

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

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

**Progetto di fattibilità tecnica ed economica**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

**Indagini Geognostiche e Prove di Laboratorio**

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

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Documenti di Riferimento</b>	<b>4</b>
<b>2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Sondaggi a carotaggio continuo</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Prove Penetrometriche Statiche (CPTU)</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Prove di Laboratorio</b>	<b>9</b>
<b>3 INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRECTE</b>	<b>16</b>
<b>3.1 MASW</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Indagini sismiche a Rifrazione</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Indagini Geoelettriche multielettrodo</b>	<b>18</b>
<b>4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>21</b>

## ALLEGATI

Allegato 1: Indagini geognostiche dirette

Allegato 2: Prove di laboratorio

Allegato 3: Indagini geognostiche indirette

Allegato 4: Indagini eseguite per il Metanodotto Piombino-Collesalveti DN 1200 (48")

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO</b> <b>DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>	<b>Fg. 3 di 21</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

## 1. PREMESSA

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

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

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

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

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

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

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

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

Lo scopo di questa relazione è di fornire i risultati delle indagini geognostiche eseguite per la caratterizzazione del territorio interessato dai lavori per la realizzazione del Metanodotto in esame (PG-TPSO-D-03220).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Inoltre, sono stati consultate anche le stratigrafie dei carotaggi eseguiti nell'ambito di una precedente campagna di indagini svolta per la progettazione del metanodotto Piombino-Collesalveti DN 1200 (48") che ha già ottenuto il Provvedimento di VIA con Decreto MATTM n. 458 del 2012. Si tratta in totale di n. 72 punti di indagine (PG-TPSA-D-03220) eseguiti tra il 2009 e il 2011, le cui stratigrafie sono riportate in Allegato 4

Si precisa che gli aspetti geologici di dettaglio (analisi geologica e geomorfologica, studio idrogeologico, analisi della sismicità e dei fenomeni sismo-indotti, studi idraulici) sono affrontati all'interno di specifiche relazioni, alle quali si rimanda per analisi più approfondite.

## 1.1 Documenti di Riferimento

- [1] REL-CGD-E-03021 Relazione Geologica
- [2] PG-TPSO-D-03220 Planimetria tracciato di progetto con punti di sondaggio
- [3] + REL-CI-E-03027 Relazione Idrogeologica e censimento pozzi e sorgenti
- [4] REL-SIS-E-03023 Analisi areale della stabilità dei versanti
- [5] REL-SIS-E-03024 Relazione sismica
- [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
- [8] REL-IDRO-E-03020 Relazione Idrografico-Idrologica

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

## 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE

Sulla base del quadro delle conoscenze riguardanti il territorio attraversato dal progetto della nuova condotta, dei dati di letteratura e dei sopralluoghi eseguiti, è stato individuato un insieme di siti nei quali si è ritenuto opportuno approfondire l'indagine tramite apposite campagne geognostiche.

Il piano di indagini è stato sottoposto alla committenza che ne ha condiviso l'impianto generale. Successivamente, si sono apportate modifiche in relazione alle reali condizioni dei siti da esplorare, alle esigenze dei proprietari dei terreni da indagare che ne hanno permesso l'esecuzione e ad integrazioni determinate dalle ottimizzazioni del progetto del metanodotto.

Le indagini geognostiche sono state commissionate alla ditta L&R (Laboratori e Ricerche) di Catania che ha operato lungo tutto il tracciato in diversi periodi di tempo.

La descrizione delle attrezzature utilizzate da ciascuna ditta operatrice è fornita a completamento della documentazione relativa ai sondaggi.

La documentazione relativa alle indagini geognostiche, comprendente l'ubicazione, la stratigrafia e la documentazione fotografica delle cassette catalogatrici è raccolta nell'Allegato 1.

Le indagini geognostiche dirette sono state eseguite:

- a) in corrispondenza degli attraversamenti dei maggiori corsi d'acqua per definire lo spessore e le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo che contribuiscono a stabilire le coperture ottimali nell'attraversamento e il dimensionamento delle eventuali opere idrauliche che saranno necessarie per ripristinare e/o proteggere i tratti spondali interessati dagli scavi;
- b) in corrispondenza delle opere trenchless per definire la stratigrafia lungo il profilo di perforazione e valutarne il livello di criticità;
- c) in corrispondenza di situazioni di criticità morfologica di versante allo scopo di ottimizzare il tracciato e definire gli interventi di mitigazione da adottare;
- d) in corrispondenza degli impianti di linea per valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

In totale, nell'ambito della campagna geognostica programmata per il presente progetto, sono state eseguite:

- n. 61 sondaggi a carotaggio continuo
- n. 60 prove penetrometriche statiche (CPTU)
- n. 23 indagini MASW;
- n. 8 stendimenti per indagini di sismica a rifrazione;
- n. 29 stendimenti per indagini geoelettriche (ERT).

Tutti i sondaggi geognostici hanno raggiunto profondità variabili in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche riscontrate e delle caratteristiche dello specifico intervento da realizzare.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

## 2.1 Sondaggi a carotaggio continuo

La seguente tabella 2.1/A elenca le indagini geognostiche in carotaggio continuo complessivamente realizzate lungo il tracciato di progetto del metanodotto oggetto di studio (n° 61) specificandone il nome assegnato, la profondità raggiunta, le coordinate geografiche in WGS84, i limiti amministrativi di riferimento ed orientativamente il km di tracciato a cui fa riferimento.

**Tab. 2.1/A: Ubicazione delle indagini geognostiche in carotaggio continuo**

km	Code	Profondità	Latitudine	Longitudine	Comune	Scopo
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30")</b>						
0	LP-A-B01	20.00	43.614322	10.435373	Collesalveti (LI)	PLRP di Mortaiolo
1,7	LP-A-B01a	15.00	43.605906	10.451267		PIL n. 1
1,9	LP-A-B02	15.00	43.605197	10.453318		TOC Frescobaldi
2,35	LP-A-B03	20.00	43.603379	10.457492		TOC T. Tora
2,45	LP-A-B04	20.00	43.602682	10.458319		
3,3	LP-A-B05	15.00	43.596958	10.465013		Attraversamento Ferrovia
3,6	LP-A-B06	15.00	43.594490	10.464410		PIL n. 2
7,7	LP-A-B07	15.00	43.560255	10.479096		TOC T. Morra
7,85	LP-A-B08	15.00	43.558550	10.480029	Fauglia (PI)	TOC Panpersa
8,7	LP-A-B09	15.00	43.552383	10.482455		
9	LP-A-B10	30.00	43.551473	10.479524		
9,3	LP-A-B11	10.00	43.550347	10.475890	Collesalveti (LI)	Attraversamento A12
11,85	LP-A-B11a	15.00	43.532149	10.467815		
12,15	LP-A-B12	15.00	43.530060	10.467372	Fauglia (PI)	
13,2	LP-A-B13	15.00	43.520937	10.470869	Collesalveti (LI)	PIL n. 3
15,15	LP-A-B14	10.00	43.507700	10.464716		TOC Campo al Rena
15,6	LP-A-B15	40.00	43.503611	10.465833		
16	LP-A-B16	10.00	43.500375	10.467563		
23,4	LP-A-B17	15.00	43.441869	10.500342	Santa Luce (PI)	PIL n. 5
26,45	LP-A-B18	15.00	43.419283	10.492184	Rosignano Marittimo (LI)	Attraversamento A12
27,3	LP-A-B19	15.00	43.412633	10.493711		PIL n. 6
27,5	LP-A-B20	15.00	43.410572	10.493720		Attraversamento Ferrovia
28,6	LP-A-B21	15.00	43.405324	10.502255	Castellina Marittima (PI)	PIL n. 7
29,25	LP-A-B22	15.00	43.400070	10.506385		Attraversamento T. Pescera
30,2	LP-A-B23	15.00	43.392980	10.511391		PIDI n. 8
31,65	LP-A-B25	25.00	43.382638	10.513643		TOC Malandrone
34,75	LP-A-B26	15.00	43.357119	10.518104	Cecina (LI)	TOC Via Potenza
37,85	LP-B-B27	15.00	43.332577	10.528734		PIL n. 9
38,35	LP-B-B28	15.00	43.328493	10.528311	Riparbella (PI)	Attraversamento SS1
38,9	LP-B-B29	15.00	43.323984	10.529751	Cecina (LI)	MT F. Cecina
39,15	LP-B-B30	15.00	43.322290	10.530761		
39,55	LP-B-B31	15.00	43.319729	10.533403		Attraversamento SS1
39,8	LP-B-B32	15.00	43.317982	10.535619		Attraversamento stradale

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO</b> <b>DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>	<b>Fg. 7 di 21</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

km	Code	Profondità	Latitudine	Longitudine	Comune	Scopo	
40,75	LP-B-B32a	20.00	43.311914	10.542726		TOC Podere Cencini	
46,15	LP-B-B33	20.00	43.270452	10.566518	Bibbona (LI)	TOC Fosso della Madonna	
46,9	LP-B-B33a	25.00	43.264190	10.565407		TOC Poggiali	
51,2	LP-B-B34	20.00	43.226943	10.571831	Castagneto Carducci (LI)	TOC Carestia Vecchia	
52,1	LP-B-B34a	25.00	43.219236	10.574452		TOC Strada Ferruggini	
54,65	LP-B-B35	20.00	43.196667	10.576111		TOC Bolgheri	
54,8	LP-B-B36	15.00	43.195030	10.575814		PIL n. 12	
56,75	LP-B-B37	15.00	43.183056	10.561944		PIL n. 13	
56,9	LP-B-B37a	15.00	43.181594	10.561750		Attraversamento Molini	
59,8	LP-B-B38	15.00	43.156645	10.554666		PIL n. 14	
60,3	LP-B-B39	15.00	43.154115	10.558297		Attraversamento ferrovia	
61,5	LP-B-B40	15.00	43.144414	10.559999		PIL n. 15	
62,9	LP-B-B40a	25.00	43.132771	10.553516		TOC Tenuta Le Colonne	
64,75	LP-B-B41	15.00	43.116855	10.549914		MT Cervalesi	
65,1	LP-B-B42	40.00	43.114570	10.551840			
66,1	LP-B-B43	15.00	43.107363	10.558353		San Vincenzo (LI)	Attraversamento ferrovia
66,85	LP-B-B44	15.00	43.100195	10.561807			PIL n. 17
67,1	LP-B-B44a	15.00	43.098872	10.559587	TOC Podere San Bernardo		
69,65	LP-B-B45	15.00	43.080329	10.558423	Attraversamento stradale		
69,85	LP-B-B45a	15.00	43.078412	10.559267	TOC Podere Conte Ascanio		
71,15	LP-B-B46	15.00	43.067393	10.560403	Attraversamento SS1		
71,4	LP-B-B47	15.00	43.063549	10.556840	Attraversamento botro ai marmi		
72,8	LP-B-B47a	25.00	43.054405	10.556436	TOC Podere Conte Giuseppe		
75,2	LP-B-B48	15.00	43.034340	10.561629	PIL n. 18		
75,35	LP-B-B49	15.00	43.033086	10.560766	Attraversamento ferrovia		
75,6	LP-B-B50	15.00	43.031751	10.560775	Campiglia Marittima (LI)	PIDI n. 19	
84,2	LP-B-B51	30.00	42.970000	10.618333	Piombino (LI)	PLRP Piombino	
<b>Rif. Der. Rosen Rosignano DN 250 (10")</b>							
0	LP-A-B52	15.00	43.384169	10.477820	Rosignano Marittimo (LI)	PIDI n. 1	

## 2.2 Prove Penetrometriche Statiche con piezocono (CPTU)

La seguente tabella 2.1/B elenca le indagini CPTU realizzate lungo il tracciato di progetto del metanodotto oggetto di studio (n° 60) specificandone il nome assegnato, la profondità raggiunta, le coordinate geografiche in WGS84, i limiti amministrativi di riferimento ed orientativamente il km di tracciato a cui fa riferimento.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO</b> <b>DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>	<b>Fg. 8 di 21</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

**Tab. 2.1/B: Ubicazione delle indagini CPTU**

km	Code	Profondità	Latitudine	Longitudine	Comune	Scopo
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30")</b>						
2,2	LP-A-C02	15.07	43.604173	10.456546	Collesalveti (LI)	TOC T. Tora
3,6	LP-A-C03	15.12	43.594444	10.464398		PIL n. 2
4,85	LP-A-C04	15.04	43.583868	10.467187		Sondaggio di linea
7,2	LP-A-C06	15.01	43.564083	10.476016		Sondaggio di linea
7,5	LP-A-C07	15.11	43.561816	10.477328		Sondaggio di linea
10,75	LP-A-C08	10.02	43.541155	10.465275	Fauglia (PI)	Sondaggio di linea
10,95	LP-A-C09	9.54	43.539528	10.464632		Sondaggio di linea
12,15	LP-A-C10	9.66	43.529874	10.468467		Sondaggio di linea
14,85	LP-A-C11	6.02	43.510091	10.464188	Collesalveti (LI)	Sondaggio di linea
17,2	LP-A-C12	6.76	43.491962	10.476327		Attraversamento T. Savalano
18,8	LP-A-C13	12.95	43.481021	10.486420	Rosignano Marittimo (LI)	Attraversamento A12
21,8	LP-A-C14	9.23	43.455026	10.495032	Santa Luce (PI)	Attraversamento ferrovia
30,8	LP-A-C15	2.06	43.389111	10.515089	Castellina Marittima (PI)	Attraversamento botro del Gonnellino
31,15	LP-A-C16	6.23	43.386526	10.515387		TOC Malandrone
33,8	LP-A-C17	3.96	43.365285	10.514941		Attraversamento T. Tripesce
34,6	LP-A-C17a	15.08	43.359001	10.517640	Cecina (LI)	TOC Via Potenza
35,1	LP-A-C17b	1.00	43.354518	10.519189		Sondaggio di linea
35,65	LP-A-C18	4.33	43.349455	10.520056		Sondaggio di linea
36,65	LP-A-C19	8.92	43.341230	10.522608	Cecina (LI)	TOC Podere Carli
42,3	LP-B-C19a	7.91	43.300997	10.552942		Sondaggio di linea
42,4	LP-B-C19b	7.13	43.300095	10.554036		Sondaggio di linea
43,15	LP-B-C20	1.87	43.294780	10.557187	Bibbona (LI)	TOC Fosso della Madonna
45,7	LP-B-C20a	5.69	43.273373	10.565621		TOC Poggiali
46,3	LP-B-C21	10.03	43.269418	10.565448		Sondaggio di linea
46,75	LP-B-C21a	12.22	43.265663	10.564872		Attraversamento ferrovia
47,1	LP-B-C21b	9.42	43.262631	10.565968		PIL n. 13
48,9	LP-B-C22	12.31	43.246320	10.568165	Castagneto Carducci (LI)	Sondaggio di linea
50,5	LP-B-C22a	13.87	43.232822	10.571040		TOC Fossa Camilla
51,75	LP-B-C22b	11.71	43.221828	10.574074		TOC strada Ferruggini
52,2	LP-B-C22c	8.95	43.217894	10.574650		TOC Bolgheri
54,15	LP-B-C23	5.92	43.200640	10.576686		Attraversamento ferrovia
56,2	LP-B-C24	12.77	43.187015	10.565996		PIL n. 14
56,75	LP-B-C25	15.00	43.183181	10.562474		Sondaggio di linea
57,25	LP-B-C26	12.78	43.178655	10.560478		Sondaggio di linea
58,25	LP-B-C27	14.48	43.170153	10.558990		Attraversamento ferrovia
59,8	LP-B-C28	15.03	43.156682	10.554675		PIL n. 15
60,2	LP-B-C29	15.00	43.154375	10.557545		
61,5	LP-B-C30	6.86	43.144309	10.559925		

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO</b> <b>DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse</b>	<b>Fg. 9 di 21</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

km	Code	Profondità	Latitudine	Longitudine	Comune	Scopo
62,35	LP-B-C31	15.06	43.137289	10.555283		Sondaggio di linea
62,7	LP-B-C31a	3.75	43.134911	10.554182		TOC Tenuta Le Colonne
63,4	LP-B-C32	11.91	43.128180	10.552045		TOC botro ai Fichi
63,7	LP-B-C32a	2.68	43.126071	10.551441		
63,9	LP-B-C32b	0.70	43.123890	10.550663		TOC Podere Villa Magna
64,2	LP-B-C32c	6.80	43.121343	10.549701		
64,35	LP-B-C33	2.97	43.120413	10.549096		Sondaggio di linea
66,75	LP-B-C35	4.16	43.101484	10.562070		San Vincenzo (LI)
67	LP-B-C35a	15.06	43.099617	10.561603	Sondaggio di linea	
68,75	LP-B-C36	5.92	43.087722	10.554513	San Vincenzo (LI)	TOC Podere Conte Ascanio
70,15	LP-B-C36a	2.31	43.075838	10.560079		TOC Podere Conte Giuseppe
72,55	LP-B-C37	13.76	43.056487	10.555068		
73	LP-B-C37a	15.88	43.052508	10.557782	Campiglia Marittima (LI)	Sondaggio di linea
73,35	LP-B-C38	15.06	43.049939	10.557485		PIDI n. 19
75,6	LP-B-C39	8.87	43.031834	10.560840		TOC F. Cornia
79,6	LP-B-C40	11.37	43.001921	10.584297		
79,85	LP-B-C41	9.84	43.000444	10.585880	Piombino (LI)	Sondaggio di linea
80,85	LP-B-C42	15.02	42.993169	10.592874		Sondaggio di linea
82,4	LP-B-C43	15.01	42.981130	10.602687		PLRP Piombino
84,2	LP-B-C44	20.04	42.970180	10.618079		
<b>Rif. Der. Rosen Rosignano DN 250 (10")</b>						
0,5	LP-A-C45	15.04	43.380912	10.473588	Rosignano Marittimo (LI)	TOC F. Fine
0,8	LP-A-C46	15.91	43.379906	10.471577		

### 2.3 Prove di Laboratorio

La seguente tabella (Tab, 2.1/C) elenca i campioni indisturbati e rimaneggiati raccolti nel corso dei carotaggi ed inviati al laboratorio (Laboratorio Geomeccanico - Orazi, Pesaro) e le prove eseguite per la definizione dei parametri geotecnici.

**Tab. 2.1/C: Elenco dei campioni prelevati e prove di laboratorio eseguite**

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-A-B01	CI1	1,50-1,85	CG-TX-
	CI2	3,00-3,55	CG-TX-TD
	CI3	4,50-5,05	CG-TX-EDO
	CI4	7,45-8,00	CG-TX
	CI5	11,60-12,10	CG-TX-EDO
	CI6	15,00-15,55	CG-TX
LP-A-B01a	CR1 (SPT1)	1,55-2,00	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CI1	4,50-5,00	CG-TX-TD
	CI2	7,55-8,05	CG-TX
	CI3	12,30-12,70	CG-TX



PROGETTISTA

COMMESSA  
NR/20049UNITA'  
000

LOCALITA'

REGIONE TOSCANA

REL-GEO-E-03022

PROGETTO / IMPIANTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO  
DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse

Fg. 10 di 21

Rev.  
0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-A-B02	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CI1	4,45-4,85	CG-TX-TD
	CI2	7,55-8,00	CG-TX-EDO
	CI3	12,20-12,70	CG-TX
LP-A-B03	CI1	3,00-3,50	CG-TX-TD
	CI2	6,25-6,75	CG-TX
	CI3	9,00-9,50	CG-TX
	CI4	12,00-12,50	CG-TX
	CR1 (SPT1)	15,45-15,90	CG
	CI5	17,90-18,30	CG-TX
LP-A-B04	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI1	6,00-6,40	CG-TX-TD
	CI2	9,00-9,35	CG-TX
	CI3	12,20-12,65	CG-TX
	CI4	15,00-15,50	CG-TX
	CI5	18,00-18,45	CG-TX
LP-A-B05	CI1	3,00-3,30	CG-TX-TD
	CI2	6,00-6,45	CG-TX
	CI3	9,00-9,50	CG-TX
	CI4	12,00-12,45	CG-TX
	CI5	14,60-15,00	CG-TX
LP-A-B06	CI1	1,65-2,00	CG-TX-TD
	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	4,55-5,00	CG
	CI2	7,50-7,85	CG-TX
	CI3	12,00-12,50	CG-TX
LP-A-B07	CI1	3,00-3,40	CG-TX
	CI2	6,00-6,40	CG-TX
	CI3	9,00-9,45	CG-TX
	CI4	12,00-12,45	CG-TX
	CI5	14,70-15,00	CG-TX
LP-A-B08	CI1	3,00-3,45	CG-TX
	CI2	6,00-6,40	CG-TX
	CI3	9,00-9,50	CG-TX
	CI4	12,00-12,35	CG-TX
	CI5	14,60-15,00	CG-TX
LP-A-B09	CI1	3,00-3,45	CG-TX-TD
	CI2	6,00-6,60	CG-TX
	CI3	9,00-9,35	CG-TX
	CI4	12,00-12,45	CG-TX
	CI5	14,50-15,00	CG-TX
LP-A-B10	CR1 (SPT1)	4,45-4,90	CG
	CI1	8,50-9,00	CG-TX
	CI2	15,15-15,65	CG-TX
	CI3	17,40-17,80	CG-TX
	CR2 (SPT2)	21,00-21,45	CG
	CR3 (SPT3)	24,00-24,45	CG
LP-A-B11	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI1	6,00-6,55	CG-TX-TD
	CI2	9,00-9,50	CG-TX



PROGETTISTA

COMMESSA  
NR/20049UNITA'  
000

LOCALITA'

REGIONE TOSCANA

REL-GEO-E-03022

PROGETTO / IMPIANTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO  
DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse

Fg. 11 di 21

Rev.  
0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-A-11a	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI1	6,00-6,55	CG-TD-ELL
	CI2	9,00-9,50	CG-ELL
	CI3	12,00-12,50	CG-ELL
LP-A-B12	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI1	6,00-6,55	CG-TD-ELL
	CI2	9,00-9,50	CG-ELL
	CI3	12,00-12,55	CG-ELL
	CI4	14,50-15,00	CG-ELL
LP-A-B13	CI1	1,60-2,00	CG-TX-TD
	CI2	3,00-3,50	CG-TX-EDO
	CI3	4,50-5,00	CG-TX
	CI5	12,00-12,60	CG-TX
LP-A-B14	CI1	3,00-3,60	CG-TD-ELL
	CI2	6,00-6,50	CG-ELL
	CI3	9,00-9,45	CG-ELL
LP-A-B15	CI1	4,60-5,00	CG-ELL
	CI2	9,00-9,40	CG-ELL
	CI3	15,00-15,55	CG-ELL
	CI4	21,00-21,55	CG-ELL
	CI5	27,00-27,55	CG-ELL
	CI6	33,00-33,45	CG-ELL
	CI7	36,00-36,55	CG-ELL
	CI8	39,00-39,50	CG-ELL
LP-A-B16	CI1	3,00-3,45	CG-TD-ELL
	CI2	6,00-6,55	CG-ELL
	CI3	9,00-9,55	CG-ELL
LP-A-B17	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CI1	4,60-5,00	CG-TX-EDO-TD
	CR3 (SPT3)	7,50-7,95	CG
	CI2	12,00-12,50	CG-TX
LP-A-B18	CI1	3,00-3,40	CG-TX-TD
	CI2	6,00-6,40	CG-TX-EDO
	CI3	9,00-9,40	CG-TX
	CI4	12,00-12,45	CG-TX
	CI5	14,55-15,00	CG-TX
LP-A-B19	CI1	1,40-2,00	CG-TX-TD
	CI2	6,00-6,55	CG-TX-EDO
	CI3	9,00-9,50	CG-TX
	CI4	12,00-12,45	CG-TX
LP-A-B20	CI1	3,00-3,55	CG-TX-TD
	CI2	6,00-6,45	CG-TX
	CI3	9,00-9,55	CG-TX
	CI4	12,00-12,40	CG-TX
	CI5	14,55-15,00	CG-TX
LP-A-B21	CR1 (SPT1)	1,65-2,10	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CR3 (SPT3)	4,55-5,00	CG
	CR4 (SPT4)	7,55-8,00	CG
	CI1	12,00-12,35	CG-TX



PROGETTISTA

COMMESSA  
NR/20049UNITA'  
000

LOCALITA'

REGIONE TOSCANA

REL-GEO-E-03022

PROGETTO / IMPIANTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO  
DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse

Fg. 12 di 21

Rev.  
0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-A-B22	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	6,00-6,45	CG
	CR3 (SPT3)	9,00-9,45	CG
	CR4 (SPT4)	12,00-12,45	CG
	CR5 (SPT5)	14,55-15,00	CG
LP-A-B23	CI1	1,45-2,00	CG-TX-TD
	CI2	3,00-3,55	CG-TX-EDO
	CI3	4,60-5,00	CG-TX
	CI4	7,55-8,00	CG-TX
	CI5	12,00-12,45	CG-TX
LP-A-B25	CI1	3,00-3,40	CG-TX-TD
	CI2	9,00-9,50	CG-ELL
	CI3	12,00-12,50	CG-ELL
	CI4	15,00-15,35	CG-ELL
	CI5	18,00-18,30	CG-ELL
	CI6	21,00-21,40	CG-ELL
	CI7	24,00-24,40	CG-ELL
LP-A-B52	CR1 (SPT1)	1,55-2,00	CG
	CI1	4,55-5,00	CG-TX-EDO-TD
	CR2 (SPT2)	7,55-8,00	CG
	CR3 (SPT3)	12,00-12,55	CG
LP-B-B27	CI1	1,50-1,80	CG-TX-EDO-TD
	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	4,55-5,00	CG
	CR3 (SPT3)	8,00-8,45	CG
	CR4 (SPT4)	12,00-12,45	CG
LP-B-B28	CI1	3,00-3,55	CG-TX-TD
	CR1 (SPT1)	6,00-6,45	CG
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CR3 (SPT3)	12,00-12,45	CG
	CR4 (SPT4)	14,55-15,00	CG
LP-B-B29	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	6,00-6,05	CG
	CR3 (SPT3)	9,00-9,10	CG
	CI1	12,10-12,60	CG-ELL
	CR4 (SPT4)	14,55-15,00	CG
LP-B-B30	CI1	3,00-3,45	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	6,00-6,45	CG
	CI2	9,00-9,45	CG-ELL
	CR2 (SPT2)	12,00-12,45	CG
	CI3	14,50-15,00	CG-ELL
LP-B-B31	CI1	3,20-3,60	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	6,00-6,45	CG
	CI2	9,00-9,50	CG-ELL
	CR2 (SPT2)	12,00-12,45	CG
	CI3	14,65-15,00	CG-ELL
LP-B-B32	CI1	1,50-1,90	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI2	4,55-5,00	CG-EDO-ELL
	CR2 (SPT2)	7,50-7,95	CG
	CI3	12,00-12,40	CG-ELL



PROGETTISTA

COMMESSA  
NR/20049UNITA'  
000

LOCALITA'

REGIONE TOSCANA

REL-GEO-E-03022

PROGETTO / IMPIANTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO  
DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse

Fg. 13 di 21

Rev.  
0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-B-B32a	CI1	3,00-3,50	CG-TX-TD
	CI2	6,00-6,40	CG-TX
	CI3	9,00-9,30	CG-TX
	CI4	12,00-12,30	CG-TX
LP-B-B33	CI1	6,00-6,40	CG-TX
LP-B-33a	CI1	3,00-3,40	CG-TX-TD
	CI2	9,00-9,40	CG-TX
	CI3	15,00-15,40	CG-ELL
LP-B-B34	CI1	3,20-3,75	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	5,70-6,15	CG
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CR3 (SPT3)	12,20-12,65	CG
	CR4 (SPT4)	15,00-15,45	CG
	CR5 (SPT5)	18,00-18,45	CG
LP-B-B34a	C1	17,00-17,30	CG-ELL
LP-B-B35	CI1	3,00-3,40	CG-TX-TD
	CR1 (SPT1)	6,00-6,45	CG
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CR3 (SPT3)	12,00-12,45	CG
	CR4 (SPT4)	15,00-15,45	CG
	CR5 (SPT5)	18,00-18,45	CG
	CR6 (SPT6)	19,50-19,95	CG
LP-B-B36	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG-TD*
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CI1	4,30-4,70	CG-TX-EDO-TD
	CR3 (SPT3)	7,60-8,05	CG
	CR4 (SPT4)	12,00-12,45	CG
LP-B-B37	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CR3 (SPT3)	4,50-4,95	CG
	CR4 (SPT4)	7,50-7,95	CG
	CR5 (SPT5)	12,00-12,45	CG
LP-B-B38	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CR3 (SPT3)	4,50-4,95	CG
	CR4 (SPT4)	7,50-7,95	CG
	CR5 (SPT5)	12,00-12,45	CG
LP-B-B39	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI1	6,00-6,40	CG-TD-ELL
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CR3 (SPT3)	12,00-12,45	CG
	CI2	14,60-15,00	CG-ELL
LP-B-B40	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CR3 (SPT3)	4,50-4,95	CG
	CR4 (SPT4)	7,50-7,95	CG
	CR5 (SPT5)	12,00-12,45	CG
LP-B-B40a	CI1	12,00-12,40	CG-ELL
	CI2	15,00-15,30	CG-ELL
	CI3	18,00-18,30	CG-ELL



PROGETTISTA

COMMESSA  
NR/20049UNITA'  
000

LOCALITA'

REGIONE TOSCANA

REL-GEO-E-03022

PROGETTO / IMPIANTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO  
DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse

Fg. 14 di 21

Rev.  
0

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-B-B41	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	6,00-6,45	CG
	CR3 (SPT3)	9,00-9,45	CG
	CR4 (SPT4)	12,00-12,45	CG
	CR5 (SPT5)	14,55-15,00	CG
LP-B-B42	CR1 (SPT1)	6,00-6,37	CG
	CR2 (SPT2)	12,00-12,32	CG
	CR3 (SPT3)	18,00-18,05	CG
	CI1	24,00-24,30	CG-ELL
	CR4 (SPT4)	30,00-30,11	CG
	CR5 (SPT5)	36,00-36,45	CG
LP-B-B43	CI1	3,00-3,35	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	6,00-6,45	CG
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CR3 (SPT3)	12,00-12,45	CG
	CR4 (SPT4)	14,50-14,58	CG
LP-B-B44	CR1 (SPT1)	1,45-1,90	CG-TD*
	CR3 (SPT3)	4,55-5,00	CG
	CR4 (SPT4)	7,55-8,00	CG
	CI1	12,00-12,40	CG-ELL
LP-B-B44a	CR1 (SPT1)	1,50-1,58	CG
LP-B-B45	CR1 (SPT1)	3,10-3,22	CG
	CR2 (SPT2)	6,00-6,10	CG
	CI1	9,00-9,50	CG-ELL
	CR3 (SPT3)	12,00-12,45	CG
	CI2	14,70-15,00	CG-ELL
LP-B-B45a	CR1 (SPT1)	3,10-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	6,00-6,10	CG
	CR3 (SPT3)	9,00-9,45	CG
	CR4 (SPT4)	12,00-12,10	CG
LP-B-B46	CI1	3,00-3,35	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	6,00-6,45	CG
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CR3 (SPT3)	12,00-12,45	CG
	CR4 (SPT4)	14,55-15,00	CG
LP-B-B47	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CR2 (SPT2)	6,00-6,45	CG
	CR3 (SPT3)	9,00-9,45	CG
	CR4 (SPT4)	12,00-12,45	CG
	CR5 (SPT5)	14,45-15,00	CG
LP-B-B47a	CI1	12,00-12,40	CG-TX
	CI2	21,00-21,40	CG-TX
LP-B-B48	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CR3 (SPT3)	4,55-5,00	CG
	CR4 (SPT4)	7,50-7,95	CG
	CI1	12,65-13,00	CG-TX
LP-B-B49	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI1	6,20-6,65	CG-ELL
	CR2 (SPT2)	9,00-9,45	CG
	CI2	12,20-12,45	CG-ELL
	CR3 (SPT3)	14,55-15,00	CG

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 15 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Sondaggio	Campione	Profondità dal p.c. (m)	Prove di laboratorio*
LP-B-B50	CR1 (SPT1)	1,50-1,95	CG
	CR2 (SPT2)	3,00-3,45	CG
	CR3 (SPT3)	4,50-4,95	CG
	CI1	12,20-12,58	CG-TX
LP-B-B51	CI1	1,50-1,90	CG-TD-ELL
	CR1 (SPT1)	3,00-3,45	CG
	CI2	4,50-4,90	CG-EDO-ELL
	CR2 (SPT2)	7,55-8,00	CG
	CI3	12,50-12,80	CG-ELL
	CR3 (SPT3)	15,30-15,75	CG
	CR4 (SPT4)	21,00-21,45	CG
	CR5 (SPT5)	24,00-24,45	CG
CI4	29,55-30,00	CG-ELL	

\*Sigle prove di laboratorio:

- CG: Classificazione Generale (Caratteristiche volumetriche; Limiti di Atterberg; Caratteristiche granulometriche e Classificazione USCS)
- TX: Prova triassiale UU
- EDO: Prova edometrica
- TD: Prova di taglio diretto (\*campione ricostituito)
- ELL: Prova di espansione laterale libera

I certificati delle prove di laboratorio, con i risultati ottenuti sono presentati in Allegato 2.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 16 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRECTE

Così come avvenuto per le indagini dirette, i punti di investigazione e gli stendimenti sono stati condivisi con il committente e definiti sulla base dei dati riguardanti il territorio disponibili in letteratura e dei sopralluoghi realizzati.

In particolare, sono state eseguite indagini MASW per la caratterizzazione delle categorie di sottosuolo, indagini geoelettriche e rilievi sismiche per la definizione della stratigrafia delle aree interessate dai lavori (Allegato 3).

Inoltre, all'interno del foro realizzato per il sondaggio LP-B-B51, è stata eseguita una prova geofisica del tipo Down-Hole, mediante la quale è stato possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione (P) e trasversali o di taglio (S).

La metodologia Down-Hole, come le altre tecniche di sismica in foro, ha il vantaggio di non avere come condizione che la velocità aumenti con la profondità (es. sismica di rifrazione superficiale), giacché i tempi di arrivo delle onde elastiche vengono valutati via via che queste ultime penetrano negli strati più profondi del terreno. Con tale tecnica è altresì sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nell'ambito del pacco di litotipi incontrati nella perforazione. I risultati di tale prova sono mostrati in Allegato 1.

Le indagini geognostiche indirette sono state eseguite (Rif. PG-TPSO-D-03220):

- a) in corrispondenza delle opere trenchless per definire la stratigrafia lungo il profilo di perforazione e valutarne il livello di criticità;
- b) in corrispondenza di situazioni di criticità morfologica di versante allo scopo di ottimizzare il tracciato e definire gli interventi di mitigazione da adottare;
- c) in corrispondenza degli impianti di linea.

#### 3.1 MASW

Le acquisizioni con metodologia MASW prevedono l'allestimento di uno stendimento lineare con distanza intergeofonica definita. La scelta del passo considera la risoluzione e la profondità di indagine richiesta, nonché la risposta di sito.

La scelta del posizionamento dello stendimento è influenzata dallo spazio necessario all'installazione della strumentazione e dalle criticità di cantiere (traffico, difficoltà logistiche, variazioni in quota, sorgenti fonti di disturbo, ecc.). Definiti i parametri di acquisizione (sample rate, record length), si procede con la ripetizione dell'acquisizione per aumentare l'intensità del segnale coerente rispetto al rumore di fondo.

L'impulso sismico viene indotto da una sorgente posta in asse rispetto all'allineamento; la scelta della distanza sorgente-primario geofono, considera:

- una sorgente che sia sufficientemente lontana da poter considerare anche sui geofoni più vicini, le onde sferiche generate assimilabili ad onde piane, così come presupposto dal sistema sintetico;
- una sorgente che sia sufficientemente vicina da essere rilevata con chiarezza anche dai geofoni più lontani rispetto la sorgente;
- le caratteristiche di sito: maggiore è il fattore di attenuazione dell'impulso indotto (presenza di asfalto o roccia), più contenuta sarà la distanza sorgente-array.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 17 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

L'intervallo di campionamento viene definito in modo da assicurare un buon dettaglio del segnale (teorema di Nyquist-Shannon: frequenza di campionamento minima, pari al doppio della frequenza massima dell'intervallo di frequenze considerato), in una lunghezza temporale sufficientemente lunga da garantire l'arrivo e l'attenuazione del segnale su tutti i geofoni.

Il numero di scoppi (*shot*) eseguiti sono stabiliti sulla base dell'intensità dell'impulso legata alla tipologia di sorgente utilizzata e alla risposta di sito: meno è intenso il segnale ricevuto dai geofoni, maggiore è il numero di acquisizioni ripetute sullo stesso array.

L'indagine MASW è stata effettuata realizzando uno stendimento lineare di 24 geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz), equispaziati a 2m con lunghezza totale dell'array sismico pari a 48 m.

I dati sismici sono stati acquisiti impostando la frequenza di campionamento a 2000 Hz e la lunghezza temporale di registrazione a 2000 ms.

Sono state effettuate tre serie di acquisizioni sullo stesso array ma con sorgente posizionata da parti opposte dello stesso allineamento (serie coniugate) con distanza sorgente-primo/ultimo ricevitore pari a 3,5 e 10 metri.

Per ogni punto di scoppio (*shot*) si è proceduto con la ripetizione dell'acquisizione (*stacking*), per aumentare l'intensità del segnale coerente rispetto al rumore di fondo.

La tabella sottostante (Tab. 3.1/A) fornisce le coordinate geografiche (WGS84) dei punti rilevati:

**Tab. 3.1/A: Ubicazione delle indagini MASW**

CODE	Longitudine	Latitudine	Comune	Scopo
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30")</b>				
LP-A-M01	10.435481	43.614269	Collesalveti (LI)	PLRP Mortaiolo
LP-A-M01a	10.451767	43.606140		PIL n.1
LP-A-M02	10.453318	43.605174		PIL n.1
LP-A-M03	10.464333	43.594454		PIL n.2
LP-A-M04	10.470831	43.520907		PIL n.3
LP-A-M05	10.466266	43.504587		Area PAI
LP-A-M06	10.494258	43.457889	Santa Luce (PI)	PIL n.4
LP-A-M07	10.500301	43.441809		PIL n.5
LP-A-M08	10.494119	43.412545	Rosignano Marittimo (LI)	PIL n.6
LP-A-M09	10.502337	43.405261	Castellina Marittima (PI)	PIL n.7
LP-A-M10	10.511566	43.392966		PIDI n.8
LP-A-M11	10.528471	43.332556	Cecina (LI)	PIL n.9
LP-A-M12	10.534803	43.318533		PIL n.10
LP-A-M13	10.575778	43.195109	Castagneto Carducci (LI)	PIL n.12
LP-A-M14	10.562723	43.183159		PIL n.13
LP-A-M15	10.554706	43.156723		PIL n. 14
LP-A-M16	10.560103	43.144538		PIL n.15
LP-A-M17	10.557192	43.108343	San Vincenzo (LI)	PIL n.16
LP-A-M17a	10.561894	43.100400		PIL n.17
LP-A-M19	10.561394	43.034285	Campiglia Marittima (LI)	PIL n.18
LP-A-M20	10.560718	43.031818		PIL n.19

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 18 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

LP-A-M21	10.577477	43.019521		PIL n.20
LP-A-M22	10.617908	42.970187	Piombino (LI)	PLRP Piombino

### 3.2 Indagini sismiche a Rifrazione

Le varie metodologie di indagine sismica si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori. Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Misurando i tempi di arrivo o le ampiezze delle onde sismiche è possibile ottenere la distribuzione nel mezzo indagato di velocità sismica (modello di velocità) o attenuazione (modello cinematico), che permettono di definire le caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

L'elaborazione tomografica è stata effettuata con il software Rayfract che utilizza il metodo di inversione WET (Wavepath Eikonal Traveltime).

La seguente Tabella (Tab. 3.2/A) elenca indagini eseguite indicandone la lunghezza e l'ubicazione del punto centrale:

**Tab. 3.2/A: Ubicazione delle indagini sismiche a rifrazione**

CODE	Lunghezza	Longitudine	Latitudine	Comune	Scopo
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30")</b>					
LP-A-R03a	475	10.479889	43.551589	Fauglia (PI)	TOC Panpersa
LP-A-R03b	235	10.475466	43.550114		
LP-A-R04	769	10.466001	43.504396	Collesalveti (LI)	TOC Campo al Rena
LP-A-R05	213	10.466561	43.504867		
LP-A-R06	475	10.514605	43.383620	Castellina Marittima (PI)	TOC Malandrone
LP-A-R09	895	10.552870	43.130592	Castagneto Carducci (LI)	TOC Podere le Colonne
LP-A-R10	355	10.549227	43.119757		TOC Podere Villa Magna
LP-A-R12	355	10.559441	43.099039	San Vincenzo (LI)	TOC Podere S. Bernardo

### 3.3 Indagini Geoelettriche multielettrodo

Il sistema dei profili elettrici superficiali con dispositivo multi-array per Tomografia Elettrica di Resistività (ERT) è una metodologia innovativa in quanto, evoluzione delle misure geoelettriche classiche, intesa ed applicata in modo tale da ottenere risoluzioni spaziali elevate.

Utilizzando un sistema a 4 elettrodi, due che iniettano la corrente, due che misurano la differenza di potenziale, otteniamo la resistività del corpo investigato se questo è omogeneo ovvero se la sua resistività è costante.

L'esecuzione di misure di resistività ottenute traslando lateralmente il quadripolo consente di ottenere informazioni relative a variazioni laterali di resistenza. Se invece si aumenta la spaziatura tra gli elettrodi di corrente e di tensione, aumenta la profondità di indagine e si ottengono informazioni maggiori sulle variazioni verticali. La strumentazione tipica delle tecniche di tomografia elettrica permette di effettuare le due operazioni in modo automatico, e di associare ad ogni linea di misura, una distribuzione bidimensionale di resistività apparente, detta *pseudosezione*.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 19 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

Per eseguire le misure è stato utilizzato un Georesistivimetro multicanale X612EM+ (della MAE advance geophysics instruments) a 96 canali.

La tomografia di resistività elettrica ha come obiettivo la costruzione di un modello elettrico bidimensionale o tridimensionale del sottosuolo effettuando delle misure di potenziale elettrico in seguito all'immissione di corrente elettrica.

L'elaborazione dei dati rilevati (resistività apparenti) ed organizzati in forma vettoriale è stata ottenuta con il programma Res2dinv di Looke and Barker (1996) che lavora con il metodo di ottimizzazione dei minimi quadrati "vincolato alla regolarità" per convertire i dati di resistività apparente in una sezione del modello.

L'indagine di tomografia elettrica è consistita in nr. 38 profili di resistività, utilizzando un numero variabile di elettrodi da 48 a 96 in funzione della logistica di cantiere, e distanza elettrodo fissa di 3.0 metri, al fine di assicurare una profondità massima di esplorazione per ogni singolo stendimento di 30 metri dal piano di calpestio. In fase esecutiva, identificato il profilo da investigare, mediante metodo topografico di precisione (battuta GPS), si è proceduto all'infissione di picchetti in acciaio antimagnetico ed al loro successivo collegamento con i cavi multipolari al geo-resistivimetro.

La seguente Tabella (Tab. 3.2/B) elenca indagini eseguite indicandone la lunghezza e l'ubicazione del punto centrale:

**Tab. 3.2/B: Ubicazione delle indagini geoelettriche**

CODE	Lunghezza	Longitudine	Latitudine	Comune	Scopo
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30")</b>					
LP-A-E01a	189	10.456704	43.604041	Collesalveti (LI)	TOC Torrente Tora
LP-A-E01b	213	10.458987	43.602117		
LP-A-E02a	165	10.479111	43.560253		Fauglia (PI)
LP-A-E02b	165	10.480557	43.558610		
LP-A-E03a	434	10.479609	43.551500	Fauglia (PI)	TOC Panpersa
LP-A-E03b	160	10.475757	43.550305		
LP-A-E04a	410	10.465496	43.505726	Collesalveti (LI)	TOC Campo al Rena
LP-A-E04b	304	10.466730	43.502521		
LP-A-E05	213	10.466521	43.504823		
LP-A-E05-1a	165	10.495020	43.437592	Santa Luce (PI)	TOC Fiume Fine
LP-A-E05-1b	165	10.493669	43.436164	Rosignano Marittimo (LI)	
LP-A-E06	477	10.514655	43.383928	Castellina Marittima (PI)	TOC Malandrone
LP-A-E07a	165	10.529375	43.324625	Riparbella (PI)	MT Fiume Cecina
LP-A-E07b	189	10.529640	43.323957		
LP-A-E07c	165	10.529917	43.323093	Cecina (LI)	
LP-A-E07d	189	10.530766	43.32228		
LP-A-E07-1a	213	10.542941	43.311809		TOC Podere Cencini
LP-A-E08a	177	10.566936	43.270947	Bibbona (LI)	TOC Fosso della Madonna
LP-A-E08b	177	10.565607	43.269537		
LP-A-E09a	185	10.570793	43.228688	Castagneto Carducci (LI)	TOC Carestia Vecchia
LP-A-E09b	217	10.571953	43.226708		
LP-A-E10a	837	10.576818	43.201570		TOC Bolgheri

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE TOSCANA</b>	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 20 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

CODE	Lunghezza	Longitudine	Latitudine	Comune	Scopo
<b>Rif. Met. Livorno-Piombino DN 750 (30")</b>					
LP-A-E10b	189	10.576637	43.196565		
LP-A-E11a	321	10.559641	43.076968	San Vincenzo (LI)	TOC Podere Conte Ascanio
LP-A-E12a	165	10.584137	43.002064	Campiglia Marittima (LI)	TOC Fiume Cornia
LP-A-E12c	285	10.585625	43.000353		
LP-A-E12d	165	10.586320	43.000049		
<b>Rif. Der. Rosen Rosignano DN 250 (10")</b>					
LP-A-E13a	213	10.474443	43.381343	Rosignano Marittimo (LI)	TOC Fiume Fine
LP-A-E13b	237	10.471821	43.380022		

I risultati di tutte le indagini indirette con le ricostruzioni dei profili che derivano dalla loro interpretazione sono mostrati nell'Allegato 3.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE TOSCANA	<b>REL-GEO-E-03022</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 21 di 21	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM: 023113-010-SPC-LA-E-83022

#### 4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il piano di indagini è stato definito sulla base dei dati disponibili e dei sopralluoghi eseguiti nel territorio interessato dalla realizzazione del Met. Livorno-Piombino DN 750 (30").

Lo scopo delle indagini è di raccogliere le informazioni necessarie alla caratterizzazione dei terreni dal punto di vista geotecnico, per consentire le scelte del tracciato, delle metodologie di posa e delle tipologie di ripristino adeguate a minimizzare i rischi per il metanodotto in oggetto e l'impatto sul territorio attraversato.

Per tale ragione, le indagini geognostiche sono state eseguite:

- a) in corrispondenza degli attraversamenti dei maggiori corsi d'acqua;
- b) in corrispondenza delle opere trenchless;
- c) in corrispondenza di situazioni di criticità morfologica di versante;
- d) in corrispondenza degli impianti di linea;

In totale, nell'ambito della campagna geognostica programmata per il presente progetto, sono state eseguite:

- n. 61 sondaggi a carotaggio continuo
- n. 60 prove penetrometriche statiche (CPTU)
- n. 23 indagini MASW;
- n. 8 stendimenti per indagini di sismica a rifrazione;
- n. 29 stendimenti per indagini geoelettriche (ERT).

I risultati ottenuti con le indagini eseguite e con le analisi di laboratorio, sono raccolti ed allegati alla presente relazione e costituiscono un elemento indispensabile per l'elaborazione di tutte le relazioni e gli elaborati di progetto che necessitano delle informazioni geotecniche in essa contenute.

Nell'ambito di ciascuna relazione, sarà definito il modello geotecnico del sottosuolo, con identificazione del volume significativo e degli specifici parametri geotecnici ad esso associati, dedotti dall'interpretazione delle prove di laboratorio e dalle misure in sito (Rif. NTC18 – §6.2.2).

In sintesi, il tracciato del metanodotto in progetto si sviluppa in larghissima parte su depositi alluvionali e lacustri prevalentemente argillosi e limoso-argillosi nel settore settentrionale (a nord di Cecina) ed essenzialmente sabbiosi in quello meridionale (a sud di Cecina). In prossimità dell'alveo del Fiume Cecina e del Torrente Pescera aumenta la percentuale di sedimenti a granulometria grossolana, costituita anche da ghiaia e ghiaia in matrice sabbiosa. In parte minore, livelli a granulometria più grossolana sono presenti anche in prossimità dei Fiumi Fine e Cornia.

Le Formazioni di base affiorano solo in corrispondenza dei rilievi collinari (Formazione delle Argille Azzurre) e nella zona interna di San Vincenzo dove invece prevalgono le rocce Riolitiche