,eq}$ derivati dai dati della prova sismica LP-A-M05 ($V_{s,30} \geq 491$ m/s), con riferimento alla Tabella 5.C seguente, il profilo stratigrafico del suolo di fondazione delle opere in progetto ricade nella categoria B.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 14 di 25	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 il sito 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 _T
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°	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°	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_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,

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025	
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 15 di 25	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:

Stato Limite SLD	Stato Limite SLV
$S_S = 1.20$ (Categoria sottosuolo B)	$S_S = 1.20$ (Categoria sottosuolo B)
$S_T = 1.0$ (Categoria topografica T1)	$S_T = 1.0$ (Categoria topografica T1)
$a_g = 0.074$ ($T_R = 101$ anni)	$a_g = 0.172$ ($T_R = 949$ anni)

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che:

Stato Limite SLD $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \times 1.0 \times 0.074 = \mathbf{0.089g}$

Stato Limite SLV $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \times 1.0 \times 0.172 = \mathbf{0.206g}$

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 poggiati 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-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 16 di 25

6 VERIFICA TECNICA DI COMPATIBILITA'

La verifica tecnica di compatibilità riguarda l'interferenza della T.O.C. Campo al Rena con una Area PAI classificata come P.F.3, posta tra il km 15,480 ed il km 15,525.

Trattandosi di un attraversamento eseguito con metodologia *trenchless*, lo studio di compatibilità tra l'area potenzialmente instabile e l'opera in progetto è stato definito sulla base dell'elaborazione di una sezione stratigrafica schematica rappresentativa dell'area 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.

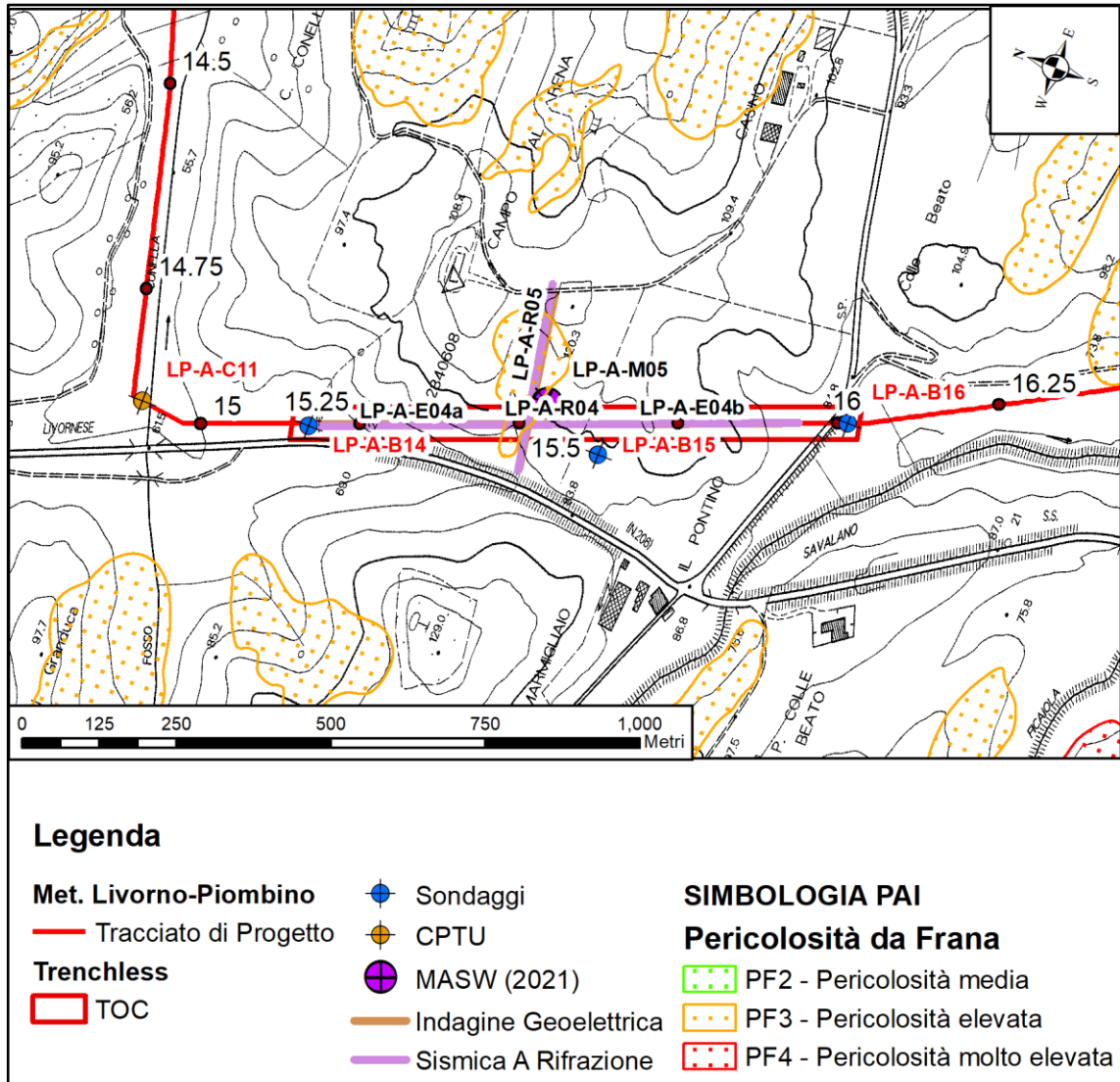


Figura 6.A: T.O.C. Campo al Rena - Area PAI - P.F.3 .

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 17 di 25 Rev. 0

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.B.

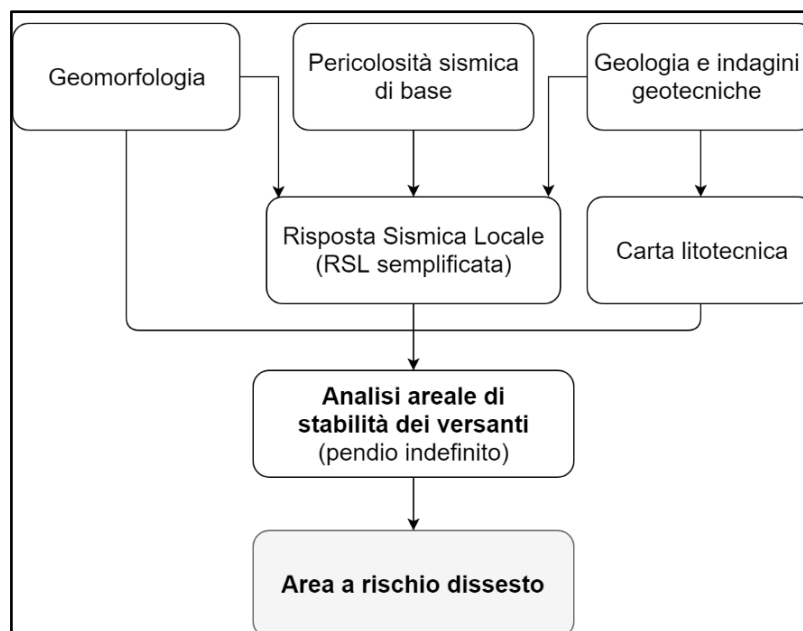


Figura 6.B: Diagramma di flusso della metodologia investigativa.

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-GEO-E-03025	
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 25	Rev. 0

L'analisi areale ha confermato la presenza di una porzione di versante potenzialmente instabile posta in corrispondenza dell'area identificata nel PAI (REL-SIS-E-03023)

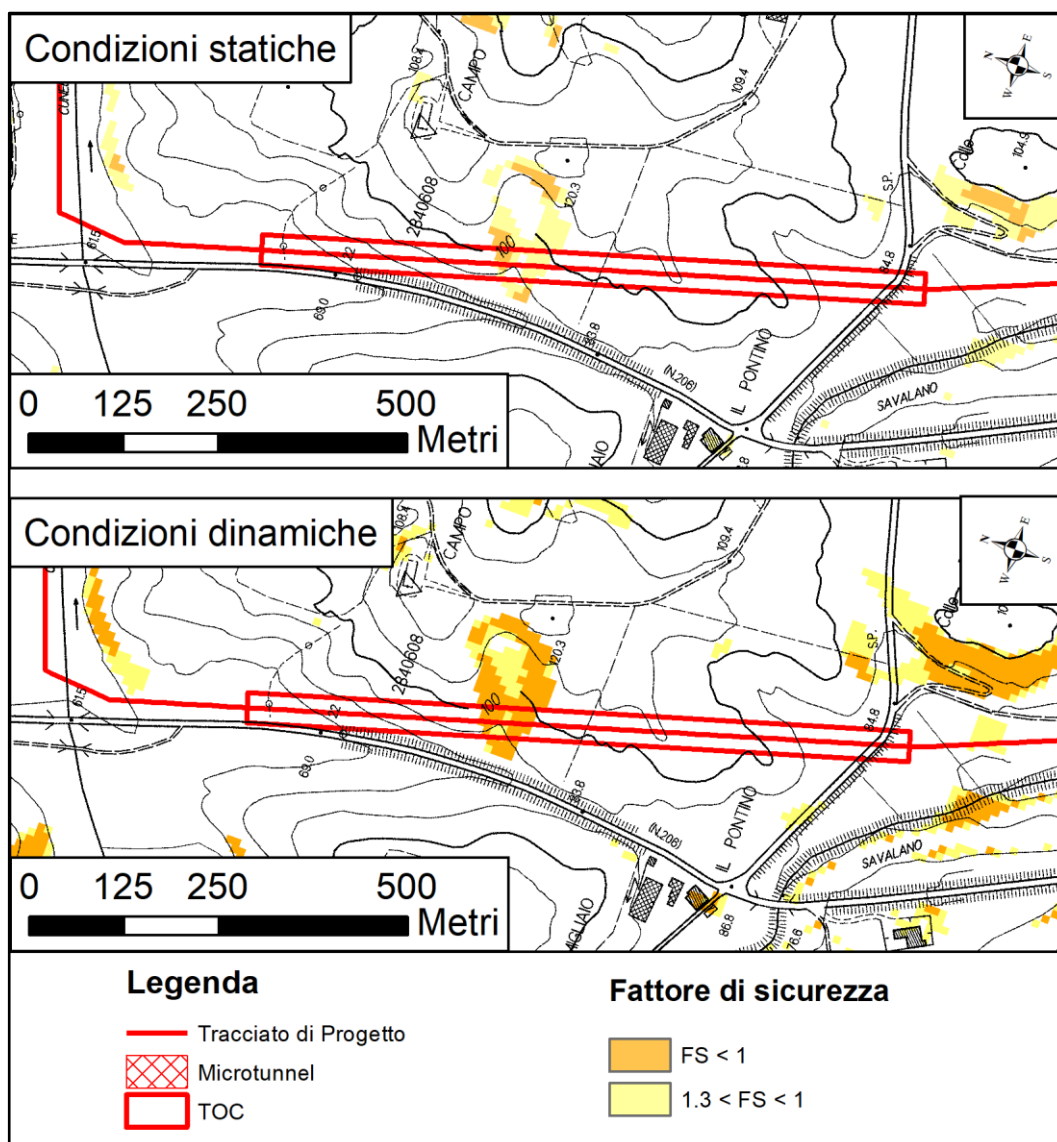


Figura 6.C: Estratto dell'analisi areali di stabilità (REL-SIS-E-03023)

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 25	Rev. 0

6.2 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 denominati LP-A-B14 (10m), LP-A-B15 (40m) e LP-A-B16 (10 m).

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		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 20 di 25		Rev. 0

6.3 Descrizione dell'area

L'area PAI in corrispondenza della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) Campo al Rena tra il km 15,480 ed il km 15,525, 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 m a NNE del nucleo abitato di Marmigliaio.

L'area PAI, classificata con Indice di Pericolosità P.F.3 (Pericolosità elevata), 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 40 m.

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 dell'area potenzialmente instabile perimetrata dal PAI.

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

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-GEO-E-03025	
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 25	Rev. 0

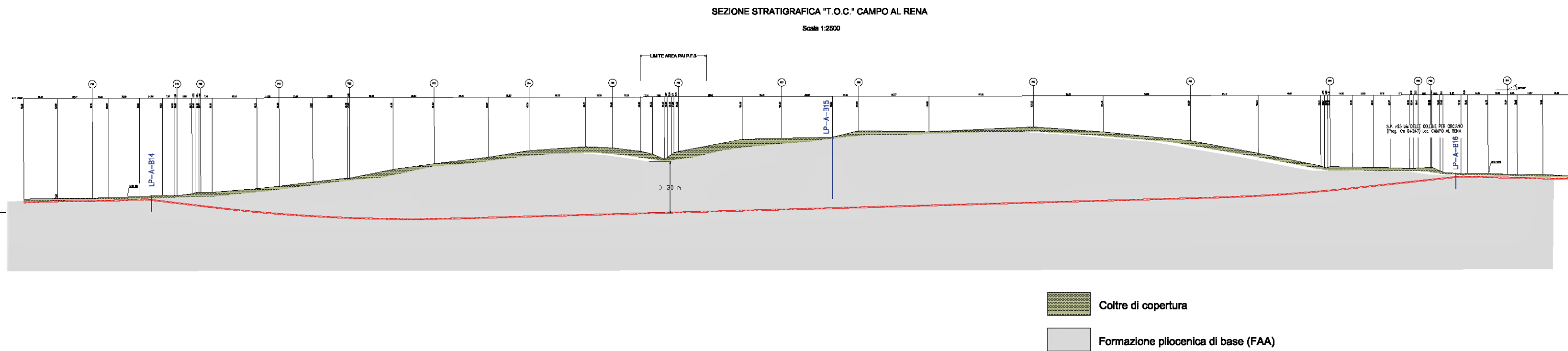


Figura 6.D: Sezione stratigrafica attraversamento T.O.C. Campo al Rena - Area PAI - P.F.3.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 22 di 25 Rev. 0

6.4 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 (evidenziato dalle indagini geofisiche).

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, $c_u = 100\div 150 \text{ kN/m}^2$
- Angolo di resistenza al taglio efficace, $\varphi' = 23\div 25^\circ$
- Coesione intercetta, $c' = 20\div 30 \text{ kN/m}^2$

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, $\gamma = 20.0\div 21.0 \text{ kN/m}^3$
- Classificazione USCS, = CL e 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-03025
	PROGETTO	RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 23 di 25	Rev. 0

6.5 Tomografia sismica

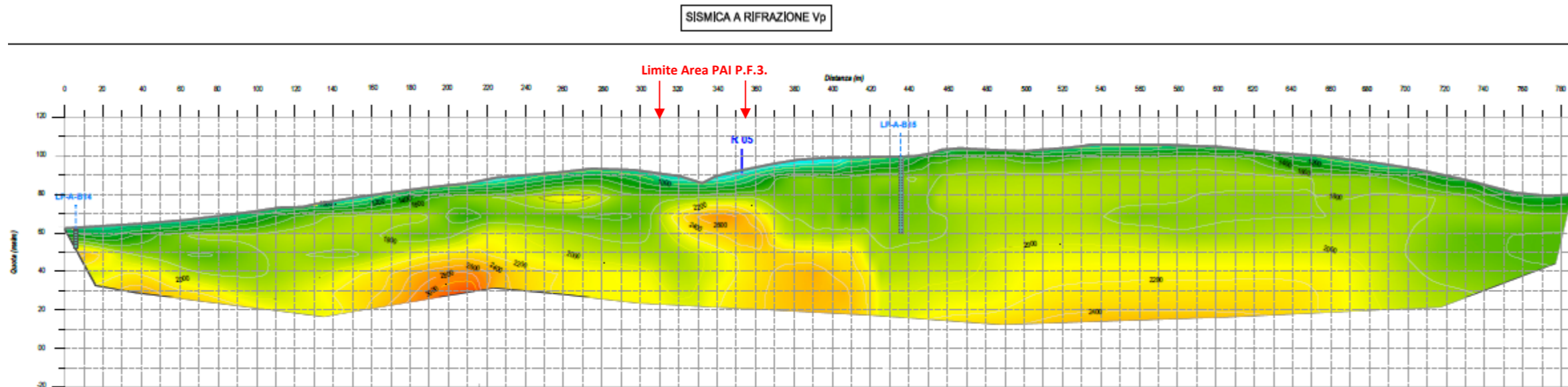


Figura 6.E: Tomografia sismica R04 (profilo longitudinale): TOC “Campo al Rena”.

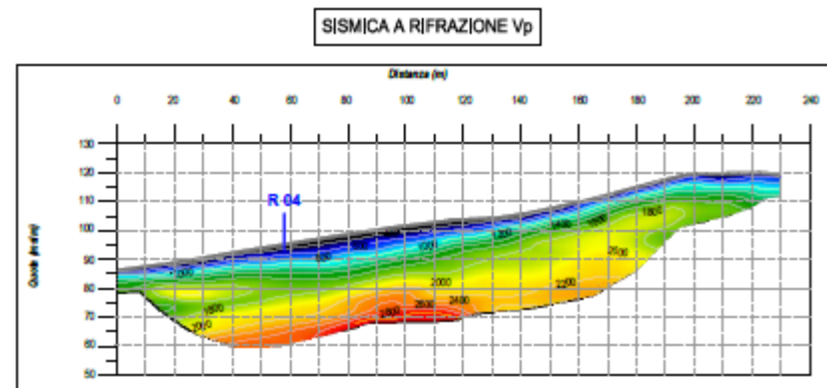


Figura 6.F: Tomografia sismica R05 (profilo trasversale): TOC “Campo al Rena”.

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 circa e l'opera in progetto 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-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 25		Rev. 0

6.6 Risultati della verifica tecnica di compatibilità

L'esame delle sezioni stratigrafiche e geofisiche dell'attraversamento dell'area PAI 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 pliocenica integra.

Per i motivi sopra esposti si ritiene che nella percorrenza dell'area PAI con Indice di Pericolosità P.F.3 esista la compatibilità tra l'opera in progetto e le condizioni di dissesto ed il livello di rischio esistente.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA NR/20049
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-GEO-E-03025
	PROGETTO RIF. MET. LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 25		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 al km 15,480 circa con un’area PAI individuata nel Piano di Bacino del fiume Arno.

L’area perimetrata dal PAI è risultata potenzialmente instabile anche a seguito della verifica di stabilità areale preliminare effettuata.

L’area dell’attraversamento è stata oggetto di indagini geognostiche e geofisiche che hanno consentito la definizione del Modello geologico del sottosuolo.

Trattandosi di un attraversamento eseguito con metodologia “trenchless”, lo studio di compatibilità tra l’area potenzialmente instabile e l’opera in progetto è stato definito sulla base dell’elaborazione di una sezione stratigrafica schematica rappresentativa dell’area di interesse.

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 dell’area potenzialmente instabile perimetrata dal PAI.

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