



COMUNE DI FIRENZE

Responsabile Unico del Procedimento:
Ing. Michele Mazzoni

Promotore:

Crematorio di Firenze S.p.A.

PROPOSTA DI PROGETTAZIONE COSTRUZIONE E GESTIONE DEL NUOVO TEMPIO CREMATORIO DI FIRENZE

(ai sensi dell'art.37 bis e ss. L.109/94)

PROGETTO ESECUTIVO

(Progetto Definitivo approvato dalla G.C. con Delibera n.2013/g/00308 del 25/9/2013)

OPERE DI FASE 1



Professionisti Associati: Dr. Geol. Lorenzo Cirri - Dr. Geol. Tamara Cantini Casserini
Via G. Silvani, 190 – 50125 FIRENZE; tel/fax: 0552049480. e-mail: sgffirenze@tin.it
P.IVA: 05020220488.

Dr. Geol. LORENZO CIRRI

Dr. Geol. TAMARA CANTINI CASSERINI

Elaborato:

DG.3.01a

Relazione geologica idrogeologica e sismica - 1

SCALA

COMMESSA

RESPONSABILE DI COMMESSA

DATA PRIMA EMISSIONE

LUGLIO 2015

REVISIONE

DATA

REDATTO

A

LUGLIO 2015

DR GEOL. L.CIRRI / DR GEOL. CASSERINI

Sistema Qualità certificato da:
N. 9175-HYDE
per tutti i processi aziendali



PROVINCIA DI FIRENZE

COMUNE DI FIRENZE

PROGETTO COSTRUZIONE E GESTIONE DEL NUOVO TEMPIO CREMATORIO DI FIRENZE
“VIABILITÀ”

COMMITTENTE: CREMATORIO FIRENZE SPA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
(AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008 E CIRCOLARE 02/02/09 DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI
LAVORI PUBBLICI)

DR. GEOL. LORENZO CIRRI

DR. GEOL. TAMARA CANTINI CASSERINI

INDICE

1	PREMESSA	1
2	VINCOLIO IDROGEOLOGICO	3
3	NORME TECNICHE GENERALI PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI AI SENSI DEL D.P.G.R. 32/R DEL 16.03.2010 MODIFICHE DEL REGOLAMENTO REGIONALE N.48/R DEL 08/08/2003	3
4	ANALISI ALTRE CARTOGRAFIE	4
	4.1 - <i>RISCHIO IDRAULICO (D.C.R. N° 72 DEL 24/07/07)</i>	4
	4.2 - <i>CLASSIFICAZIONE NELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE DI SUPPORTO ALLO S.U. VIGENTE</i>	4
	4.3 - <i>PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO (APPROVATO CON D.P.C.M IL 06 MAGGIO 2005). PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICOLOSITÀ DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE</i>	8
5	STUDIO GEOLOGICO	8
	5.1 - <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE</i>	8
	5.2 - <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE</i>	9
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	11
7	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	12
8	CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	13
	8.1 - <i>SONDAGGI GEOGNOSTICI</i>	13
	8.1.1 <i>Ricostruzione stratigrafica</i>	13
	8.1.2 <i>Analisi e prove geotecniche di laboratorio</i>	14
	8.2 - <i>SONDAGGI GEOGNOSTICI</i>	15
	8.2.1 <i>Ricostruzione stratigrafica</i>	15
	8.2.2 <i>Prove SPT</i>	16
	8.2.3 <i>Analisi e prove geotecniche di laboratorio</i>	17
	8.3 - <i>SAGGI GEOGNOSTICI CON ESCAVATORE</i>	17
	8.3.1 <i>Analisi e prove geotecniche di laboratorio</i>	17
	8.4 - <i>PROVE DI CARICO SU PIASTRA</i>	18
	8.4.1 <i>Risultato delle prove</i>	18
	8.5 - <i>PROVE DI COMPATTAZIONE PROCTOR</i>	19
	8.5.1 <i>Attrezzatura di prova</i>	20
	8.5.2 <i>Risultati della prova</i>	20
	8.6 - <i>PROVA DI PENETRAZIONE C.B.R. (CLAFORNIA BEARING RATIO)</i>	21
9	TRATTAMENTO A CALCE DEI TERRENI	21
10	SEZIONI GEOTECNICHE	23
11	METODOLOGIA SISMICA A RIFRAZIONE	24
	11.1 - <i>GENERALITÀ DELLA METODOLOGIA</i>	24

11.2 - UNITÀ DI ACQUISIZIONE DATI	25
11.3 - APPARATO DI RICEZIONE.....	25
11.4 - APPARATO DI ENERGIZZAZIONE	25
11.5 - ACQUISIZIONE DEI DATI.....	25
12 ELABORAZIONE DEI DATI.....	25
13 INTERPRETAZIONE DEI SISMOGRAMMI	26
13. INDAGINE SISMICA MASW	59
13.1 - INTRODUZIONE.....	59
13.2 - ACQUISIZIONE SISMOGRAMMI	59
13.3 - METODO.....	60
13.4 CONCLUSIONI	60
14. CONDIZIONI GEOLOGICHE IN AMPLIFICAZIONE SISMICA	64
14.1- LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	64
15. VERIFICHE STABILITA' SEZIONI STRADALI	65
16. STIMA DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	77
17. CONCLUSIONI.....	77

FIG.1 - COROGRAFIA

FIG.2 – UBICAZIONE AREA (estratta da Bing mappe)

FIG.3 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA TAV.4 DEL R.U.C.)

FIG.4 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (ESTRATTA DALLA TAV.5 DEL R.U.C.)

FIG.5 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (ESTRATTA DALLA TAV.6 DEL R.U.C.)

FIG.6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICLOSITA' DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE (ESTRATTO DA AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME ARNO STRALCIO N.40 aggiornato agosto 2014)

FIG.7 – CARTA GEOLOGICA (ESTRATTA DALLA SEZIONE 263160 DEL PROGETTO CARG)

FIG.8 – CARTA GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA CARTA GEOMORFOLOGICA DEL R.U.C.)

FIG.9 – STRALCIO UBICAZIONE INDAGINI

FIG.10 – SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO

FIG.11 – INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE - PROFILO VERTICALE VS

FIG.12 – MODELLI DI PROFILO VP - VS

FIG.13 – STRATIGRAFIA ONDE SH

FIG.14 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ($U_c < 3,5$)

FIG.15 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ($U_c > 3,5$)

ALLEGATO A1: Ubicazione indagini

ALLEGATO A2: Documentazione fotografica e stratigrafie sondaggi geognostici (anno 2005)

ALLEGATO A3: Certificati analisi di laboratorio (anno 2005)

ALLEGATO A4: Documentazione fotografica e stratigrafie sondaggi geognostici (anno 2014)

ALLEGATO A5: Certificati analisi di laboratorio - campioni di sondaggi geognostici (anno 2014)

ALLEGATO A6: Certificati analisi di laboratorio campioni di saggi geognostici con escavatore (anno 2014)

ALLEGATO A7: Certificati prove di carico su piastra (anno 2014)

ALLEGATO A8: Certificati prove di compattazione PROCTOR (anno 2014)

ALLEGATO A9: Certificati prove di penetrazione C.B.R. (anno 2014)

Nome file: 17GT15 – 1E rev.00

1 PREMESSA

Il presente lavoro ha lo scopo di stilare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, e geotecniche dei terreni che saranno interessati dalla costruzione della nuova viabilità di accesso al nuovo Tempio Crematorio del Comune di Firenze.

L'area d'intervento è localizzata lungo la via Bolognese nel Comune di Firenze. L'esatta ubicazione della zona d'intervento è osservabile in Fig.1 (Corografia) e Fig.2 (Ubicazione dell'area).

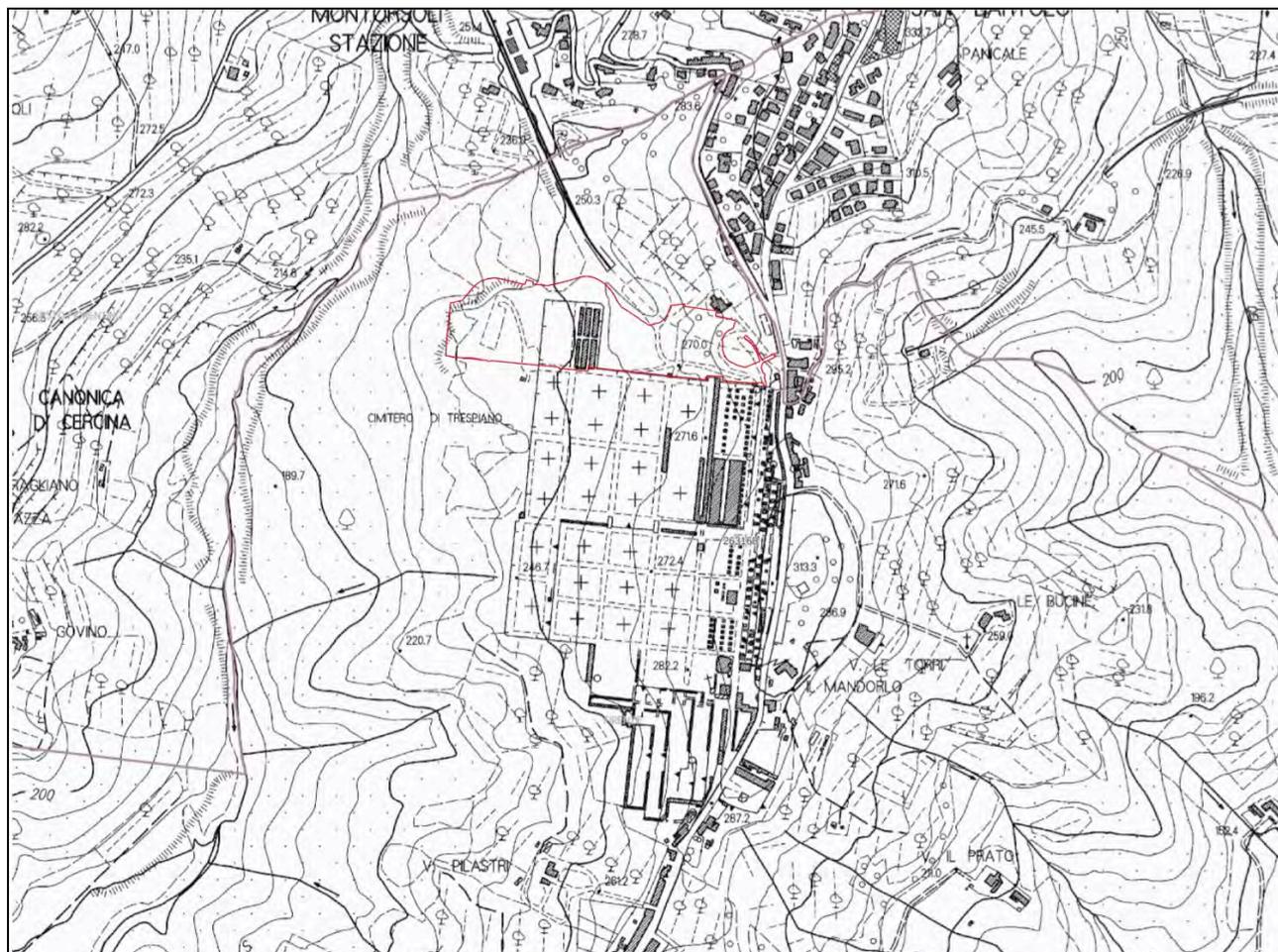


FIG.1 - COROGRAFIA



FIG.2 – UBICAZIONE DELL'AREA (estratta da Bing Mappe)

Per l'espletamento dell'incarico, è stato eseguito un rilevamento di campagna della zona di progetto e di un intorno ritenuto indicativo, allo scopo di determinare le caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche superficiali. Inoltre, si è provveduto alla consultazione della cartografia geologica allegata al P.S.C.

Lo studio è stato eseguito in ottemperanza a quanto specificato nelle Normative in questo momento vigenti:

- **Decreto Ministeriale 14/01/08** – Testo unitario – Norme tecniche per le costruzioni.
- **Circolare 02/02/09 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/08.
- **Deliberazione 11 maggio 2009, n. 387** - Regolamento di attuazione dell'art. 117 commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico. Approvazione ai fini dell'acquisizione dei pareri previsti dallo Statuto.
- **D.P.G.R. 9 luglio 2009, n. 36/R** - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.
- **D.M. LL. PP. dell'11/03/88** ("Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione") e la

relativa **Circ. Min. LL. PP. n°30483 del 24.09.88** (“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni applicative”).

- **L.R. n°65 del 10/11/2014** “Norme per il governo del territorio”
- **OPCM n. 3274 del 20/03/2003** “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e **OPCM n. 3519 del 28 /04/2006**.
- **DELIBERAZIONE 08 ottobre 2012, n. 878** “Riclassificazione sismica del territorio della Regione Toscana”.
- **Regio decreto n. 1265 del 27/07/1934** “Testo unico leggi sanitarie”
- **D.P.R. n.285 del 1990 art.57** “Regolamento di Polizia Mortuaria”

2 VINCOLIO IDROGEOLOGICO

Ai sensi della L. n°3267 del 30.12.33, del R.D. 1126/1926, artt.21-22, nonché del D.P.G.R. 32/R del 16/03/2010 modifiche al Regolamento Regionale n°48/R del 08.08.03 "Regolamento di attuazione della L.R. n°39 del 21.03.2000 "Legge Forestale della Toscana", l'area di intervento RICADE in zona soggetta a vincolo.

3 NORME TECNICHE GENERALI PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI AI SENSI DEL D.P.G.R. 32/R DEL 16.03.2010 MODIFICHE DEL REGOLAMENTO REGIONALE N.48/R DEL 08/08/2003

- **ART.74 - REGIMAZIONE DELLE ACQUE:** Nei terreni vincolati è fatto obbligo di assicurare che il deflusso delle acque superficiali avvenga senza determinare fenomeni di erosione o di ristagno; i lavori non dovranno creare ostacoli al naturale deflusso delle acque meteoriche che non dovranno creare effetti di ristagno ed erosione nei terreni oggetto d'intervento; durante le fasi di cantiere, e soprattutto in fase di scavo, le acque provenienti dai terreni posti a monte, dovranno essere allontanate tramite naturali fossetti senza determinare fenomeni di erosione e ristagno;
- **ART.75 – INDAGINI GEOLOGICHE:** Le verifiche di stabilità delle sezioni stradali delle zone ritenute di maggiore interesse, sono riportate nel paragrafo 15. Gli scavi, saranno comunque realizzati senza provocare danni e/o deviazioni a livello idrogeologico. Durante l'esecuzione dei lavori, sarà accertata in loco la rispondenza delle indagini geologiche e delle previsioni di progetto, con lo stato effettivo dei terreni, e adottato di conseguenza ogni altro accorgimento necessario ad assicurare la stabilità dei terreni stessi e la regimazione delle acque.
- **ART.76 – SCAVI E RIPORTI DI TERRENO:** Vista l'importanza degli interventi da realizzare, si è ritenuto opportuno eseguire le verifiche di stabilità delle zone di sterro e di riporto di maggior importanza. Le stesse sono trattate nel paragrafo 15. Durante la realizzazione dei lavori e opere che comportino scavi o riporti di terreno non devono essere create condizioni di rischio per il verificarsi di smottamenti, franamenti o altri movimenti gravitativi. Gli scavi, devono essere realizzati in stagioni a minimo rischio di piogge e procedendo per stati di avanzamento tali da consentire la rapida ricolmatura degli stessi o il consolidamento dei fronti con opere provvisorie o definitive di contenimento. Se in fase esecutiva sopraggiungessero condizioni di rischio per la stabilità a breve termine, gli sbancamenti devono procedere per piccoli settori ed essere eseguiti dall'immediata realizzazione di opere di contenimento. Si può procedere a successivi scavi solo dopo che queste ultime diano garanzia di stabilità. I riporti di terreno devono essere eseguiti in strati, assicurando il graduale compattamento dei materiali terrosi, dai quali devono essere separate le frazioni litoidi di maggiori dimensioni.

- **ART.77 – MATERIALI DI RISULTA:** I materiali di risulta derivanti dagli scavi prodotti per la realizzazione degli interventi previsti, saranno convogliati in loco per la risistemazione dell'area oggetto di lavori, senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto o pendenza dei terreni, evitando in tal modo, che si verificino fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. I materiali terrosi o lapidei eccedenti la risistemazione in loco, devono essere riutilizzati in terreni, dove il riporto degli stessi sia autorizzato o consentito ai fini del vincolo idrogeologico. I materiali lapidei di maggiori dimensioni devono essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento e assestamento di questi ultimi. I materiali lapidei possono essere reimpiegati in loco per la sistemazione dell'area oggetto di lavori purché gli stessi siano depositati in condizioni di stabilità e in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali. Durante le fasi di cantiere eventuali depositi temporanei di materiali di risulta devono essere sistemati in maniera tale da evitare fenomeni erosivi e/o di ristagno delle acque. Solo la quantità di 1780 mc sul complessivo scavato, sarà allontanata come rifiuto.

4 ANALISI ALTRE CARTOGRAFIE

4.1 - RISCHIO IDRAULICO (D.C.R. N° 72 DEL 24/07/07)

L'area d'intervento è posta in zona collinare, lontana da corsi d'acqua censiti.

4.2 - CLASSIFICAZIONE NELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE DI SUPPORTO ALLO S.U. VIGENTE

Nella cartografia estratta dal R.U. adottato nel 2014, l'area interessata dal progetto ricade nelle seguenti perimetrazioni:

√ **Pericolosità geomorfologica** (fig.3): l'area di studio ricade in classe di pericolosità geologica G2 (pericolosità media), e solo una lingua ricade nella perimetrazione della pericolosità geologica G3 (pericolosità elevata).

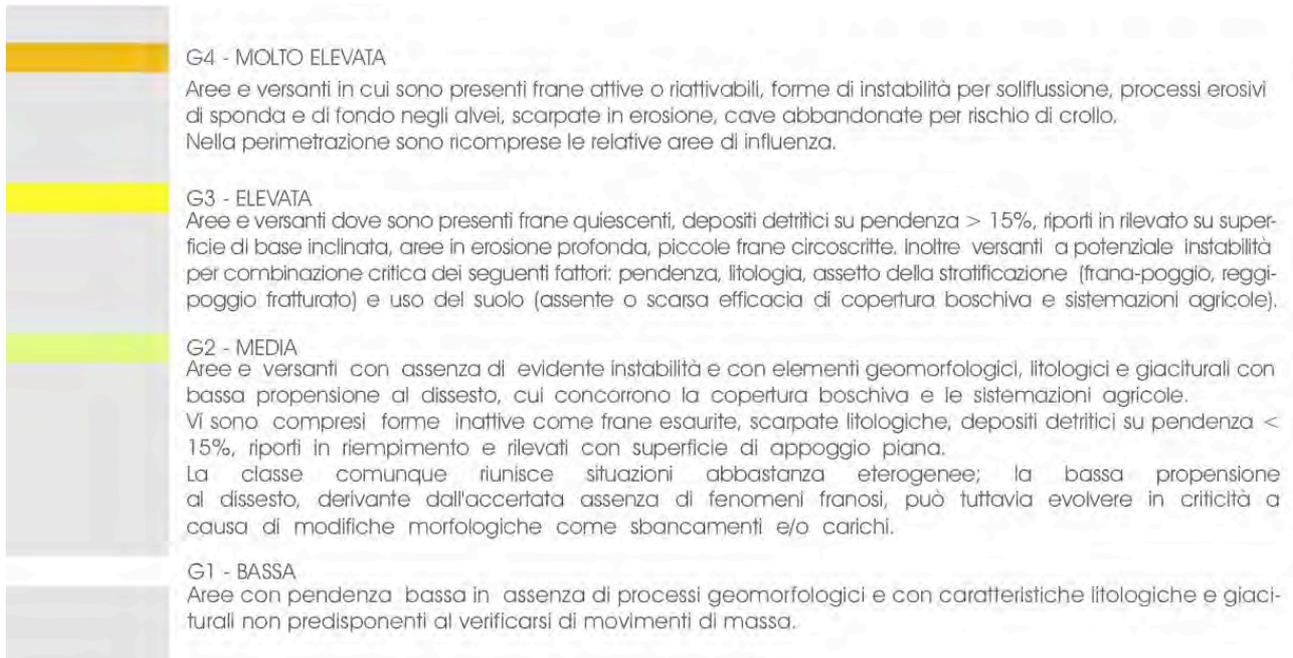
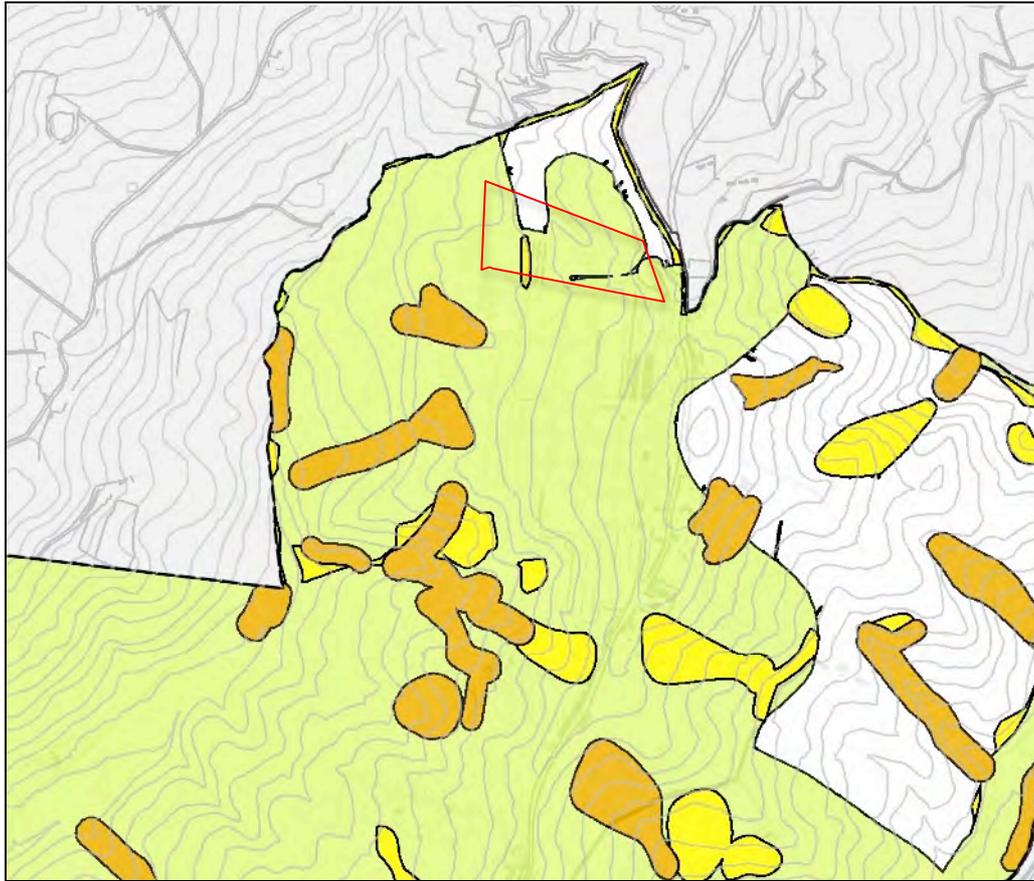


FIG.3 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA TAV.4 DEL R.U.C.)

✓ **Pericolosità idraulica** (fig.4): l'area di studio ricade in classe di pericolosità idraulica I1 (pericolosità bassa).

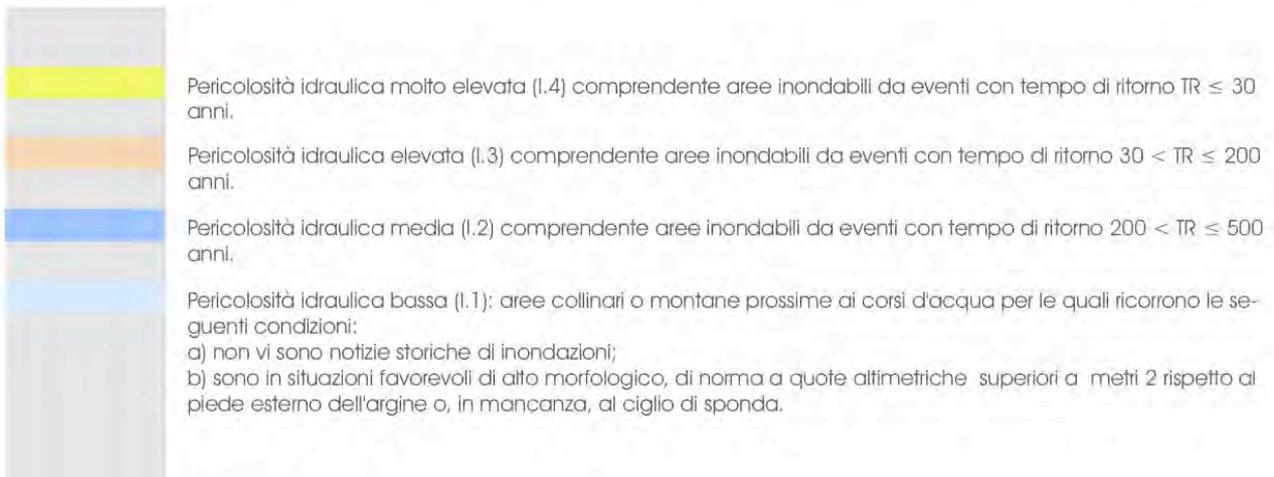
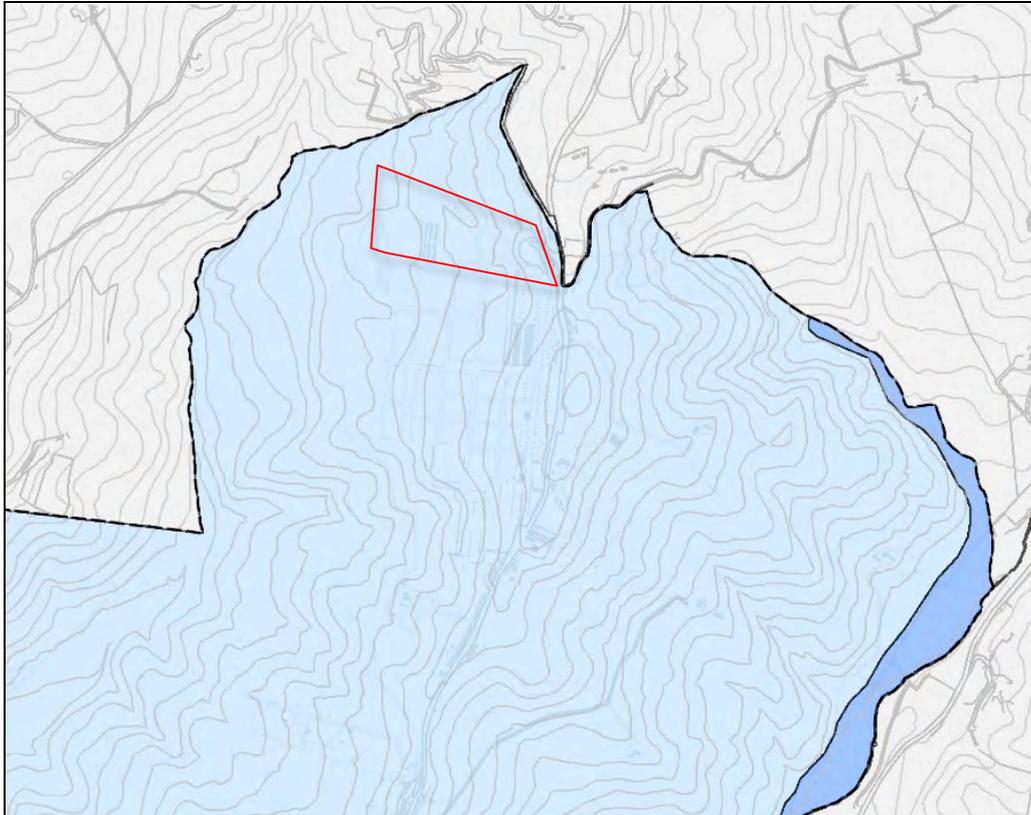
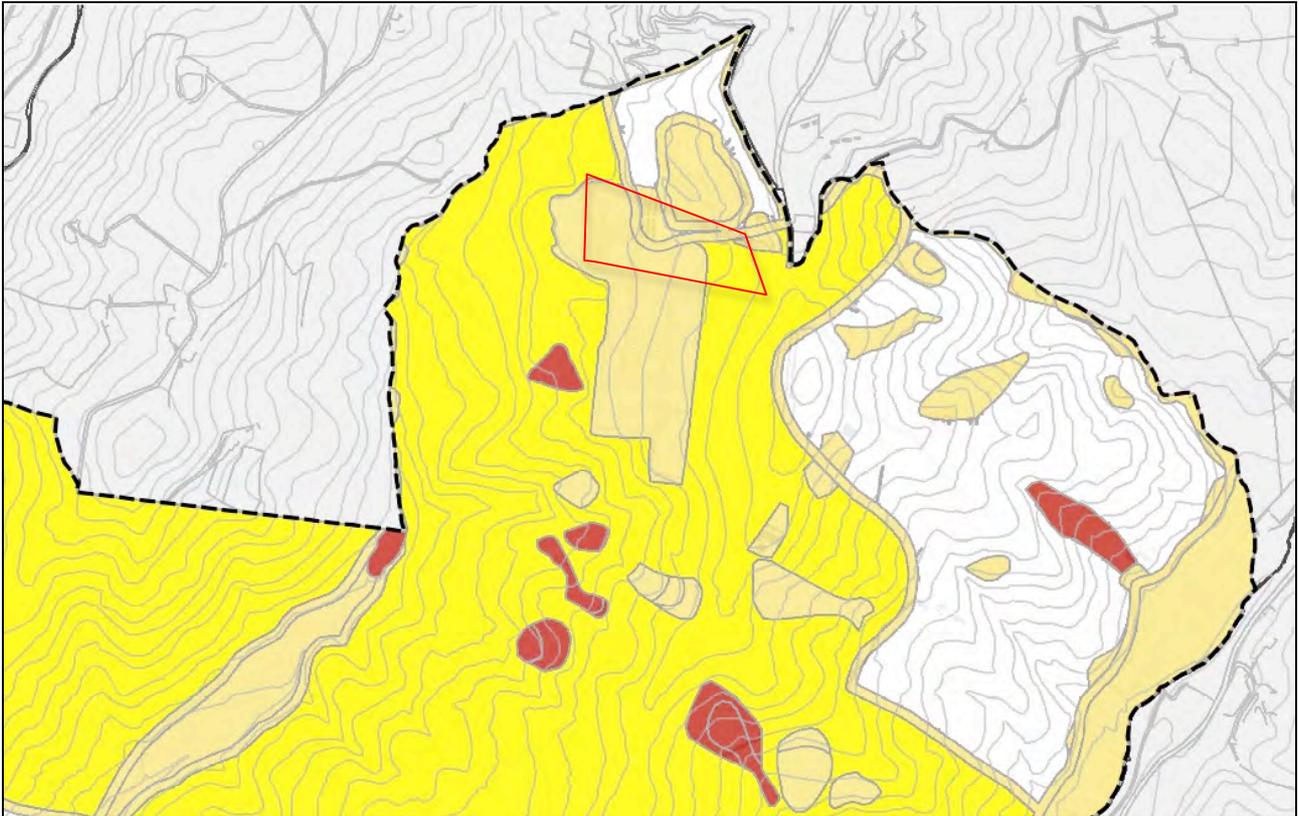


FIG.4 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (ESTRATTA DALLA TAV.5 DEL R.U.C.)

✓ **Pericolosità sismica** (fig.5): l'area di studio ricade in classe di pericolosità sismica S3 (pericolosità sismica locale elevata) e in parte in classe di pericolosità S2 (pericolosità sismica locale media).



S.4	Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4): aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità attivi (1) e che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni soggetti a liquefazione dinamica (5) in comuni a media-elevata sismicità (zone 2).
S.3	Pericolosità sismica locale elevata (S.3, S.3* e S.3**):
S3*	aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità quiescenti (2A) e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana (2B) per le quali non si escludono fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi (4); terreni soggetti a liquefazione dinamica (5) in comuni a media-elevata sismicità (zone 3s); zone con possibile amplificazione sismica connesse a zone di bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante (8); zone con possibile amplificazione per effetti stratigrafici (9,10,11) in comuni a media-elevata sismicità (zone 2 e 3s); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisiomeccaniche significativamente diverse (12); presenza di faglie e/o contatti tettonici (13). Queste aree ricomprendono le sottozone S3* con $1,65 < Fa \leq 1,7$ e S3** con $Fa > 1,7$.
S3**	
S.2	Pericolosità sismica locale media (S.2): zone con fenomeni franosi inattivi (3); aree in cui è possibile amplificazione dovuta ad effetti topografici (6-7); zone con possibile amplificazione stratigrafica (9, 10, 11) in comuni a media sismicità (zone 3).
S.1	Pericolosità sismica locale bassa (S.1): aree caratterizzate dalla presenza di formazioni litoidi e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

FIG.5 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (ESTRATTA DALLA TAV.6 DEL R.U.C.)

4.3 - PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO (APPROVATO CON D.P.C.M IL 06 MAGGIO 2005). PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICOLOSITÀ DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE

A livello di sintesi in scala 1:25.000, vengono riportate l'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità derivante da processi geomorfologici di versante ottenuta sulla base dei criteri geomorfologici, litologici ed inventariali. In particolare, l'area di nostro interesse, è perimetrata in classe P.F.2 (pericolosità media)(fig.6).

P.F.2 – pericolosità media: Si tratta di aree apparentemente stabili, interessate da litologie con caratteri intrinsecamente sfavorevoli alla stabilità dei versanti (art.9);

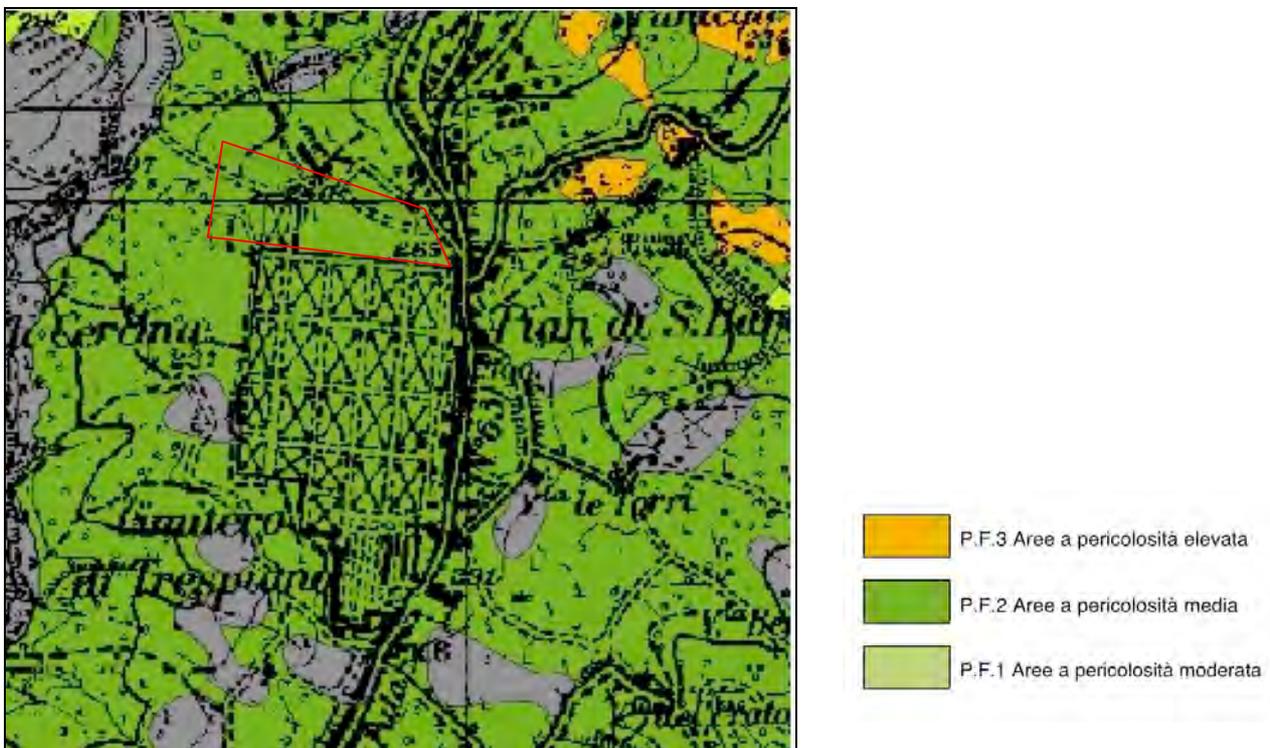


FIG.6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICLOSITA' DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE (ESTRATTO DA AUTORITY DI BACINO DEL FIUME ARNO STRALCIO N.40 aggiornato agosto 2014)

5 STUDIO GEOLOGICO

5.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame è compresa nell'ampio bacino sedimentario del Medio Valdarno, caratterizzato da una forma allungata con asse maggiore orientato NW-SE. Tale unità paleogeografica è costituita da uno spessore variabile di depositi fluvio-lacustri non litificati, sedimentatisi entro una fossa tettonica, la cui formazione è connessa con le fasi distensive post-parossistiche dell'orogenesi appenninica miocenica, a partire dal Pliocene superiore.

Questo bacino lacustre presenta la sua profondità massima nella zona tra Campi Bisenzio e Calenzano (500-550 mt); le profondità minime sono presenti invece nella zona di Firenze (50 mt nel centro cittadino).

L'emissario del lago era probabilmente ubicato alla stretta della Gonfolina: i principali immissari erano costituiti da una paleo-Ema nella conca di Firenze, dall'Ombrone all'estremo opposto del bacino e dal Bisenzio nella sua parte centrale. Il progressivo abbassamento del fondo del lago era compensato dal trasporto solido dei corsi d'acqua, in considerazione del fatto che l'area appenninica di provenienza era in sollevamento, quindi in accentuata erosione.

Il fondo del bacino si mostrò presto di forma asimmetrica, incernierato in corrispondenza del margine meridionale, quindi con maggiore profondità verso il margine settentrionale: ciò dipendeva dall'azione della faglia normale che lo delimitava verso NE.

Ulteriori faglie, trasversali rispetto al suo asse maggiore e localizzate lungo l'asse Castello-Scandicci, interessarono il substrato pre-lacustre causando il sollevamento di circa 150-200 mt. della conca di Firenze rispetto al resto del bacino, che così si estinse precocemente.

In questa piana così prosciugata s'instaurò un reticolo idrografico il cui corso principale sfociava nel lago residuo in corrispondenza delle Cascine, formando una pseudo-conoide che si estese verso Osmannoro e Campi Bisenzio. Ciò causò un raccorciamento dell'area occupata dal lago, che veniva ad essere delimitato a Sud-Est dall'allineamento Castello-Scandicci: nel bacino residuo di Prato-Pistoia, invece, la deposizione lacustre continuò senza soluzione di continuità, sino al suo totale colmamento.

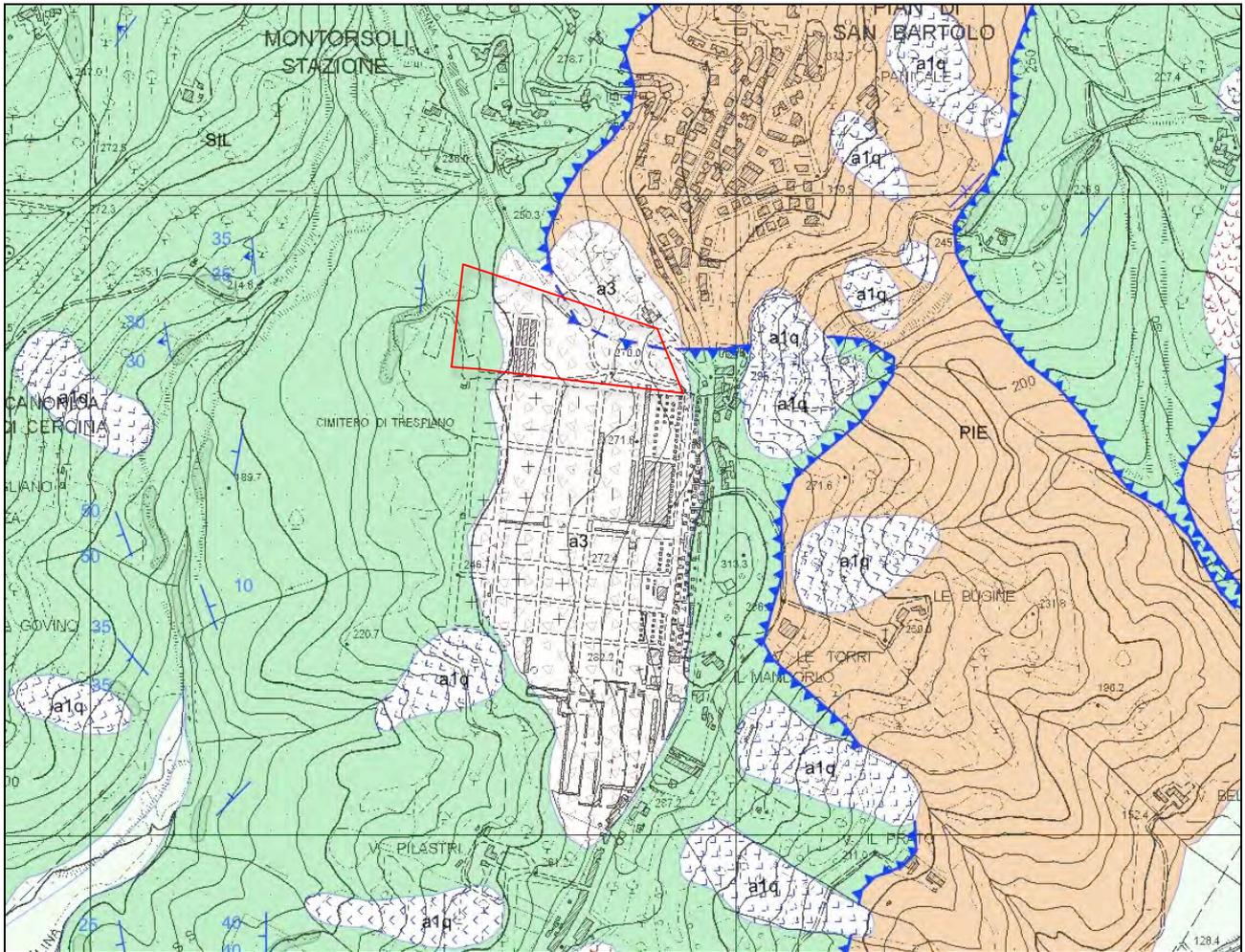
Nella successiva fase evolutiva si instaurò un reticolo idrografico facente capo all'Arno che, con successivi cicli d'erosione e deposizione, rimaneggiò l'originaria superficie depositandovi una spessa coltre di sedimenti sciolti. Questi, provenienti essenzialmente dalle sponde appenniniche settentrionali, erano granulometricamente più grossolani in prossimità delle principali aste fluviali, e decisamente più fini nelle aree più distali.

L'ultima fase evolutiva vide infine l'instaurarsi di estese zone palustri ai margini della pianura neoformata ed in prossimità dei corsi d'acqua principali, alcune delle quali perdurarono sino in epoca storica. In tali ambienti, sedimentologicamente tranquilli, si depositarono sedimenti fini con intercalazioni torbose: alcune paludi sarebbero perdurate sino a oggi se non fossero intervenuti massicci interventi di bonifica idraulica, iniziati già in epoca etrusca e poi romana.

5.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

Dalla consultazione della cartografia geologica, prodotta per il Progetto CARG della Regione Toscana sezione 263160 (fig.7), l'intervento è collocato su terreni costituiti da coltri detritiche indifferenziate, sotto alle quali si ritrovano, a monte terreni appartenenti alla Formazione delle **Marne di Pievelago (PIE)** e a valle terreni riconducibili alla **Formazione di Sillano (SIL)**. La Formazione di Sillano, è costituita da argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcareniti, finemente stratificate, marne e calcari marnosi grigio chiari, costituiti da sabbie argillose con orizzonti e lenti di sabbie e conglomerati; le Marne di Pievelago, sono marne siltose grigio – avana; marne argillitiche di colore giallo oca, leggermente fissili.

Dai sondaggi geognostici effettuati, si rileva la presenza di materiali a netta componente limo argillosa inglobante abbondante quantità di materiale litoide (di prevalente origine calcarea e calcareo – marnosa) distinto in pezzature comprese tra 3 e 10 cm. Tali materiali si possono ragionevolmente ricollegare all'alterazione delle formazioni sopra citate.



UNITA' TETTONICHE LIGURI			
UNITA' DI M. MORELLO			
	PSC FORMAZIONE DELLA PESCHINA Eocene inf. - med.		Contatto stratigrafico
	MLL FORMAZIONE DI M. MORELLO Eocene		Contatto stratigrafico inconforme
	SIL FORMAZIONE DI SILLANO Cretaceo sup.-Eocene inf.		Faglia
	SIL1 FORMAZIONE DI SILLANO Membro di Gualdo Cretaceo sup.-Eocene inf.		Faglia diretta
			Sovrascorrimento principale
			Sovrascorrimento di importanza minore
UNITA' TETTONICHE SUB-LIGURI			
UNITA' TETTONICA DI CANETOLO			Contatto con area non rilevabile
	AMS ARENARIE DI M. SENARIO Eocene med. - inf.		Stratificazione diritta
UNITA' TETTONICHE TOSCANE			
FALDA TOSCANA			Stratificazione rovesciata
	PIE Marne di Pievelago Oligocene sup.		Stratificazione a polarità sconosciuta

FIG.7 – CARTA GEOLOGICA (ESTRATTA DALLA SEZIONE 263160 DEL PROGETTO CARG)

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area è posta in zona collinare a una quota indicativa compresa tra i 240 e i 250 metri s.l.m., a sud dell'abitato di Pian di San Bartolo.

La collina interessata è caratterizzata da pendenze variabili tra il 10 ed il 25%.

In fase di sopralluogo, a conferma di quanto riportato nella carta geomorfologica allegata al R.U.C., non sono state rilevate forme e processi che denotino instabilità dell'area.

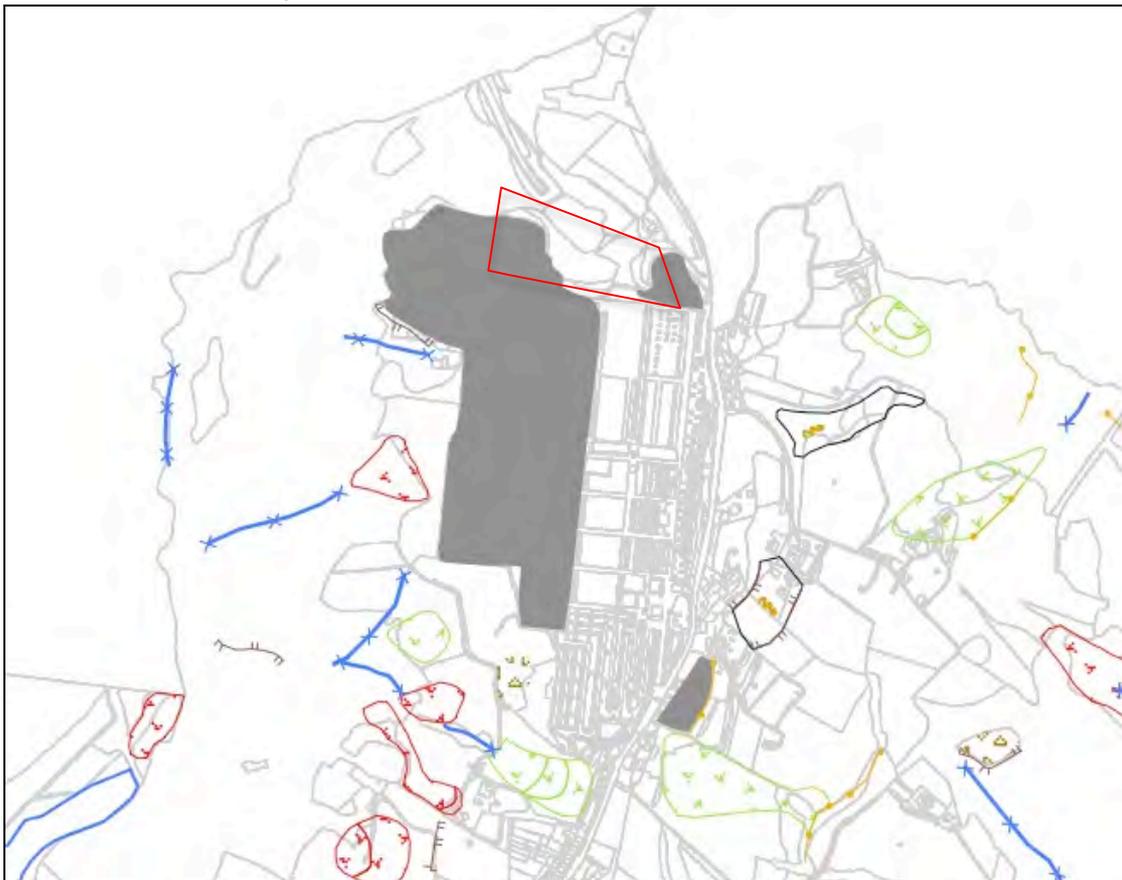




FIG.8 – CARTA GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA CARTA GEOMORFOLOGICA DEL R.U.C.)

7 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il drenaggio del versante occidentale è compiuto dal Torrente Terzollina che scorre a circa 500 metri dall'area di progetto, a una quota di circa 200 mt s.l.m., mentre, il drenaggio della parte orientale della collina è espletato dal Torrente Mugnone. Entrambi sono aste di primaria importanza essendo l'area di progetto la zona di spartiacque fra i due bacini.

La valutazione idrogeologica di una roccia, si basa su un parametro, la permeabilità, che rappresenta la maggiore o minore conduttività dell'ammasso roccioso nei confronti di un fluido; essa è definita "primaria" se è dovuta alla presenza di vuoti e interstizi tra i granuli di un terreno sciolto, "secondaria" se è dovuta alla presenza di fratture nelle rocce lapidee.

Con riferimento alla circolazione idrica sotterranea, all'interno della coltre di materiale incoerente la permeabilità è di tipo primario, poiché direttamente proporzionale alla percentuale dei vuoti intercomunicanti presenti all'interno dei depositi stessi. Nei livelli prevalentemente limoso - argillosi la permeabilità è molto bassa o addirittura assente.

In genere si può, invece, avere intensa circolazione idrica superficiale o ipodermica assai disorganizzata, riscontrabile in corrispondenza di orizzonti a maggiore prevalenza sabbioso - ghiaiosa.

Da un punto di vista idrogeologico, la formazione di Sillano, affiorante sotto la coltre di detrito indifferenziato superficiale, presenta una certa eterogeneità litologica, che si riflette anche sulle caratteristiche di permeabilità. In particolare le argilliti e le marne possono essere considerate in pratica impermeabili (termini acquicludi): in tali materiali le componenti orizzontali e verticali del moto dell'acqua sono trascurabili; l'acqua può essere presente sotto forma di ritenzione, non soggetta a gravità.

I calcari marnosi possono invece presentare permeabilità secondaria in corrispondenza di fasce rocciose intensamente fratturate (termini acquitardi): in essi la componente orizzontale del moto è pressoché trascurabile; si possono invece verificare importanti movimenti verticali.

Tali calcari si possono quindi configurare come "acquifero fratturato", caratterizzato da "doppia porosità". La circolazione principale avviene cioè nel reticolo esistente di macro-fratture: poiché queste occupano un volume trascurabile dell'ammasso, anche l'immagazzinamento idrico è trascurabile. Esso è invece a carico della micro-fratturazione dell'ammasso roccioso, entro cui si sviluppa una circolazione più lenta ma più estesa, con caratteristiche simili a quella dei mezzi porosi.

Da un punto di vista idrogeologico, quanto detto per i calcari, è da ritenersi valido anche per la Formazione delle Marne di Pievelago.

8 CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Per esporre una corretta caratterizzazione geotecnica e litologica dei terreni interessati, sono state prese in considerazione le indagini di dettaglio eseguite nell'anno 2005 e poi integrate nell'anno 2014. In fig. 9 si riporta uno stralcio dell'ubicazione delle indagini eseguite negli anni. In allegato A1 si riporta la planimetria completa delle suddette.

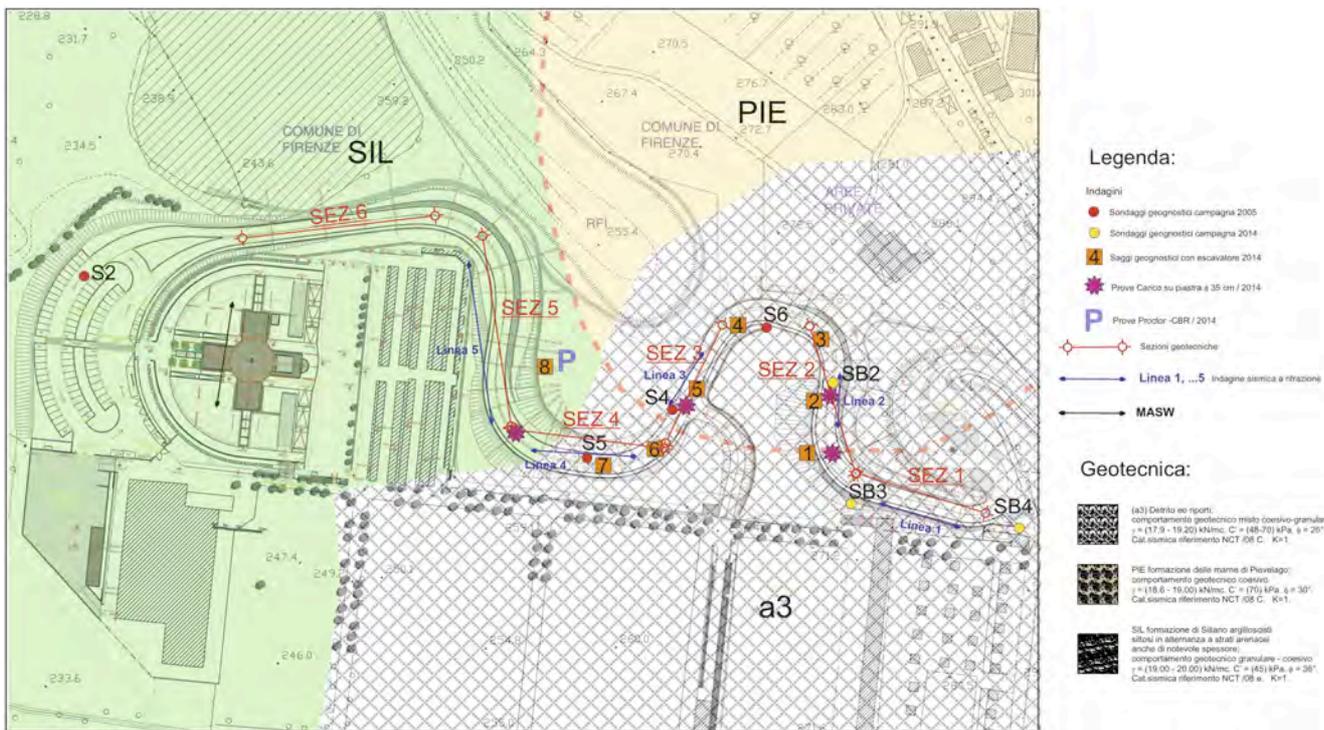


FIG.9 – STRALCIO UBICAZIONE INDAGINI

INDAGINI ANNO 2005

8.1 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti quattro sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a profondità di 10 mt (S2, S4, S5, S6) dal locale p.c., durante i quali sono stati prelevati campioni indisturbati, sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio (paragrafo 8.1.2).

Il materiale prelevato durante la perforazione è stato poi riposto in cassette catalogatrici in modo tale da permettere una ricostruzione stratigrafica corretta e dettagliata dei terreni attraversati.

8.1.1 Ricostruzione stratigrafica

In Allegato A2, si riporta la documentazione stratigrafica e fotografica dei sondaggi geognostici eseguiti.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica della stratigrafia incontrata in ogni sondaggio geognostico.

SONDAGGIO S2

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0.0 – 2.50	Terreno di riporto composto da limo argilloso marrone con livelli di casti arenacei tra 1.10 e 1.30 mt
2.50 – 3.0	Terreno di riporto limo argilloso con laterizi
3.0 – 4.60	Argilla limosa di colore marrone scuro con clasti calcareo – arenacei
4.60 – 10.0	Argilla limosa di colore nocciola con concrezioni calcaree

SONDAGGIO S4

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0.0 – 0.50	Terreno di riporto
0.50 – 2.30	Limo argilloso marrone scuro con striature grigie
2.30 – 5.50	Argilla limosa marrone con concrezioni calcaree la cui concentrazione aumenta con la profondità
5.50 – 6.60	Argilla compatta con concrezioni calcaree
6.60 – 9.10	Argilla grigia con concrezioni calcaree
9.10 – 10.0	Argilla di colore marrone molto compatta con concrezioni calcaree centimetriche

SONDAGGIO S5

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0.0 – 0.40	Terreno di riporto
0.40 – 0.80	Argilla compatta marrone con clasti calcarei
0.80 – 2.40	Blocchi di arenaria e calcareniti
2.40 – 3.80	Limo argilloso color nocciola
3.80 – 7.10	Argilla limosa con livelli più compatti ed inclusi calcarei
7.10 – 10.0	Argilla limosa poco compatta di colore marrone con ciottoli

SONDAGGIO S6

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0.0 – 2.30	Terreno di riporto in prevalenza argilloso, di colore bruno con clasti centimetrici
2.30 – 2.70	Ciottoli calcarenitici in matrice argillosa
2.70 – 3.00	Argilla grigio – verde con inclusi
3.00 – 10.0	Argilla compatta color nocciola con inclusi calcarei

8.1.2 *Analisi e prove geotecniche di laboratorio*

Durante le fasi di perforazione è stato prelevato un campione rappresentativo, sottoposto ad analisi e prove geotecniche di laboratorio; queste ultime sono state finalizzate alla determinazione delle proprietà indice, dei parametri caratteristici di resistenza al taglio. Tali prove sono state eseguite nel Laboratorio PANGEO autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti D.P.R. 380/01, art.59 – Circolare n.349/99.

Nella tabella sottostante sono riportati i parametri ottenuti:

In Allegato A3, si riportano i certificati dell'analisi di laboratorio.

			S4C1
Profondità di prelievo (m da p.c)			2.5-3.1
PARAMETRI FISICI			
Peso di volume	γ	kN/mc	1.9
Contenuto di acqua	w	%	12
ANALISI GRANULOMETRICA			
Ghiaia (>60 mm)	G	%	11.2
Sabbia (2-0.060 mm)	S	%	12.5
Limo (0.060 – 0.002 mm) e Argilla (<0.002 mm)	LA	%	76.4
PROVA DI TAGLIO CONSOLIDATO DRENATO			
Coesione drenata	C'	kN/mq	63.5
Angolo di attrito interno	ϕ	°	30.7

INDAGINI ANNO 2014

8.2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti tre sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a profondità di 10 mt. (SB2), e 8 mt (SB3 e SB4) dal locale p.c., durante i quali sono stati prelevati campioni indisturbati, sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio (paragrafo 8.2.3).

Il materiale prelevato durante la perforazione è stato poi riposto in cassette catalogatrici in modo tale da permettere una ricostruzione stratigrafica corretta e dettagliata dei terreni attraversati.

8.2.1 Ricostruzione stratigrafica

In Allegato A4, si riporta la documentazione stratigrafica e fotografica dei sondaggi geognostici eseguiti.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica della stratigrafia incontrata in ogni sondaggio geognostico.

SONDAGGIO SB2

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0,00 – 2,60	Terreno di riporto limoso argilloso con rari frammenti di manufatti lapidei
2,60 – 10,00	Terreno limo argilloso di color nocciola plastico

SONDAGGIO SB3

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0,00 – 2,50	Terreno di riporto limoso argilloso con rari frammenti di manufatti lapidei
2,50 – 8,00	Terreno limo argilloso di color nocciola plastico

SONDAGGIO SB4

<i>Profondità mt da p.c.</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0,00 – 3,70	Terreno di riporto limoso argilloso con rari frammenti di manufatti lapidei
3,70 – 8,00	Terreno limo argilloso di color nocciola plastico

8.2.2 Prove SPT

Nei fori di sondaggio sono state eseguite delle prove SPT (Standard Penetration Test) utilizzando una batteria di aste con diametro $\phi = 50$ mm collegata a una punta conica di forma e dimensioni normalizzate. Il sistema di percussione è costituito da un maglio di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 76 cm.

I risultati delle prove sono riportati nella tabella seguente:

<i>sondaggio</i>	<i>profondità (m)</i>	<i>numero colpi</i>	<i>N_{spt}</i>
SB2	3,0 – 3,45	5/6/7	13
SB2	7,0 – 7,45	11/15/17	32
SB2	9,0 – 9,45	12/15/14	29
SB3	2,50 -2,95	9/8/13	21
SB3	6,50 – 6,95	9/16/18	34

In linea generale, le prove S.P.T. eseguite nei materiali a granulometria grossolana quali sabbie, ghiaie e ciottoli sovente associati ad una matrice argilloso-limosa compatta, presentano buoni valori di resistenza evidenziati da valori di $N_{spt} > 30$ e, in taluni casi, dal rifiuto all'avanzamento mentre, valori inferiori si riconoscono litologie di terreni limosi e /o limo sabbiosi.

8.2.3 Analisi e prove geotecniche di laboratorio

Durante le fasi di perforazione sono stati prelevati due campioni indisturbati, che sono stati sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio; queste ultime sono state finalizzate alla determinazione delle proprietà indice, dei parametri di resistenza a compressione. Tali prove sono state eseguite nel Laboratorio ELLETI autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti D.P.R. 380/01, art.59 – Circolare n.349/99.

Nella tabella sottostante sono riportati i parametri ottenuti:

				SB4C1
Profondità di prelievo (m da p.c)				4,5 – 5,0
PARAMETRI FISICI				
Peso di volume	γ	kN/mc	19,2	
Contenuto di acqua	w	%	14,5	
PROVA DI TAGLIO CONSOLIDATO DRENATO				
Angolo di attrito interno	ϕ	°	22	
Coesione drenata	c	kPa	3	

In Allegato A5, si riportano i certificati dell'analisi di laboratorio.

8.3 - SAGGI GEOGNOSTICI CON ESCAVATORE

Sono stati eseguiti otto saggi geognostici con escavatore spinti fino alla profondità di 2 mt da p.c. locale, durante i quali sono stati prelevati campioni indisturbati, sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio (paragrafo 8.3.1).

8.3.1 Analisi e prove geotecniche di laboratorio

I campioni indisturbati prelevati, sono stati sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio; queste ultime sono state finalizzate alla determinazione delle proprietà indice e dei parametri di resistenza al taglio. Tali prove sono state eseguite nel Laboratorio GEOTECNICO DOTT. ANTONIO MUCCHI autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti D.P.R. 380/01, art.59 – Circolare n.349/99.

Nella tabella sottostante sono riportati i parametri ottenuti:

			S1C1	S3C1	S5C1	S7C1
Profondità di prelievo (m da p.c)			0,5 – 1,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	0,5 – 1,0
PARAMETRI FISICI						
Peso di volume	γ	kN/mc	18,69	19,24	18,52	17,90
Contenuto di acqua	w	%	8,6	11,3	19,8	12,8
PROVA DI TAGLIO CONSOLIDATO DRENATO						

Angolo di attrito interno	ϕ	°	27	28	28	26
Coesione drenata	c	kPa	51,68	47,96	70,02	18,78

In Allegato A6, si riportano i certificati dell'analisi di laboratorio.

8.4 - PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Per verificare un controllo sui terreni naturali di sottofondo, sono state eseguite due prove di carico su piastra di tipo tradizionale.

Le stesse, ubicate come in fig.9, sono state eseguite in data 11/07/2014 dalla Ditta IGETECMA sas.

La prova di Carico su piastra è utilizzata per determinare il Modulo di Deformazione ME (o Md); questo rappresenta una misura convenzionale della capacità portante di una superficie ed è espresso in KPa dalla seguente relazione:

$$M_E = \frac{\Delta p}{\Delta s} D$$

Δp = incremento di carico unitario trasmesso dalla piastra alla superficie caricata (KPa)

Δs = corrispondente incremento di cedimento della superficie caricata (mm).

D = diametro della piastra (mm).

Tale prova è regolata dalla norma svizzera SNV-670317(1959) modificata dalla SN-670317a (1981); questa norma è la più diffusa in Italia nelle applicazioni geotecniche (specifiche SGI, capitolato Soc. Autostrade, etc.), nonostante la presenza della normativa nazionale C.N.R. A.I.N°9-1967 (di prossimo aggiornamento). L'esecuzione di tali prove è condizionata dalla disponibilità di un mezzo di contrasto (autocarro, scavatore, o altro mezzo di peso pari ad almeno 5.000 Kg).

L'apparecchiatura utilizzata, progettata e realizzata in proprio, è costituita da una terna di piastre di differenti dimensioni sovrapponibili a proposito delle differenti esigenze di cantiere, sulle quali è posta una struttura in acciaio che consente l'alloggiamento di un martinetto idraulico con il quale, attraverso un adeguato mezzo di contrasto, si trasmette la pressione alle piastre sottostanti.

Gli abbassamenti delle piastre in corrispondenza delle pressioni applicate sono misurati tramite un sistema di riferimento costituito da un treppiede orientabile sul quale sono alloggiati tre micrometri.

Dopo aver posato la piastra su una superficie piana e orizzontale, si fissa il dispositivo per la misura del cedimento al centro della piastra e il pistone di carico. I piedi del telaio di riferimento dovranno essere posti a una distanza tale da evitare ogni reciproca influenza.

Per assicurare un appoggio uniforme della piastra, è applicato un carico preliminare di 20 KN/mq che include il peso dell'apparecchiatura.

Dopo inizia la prova vera e propria con cicli di scarico e carico durante i quali non si dovrà apportare alcuna modifica al dispositivo di prova.

Per i risultati di Ns. interesse sono stati eseguiti solamente i cicli di carico.

8.4.1 Risultato delle prove

Dall'analisi dei certificati allegati in allegato A7. Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

PROVA P1 – sez.12

Pressione (N/mm ²)	Modulo di deformazione (Md)	Cedimento (mm)
0,05 – 0,15	6,83	4,31
0,15 – 0,25	8,70	3,38

PROVA P2 – sez.18

Pressione (N/mm ²)	Modulo di deformazione (Md)	Cedimento (mm)
0,05 – 0,15	5,98	4,92
0,15 – 0,25	4,08	7,21

PROVA P3 – sez.41

Pressione (N/mm ²)	Modulo di deformazione (Md)	Cedimento (mm)
0,05 – 0,15	11,27	2,61
0,15 – 0,25	8,78	3,35

PROVA P4 – sez.58

Pressione (N/mm ²)	Modulo di deformazione (Md)	Cedimento (mm)
0,05 – 0,15	16,72	1,76
0,15 – 0,25	18,16	1,62

8.5 - PROVE DI COMPATTAZIONE PROCTOR

Tra le prove di tipo meccanico riveste particolare importanza il costipamento che consiste nell'aumentare artificialmente la densità del terreno, impiegato come materiale per la costruzione di rilevati stradali e ferroviari, argini, dighe in terra, ecc., attraverso l'applicazione di energia meccanica.

L'obiettivo del costipamento è il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno, che comporta, in generale, i seguenti vantaggi:

- riduzione della compressibilità (e quindi dei cedimenti),
- incremento della resistenza (e quindi della stabilità e della capacità portante),
- riduzione degli effetti che possono essere prodotti dal gelo, da fenomeni di imbibizione o di ritiro (legati alla quantità di vuoti presenti).

Il primo ad occuparsi di questo fenomeno è stato l'ingegnere americano Proctor (1930), il quale ha evidenziato che il valore della densità secca alla fine del costipamento, $\rho_d = \gamma_d/g$, è funzione di tre variabili:

- il tipo di terreno (granulometria, composizione mineralogica, ecc.),
- il contenuto d'acqua, w
- l'energia di costipamento.

8.5.1 Attrezzatura di prova

L'attrezzatura per le prove Proctor è costituita da un cilindro metallico di dimensioni standard dotato di un collare rimovibile e da un pestello di diametro pari alla metà di quello del cilindro e di peso prefissato. In relazione alle caratteristiche dell'apparecchiatura e alle modalità di esecuzione, le prove Proctor si distinguono in "standard" e "modificata" (vedi tabella 2.1).

Tabella 2.1 – Caratteristiche dell'apparecchiatura e modalità di esecuzione della prova Proctor standard e modificata

Tipo di prova	Dimensioni del cilindro			Dimensioni del pestello		Numero degli strati	Numero colpi per strato	Altezza caduta pestello [cm]	Energia di costipamento [kg cm/cm ³]
	Ø [cm]	H [cm]	V [cm ³]	Ø [mm]	Peso [kg]				
Standard AASHO	10.16	11.7	945	50.8	2.5	3	25	30.5	6.05
Modificata AASHO	10.16	11.7	945	50.8	4.54	5	25	45.7	27.5

La prova Proctor standard, è eseguita disponendo a strati una certa quantità di terreno, preventivamente essiccato o bagnato, nel cilindro e compattandolo con il pestello per un numero prefissato di colpi (25), assestati in una posizione prestabilita. L'operazione è ripetuta per un certo numero di strati (3 per la standard) fino a riempire il cilindro poco al di sopra dell'attaccatura col collare. In seguito è rimosso il collare, livellato il terreno in sommità, pesato il tutto e determinato il contenuto d'acqua, prelevando una porzione di terreno dal cilindro.

Mediante il peso, P, e il volume, V, (noti) si ricava il peso di volume, γ ($\gamma = P/V$), e, avendo determinato w, si può ricavare il peso di volume del secco, γ_d ($\gamma_d = \gamma/(1+w)$), ovvero la densità secca ($\rho_d = \gamma_d/g$, essendo g l'accelerazione di gravità).

8.5.2 Risultati della prova

		Prova 1	Prova 2
Analisi granulometrica			
Ghiaia	%	0	0
Sabbia	%	18	12
Limo e argilla	%	82	88
Limiti di Atterberg			
Limite Liquido	%	54	53
Limite plastico	%	20	20
Indice plastico	*	34	33
Caratteristiche ottimali			
Peso di volume del terreno secco	(KN/m ³)	19,5	19,20
Contenuto d'acqua	(w %)	12	13,2

In allegato A8 si riportano i certificati delle prove eseguite.

8.6 - PROVA DI PENETRAZIONE C.B.R. (CLAFORNIA BEARING RATIO)

La prova di penetrazione consente di determinare l'indice di portanza C.B.R. di una terra a densità e umidità note.

Il valore del CBR è dato dal rapporto tra il carico unitario necessario ad avere un affondamento di un pistone cilindrico di 5 mm di diametro in una fustella Proctor di un campione di terreno costipato a un'umidità e densità prefissata, e un valore di carico prefissato.

Il pistone è fatto penetrare nel campione a una velocità costante di 1 mm/50 s, misurando le pressioni trasmesse dalla sonda del terreno.

Le pressioni misurate in corrispondenza delle penetrazioni a 2,5 mm e a 5 mm sono messe in rapporto con le pressioni standard rispettivamente di 70 kg/cm² e 105 kg/cm².

I rapporti, espressi in percentuale, esprimono gli indici CBR per il terreno sottoposto a prova. Il maggiore fra i due si assume quale valore di CBR.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove eseguite, la cui ubicazione è indicata in allegato A1, mentre in allegato A9 si riportano i certificati delle prove eseguite:

- PROVA 1 = INDICE CBR 7%
- PROVA 2 = INDICE CBR 4%

9 TRATTAMENTO A CALCE DEI TERRENI

Il processo di stabilizzazione consiste nel miscelare intimamente le terre argillose con calce di apporto, in quantità tale da modificarne le caratteristiche fisico-chimiche (granulometria, suscettività all'acqua, umidità) e meccaniche, così da renderle idonee per la formazione di strati che dopo il costipamento presentino adeguata resistenza meccanica e stabilità all'azione dell'acqua ed eventualmente del gelo.

Nel caso specifico, si è provveduto a determinare il contenuto iniziale in calce (CIC) per un campione di materiale ottenuto dal miscelamento di aliquote provenienti dai vari scavi nella aree di progetto ove sono previsti sostanziali movimentazioni di terreno che saranno poi riutilizzati in situ.

I risultati della prova CIC, di seguito riportati, hanno evidenziato un contenuto in calce del 2% per l'abbattimento dell'umidità e della sostanza organica presente nei materiali. A seguito di quanto sopra, si consiglia, per ottenere un buon effetto legante e stabilizzante una miscela di terreno con una quantità di calce del 3 ÷ 3,5 %.

Laboratorio Dr. Antonio Mucchi

Committente : Studio Geolgico Fiorentino Cantiere : Trespiano - Nuova viabilità

Data prova : 26/07/2014 Pag 1 di 1

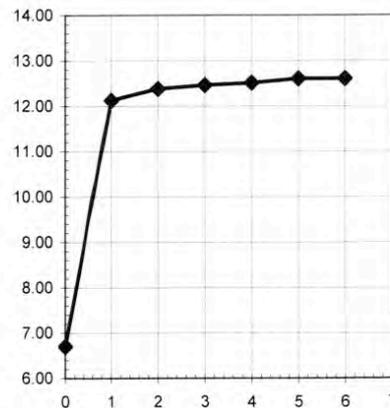
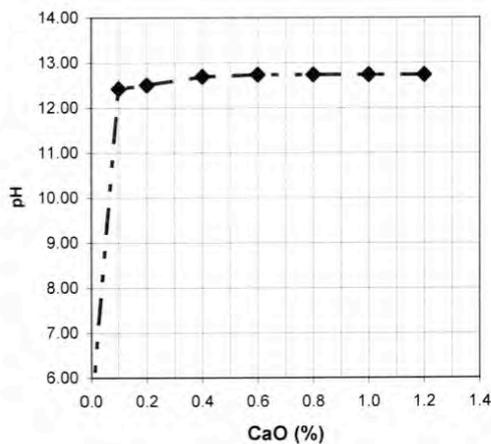
DETERMINAZIONE DEL POTERE STABILIZZANTE DI UNA CALCE

ASTM D 6276 - SACA

SONDAGGIO : - CAMPIONE: Sacco 1 - argilla PROFONDITA': - + - m

Curva di saturazione Acqua/CaO	
% di CaO	pH
0.0	5.20
0.1	12.42
0.2	12.50
0.4	12.69
0.6	12.73
0.8	12.73
1.0	12.73
1.2	12.73

Curva miscela Acqua/CaO/Terreno	
% di CaO	pH
0	6.70
1	12.12
2	12.38
3	12.46
4	12.51
5	12.60
6	12.60



% di saturazione CaO (1)

CaO(1) = 0.6 %

% di saturazione terreno/CaO (2)

CaO(2) = 5 %

Metodo Sudafricano (Standard Association of Central Africa)

$CIC = CaO(2) - (5 * CaO(1))$

2.0%

NOTE: campione essiccato all'aria e prova eseguita utilizzando ossido di calcio

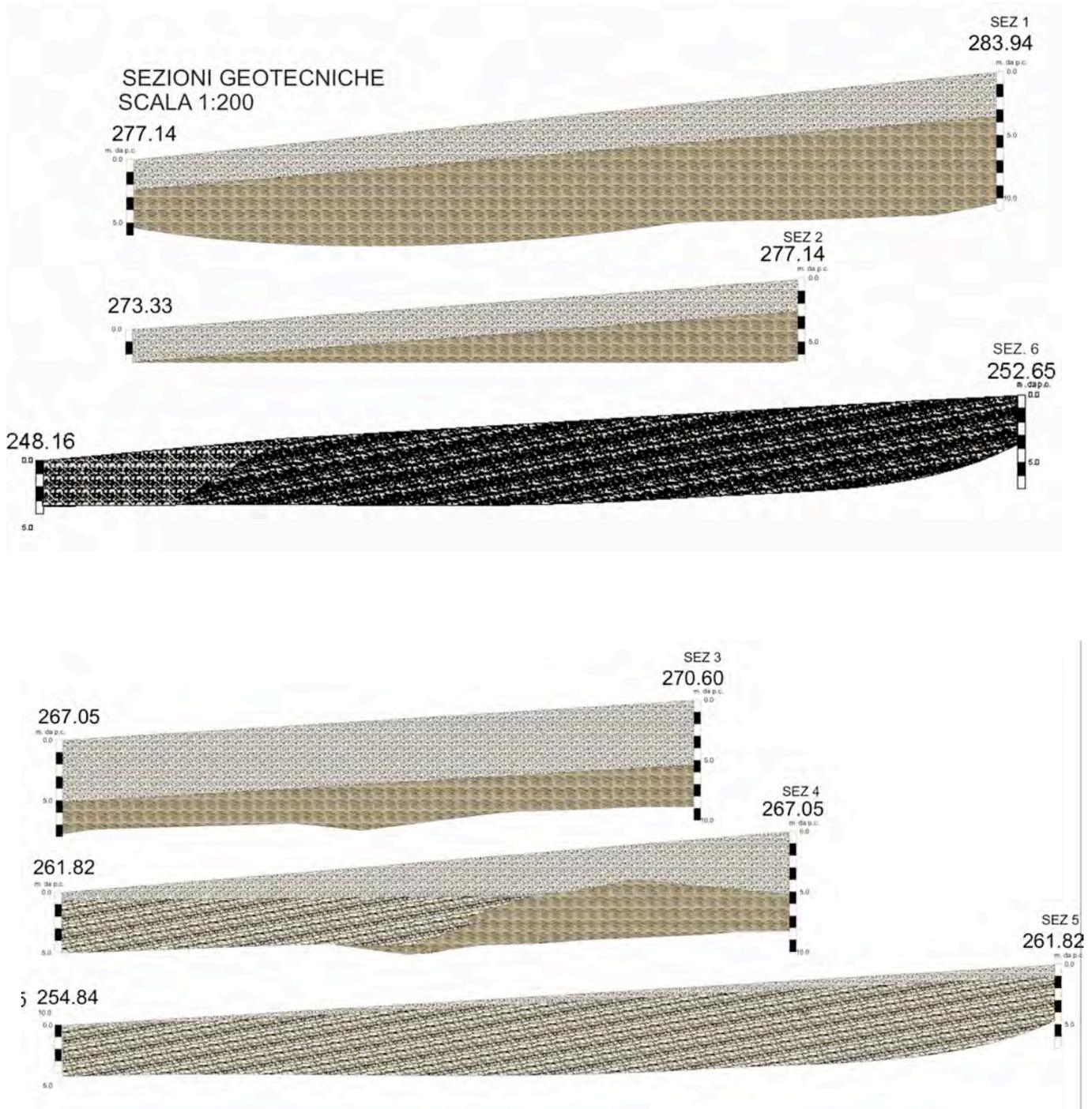
Direttore : Dr. Mucchi Antonio

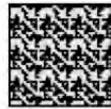
Rapporto di prova del 07/08/2014

Via A. Ascari, 8 - 44019 Gualdo (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it - mucchilab@tin.it

10 SEZIONI GEOTECNICHE

Di seguito si riportano le sezione geotecniche la cui ubicazione è riportata in Allegato A1.

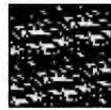




(a3) Detrito eo riporti;
comportamento geotecnico misto coesivo-granulare
 $\gamma = (17.9 - 19.20) \text{ kN/mc. } C' = (48-70) \text{ kPa. } \phi = 26^\circ-28^\circ$.
Cat.sismica riferimento NCT /08 C. K=1.



PIE formazione delle marne di Pievelago;
comportamento geotecnico coesivo
 $\gamma = (18.6 - 19.00) \text{ kN/mc. } C' = (70) \text{ kPa. } \phi = 30^\circ$.
Cat.sismica riferimento NCT /08 C. K=1.



SIL formazione di Sillano argilloscisti
siltosi in alternanza a strati arenacei
anche di notevole spessore;
comportamento geotecnico granulare - coesivo
 $\gamma = (19.00 - 20.00) \text{ kN/mc. } C' = (45) \text{ kPa. } \phi = 36^\circ$.
Cat.sismica riferimento NCT /08 e. K=1.

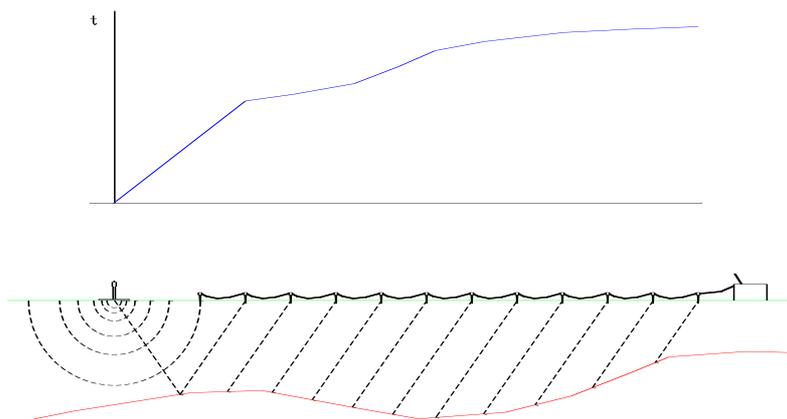
11 METODOLOGIA SISMICA A RIFRAZIONE

11.1 - GENERALITÀ DELLA METODOLOGIA

Le indagini geosismiche sono state realizzate avvalendosi del metodo sismico a rifrazione, che utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e talvolta trasversali (onde S) nel sottosuolo.

Tali onde sono generate, e si propagano nel terreno, ogniqualvolta quest'ultimo sia sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale sia artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.).

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione, consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di battitura), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei terreni da queste attraversati.



Mediante questo tipo d'indagine si può risalire alla probabile composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla

profondità cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

L'elaborazione dei dati sismici con un completo modello matematico bidimensionale appoggiato da procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al terreno in esame.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di battuta e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Questa procedura di tipo "classico" è stata seguita per fornire un modello di velocità iniziale alla procedura d'iterazione tomografica. Per questa parte di procedura interpretativa l'algoritmo utilizzato dal programma di calcolo è stato pubblicato nel 1980 da Derecke Palmer in un articolo dal titolo "The Generalized Reciprocal Methods of Seismic Refraction Interpretation" (Society of Exploration Geophysicists)

11.2 - UNITÀ DI ACQUISIZIONE DATI

Per registrare simultaneamente gli impulsi sismici rilevati dai geofoni, è necessario l'utilizzo di una strumentazione elettronica multicanale, a bassissimo rumore interno, ad alta velocità di campionamento, dotata di supporto magnetico per la registrazione dei dati ottenuti dopo opportuna amplificazione filtraggio e conversione analogico/digitale. A questo scopo è stato utilizzato un sismografo PASI 16S12 a 24 canali.

11.3 - APPARATO DI RICEZIONE



Per registrare le vibrazioni del terreno sono stati utilizzati 12 e 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 12 Hz, che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno. Questi ricevitori erano collegati al sismografo tramite degli appositi cavi multipolari.

11.4 - APPARATO DI ENERGIZZAZIONE

Per generare le onde sismiche è stata utilizzata una mazza battente del peso di 10 kg. L'impulso del colpo è rilevato da un sensore piezoelettrico e trasmesso immediatamente al sismografo per consentire una registrazione sincronizzata al tempo 0.

Nelle varie sezioni sismiche realizzate, sono stati allineati i geofoni (12 o 24) a passo costante di 2 metri, ed è stata energizzata da cinque a sette punti.

11.5 - ACQUISIZIONE DEI DATI

L'acquisizione di dati è avvenuta dopo le opportune verifiche di corretto funzionamento della strumentazione e del circuito di time-break (tempo 0). Per controllare la qualità dei dati acquisiti ogni energizzazione è stata stampata immediatamente su carta termica.

12 ELABORAZIONE DEI DATI

- La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti.
- Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo
- Emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal programma di elaborazione tradizionale basato su l'algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method).
- Immissione dei valori delle quote dei geofoni e delle battute nel programma di interpretazione GRM e lettura delle dromocrone misurate.
- Elaborazione dei dati e interpretazione tradizionale.

- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità. Si noti che le velocità sismiche attribuite a ciascun strato sono caratterizzate da un gradiente nullo in direzione verticale (sono costanti in verticale per ciascuno strato). Vi è una utile possibilità di modellizzare con la procedura GRM delle variazioni orizzontali di velocità che comunque risultano discrete e non continue.
- Emissione di un file riportante l'ubicazione e la quota di ciascun punto di battuta e di ciascun geofono, leggibile dal programma di iterazione tomografica e di ray-tracing (tracciamento dei percorsi dei raggi sismici).
- Emissione del modello bidimensionale del terreno ricavato dalla procedura GRM sotto forma di una matrice a celle di dimensione definibile (inferiori al metro), adatta ad essere letta dal programma di ray-tracing e di elaborazione tomografica. L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.
- Il file contenente le ubicazioni e le quote viene letto dal programma tomografico assieme al file contenente la matrice di velocità e la procedura di ray-tracing e di controllo viene attivata.
- Per prima cosa viene controllata la correttezza delle ubicazioni dei sensori e dei colpi e quindi vengono visionati i percorsi dei raggi sismici e valutato il primo "fitting" con i dati misurati, allo scopo di iniziare la procedura tomografica senza la presenza di errori sistematici previamente correggibili.
- Lo scopo della procedura iterativa tomografica è quello di ridurre l'errore fra i tempi delle dromocrone calcolate in base al modello rispetto a quelle effettivamente misurate. Questo avviene per approssimazioni successive (iterazioni) controllate dall'operatore al quale è possibile intervenire nella scelta di molti coefficienti che influenzano il calcolo come anche nella scelta della procedura stessa che viene utilizzata per realizzare la minimizzazione degli errori.
- Il risultato finale sarà una matrice rappresentativa del terreno indagato costituita da celle, ciascuna caratterizzata da una velocità sismica e tale complessivamente da presentare un errore minimo se utilizzata nella procedura di tracciamento dei raggi sismici.
- Questa matrice è visualizzata tramite un opportuno programma di contouring utilizzando, se ritenuto necessario, diversi colori per diverse velocità.

13 INTERPRETAZIONE DEI SISMOGRAMMI SEZIONE 1

Geometria geofoni

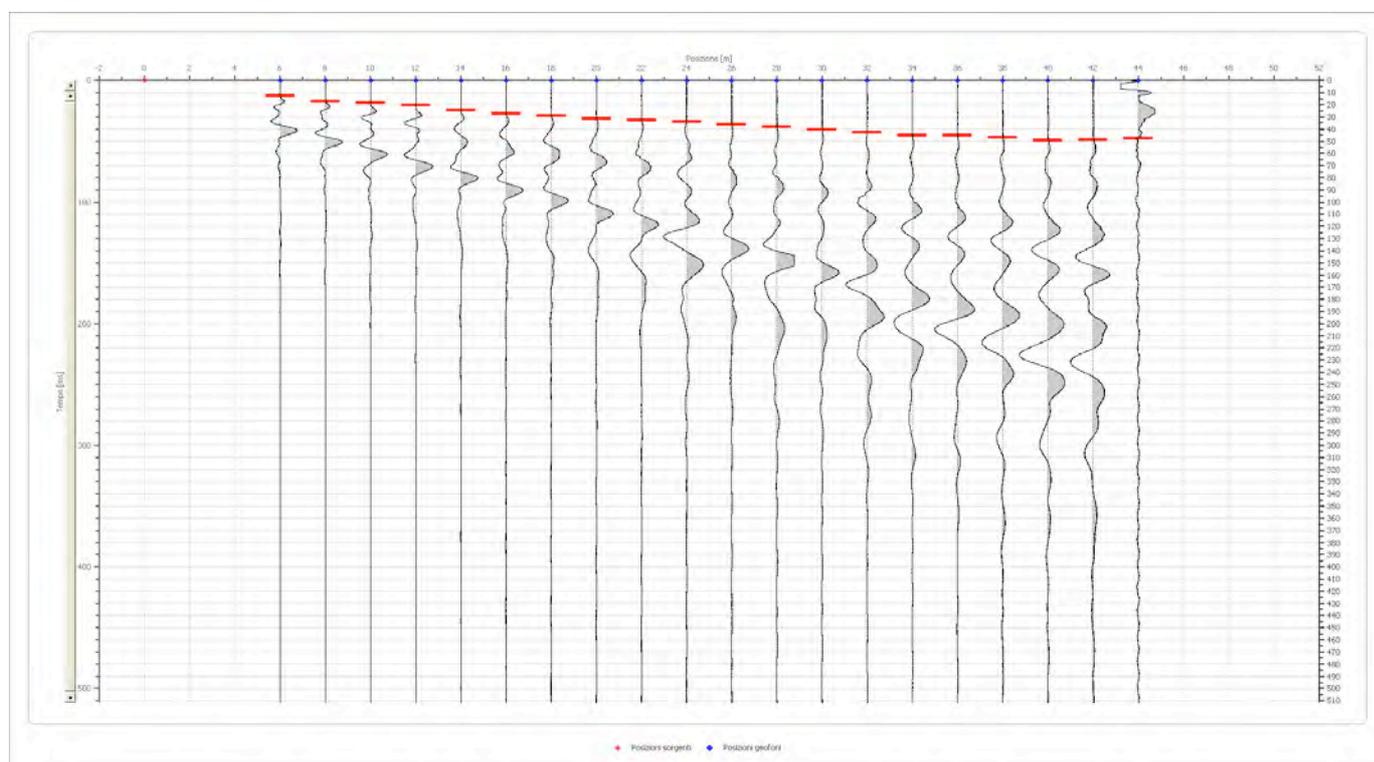
POSIZIONE E GEOFONI	QUOTE GEOFONI	BATTUTA 1	BATTUT A 2	BATTUT A 3	BATTUTA 4	BATTUTA 5
METRI	METRI	TEMPO MS	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC
6.0	0.0	12.6643	12.6643	12.6643	48.3750	53.0695
8.0	0.0	17.4888	17.4888	17.4888	46.2500	53.0695
10.0	0.0	18.6949	18.6949	18.6949	44.8750	53.0695
12.0	0.0	20.5000	20.5000	20.5000	43.5000	51.2603
14.0	0.1	24.1250	24.1250	24.1250	42.8750	50.0542
16.0	0.2	27.2500	27.2500	27.2500	39.5000	48.8481
18.0	0.3	28.8750	28.8750	28.8750	38.7500	46.8750

20.0	0.4	31.2500	31.2500	31.2500	39.1991	46.6250
22.0	0.5	32.6250	32.6250	32.6250	37.1250	44.6266
24.0	0.6	34.1250	34.1250	34.1250	36.0000	44.0236
26.0	0.7	36.0000	36.0000	36.0000	34.6250	42.2144
28.0	0.9	38.0000	38.0000	38.0000	33.6250	42.8174
30.0	1.0	40.3750	40.3750	40.3750	30.7500	41.0082
32.0	1.2	42.8750	42.8750	42.8750	28.2500	39.8021
34.0	1.3	45.1250	45.1250	45.1250	26.5000	36.7868
36.0	1.4	45.2500	45.2500	45.2500	23.7500	35.5807
38.0	1.5	46.8750	46.8750	46.8750	20.0000	28.7500
40.0	1.5	49.1250	49.1250	49.1250	12.6643	24.7500
42.0	1.5	48.7500	48.7500	48.7500	7.8398	20.0000
44.0	1.5	47.6419	47.6419	47.6419	3.6184	8.4429

Dati battute

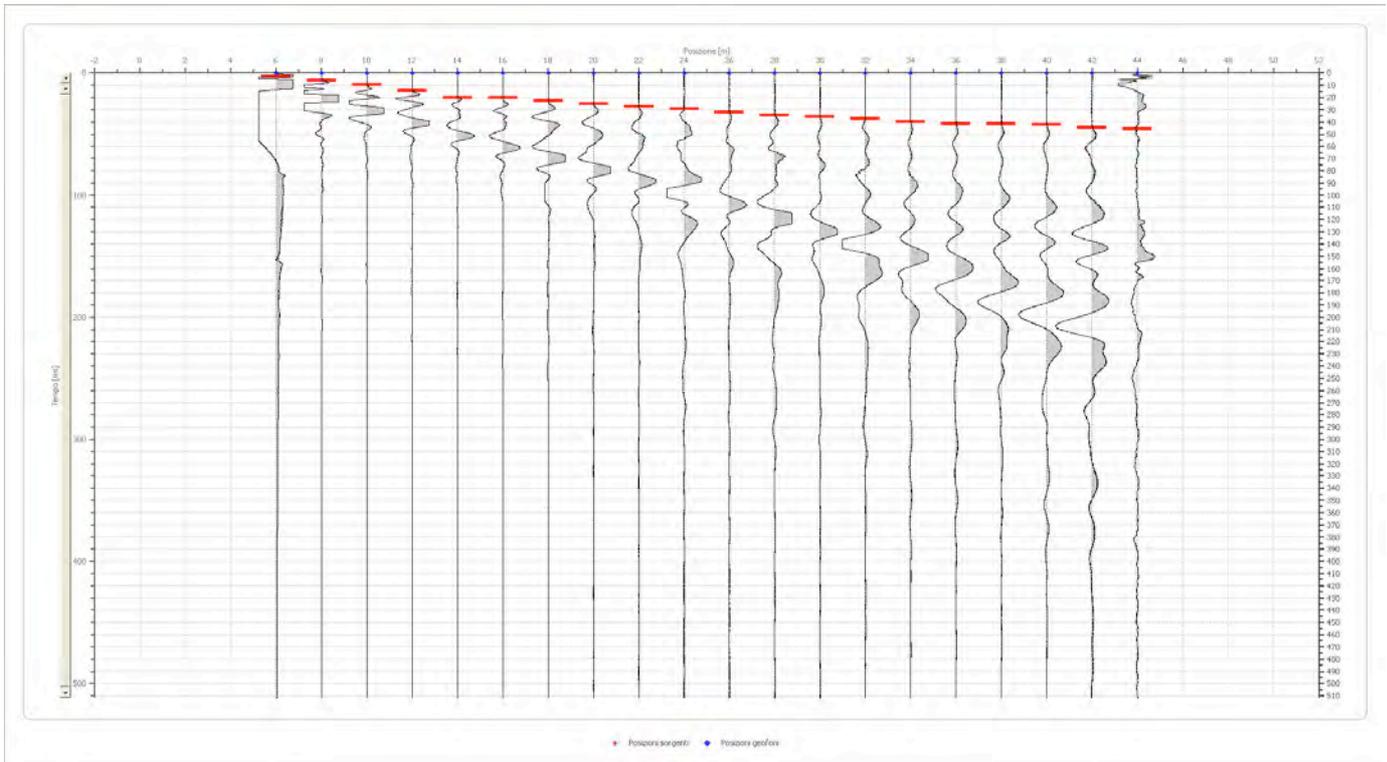
Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z -1 [m]



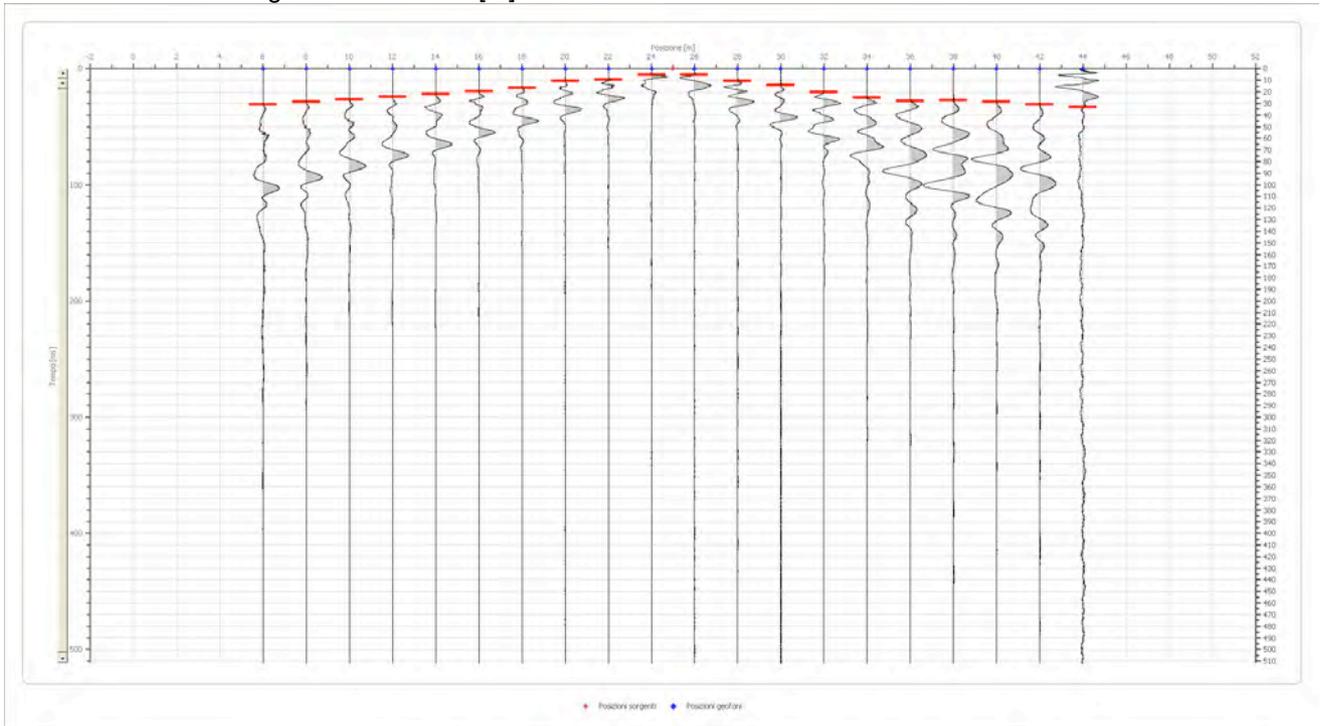
Battuta 2

Posizione sorgente X 6 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



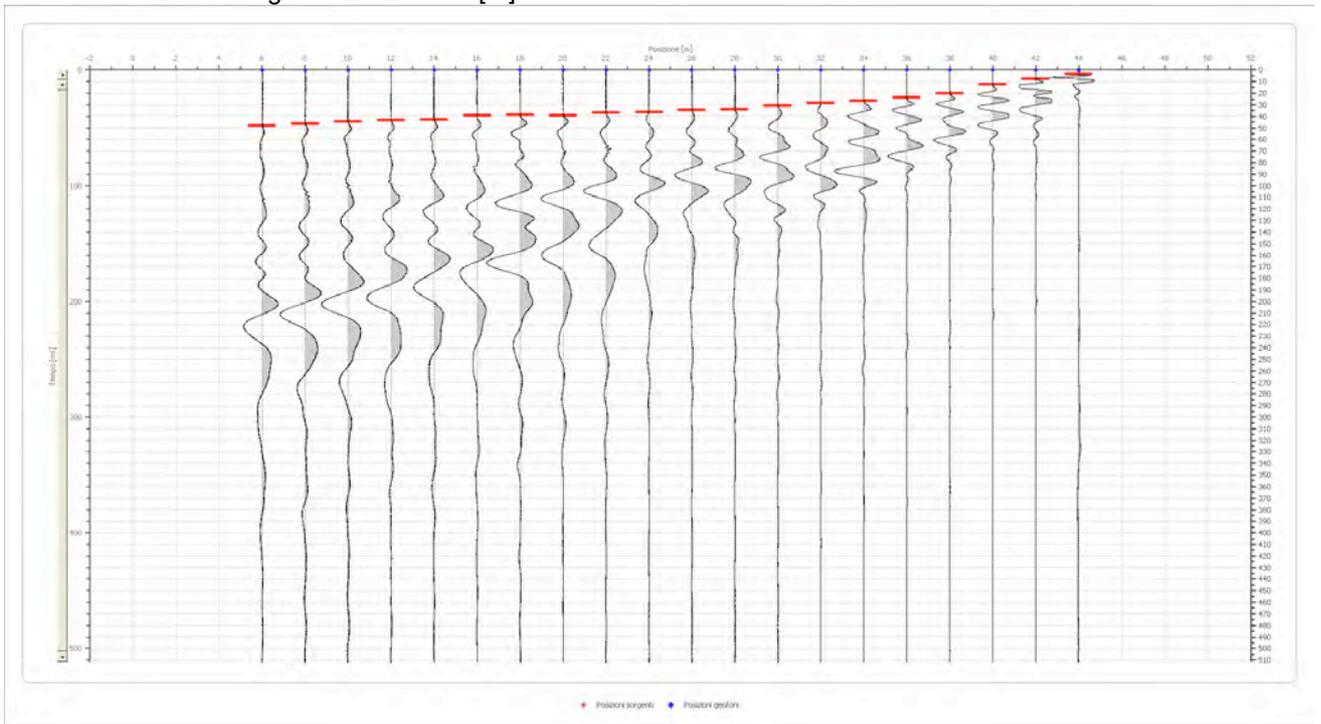
Battuta 3

Posizione sorgente X 25 [m]
 Posizione sorgente Z 1 [m]



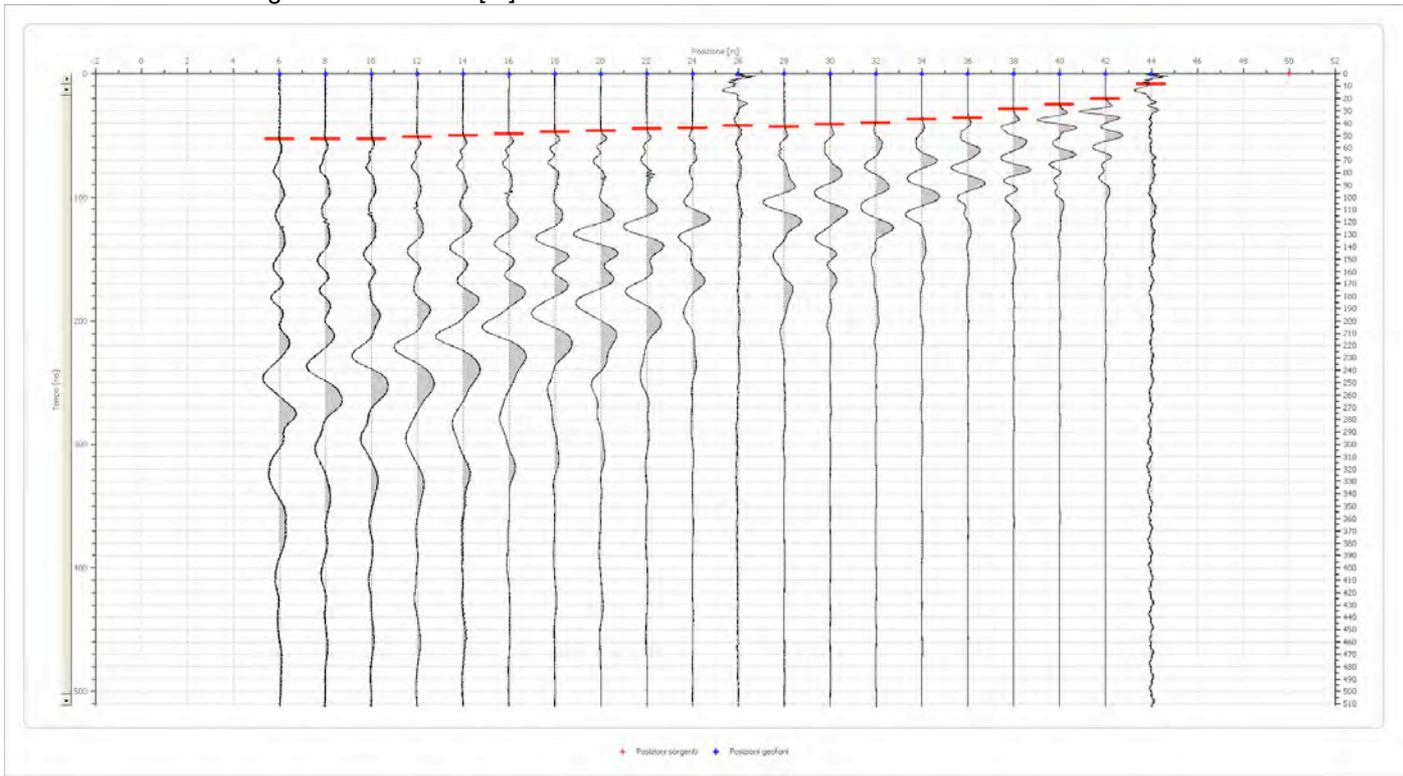
Battuta 4

Posizione sorgente X 44 [m]
 Posizione sorgente Z 2 [m]

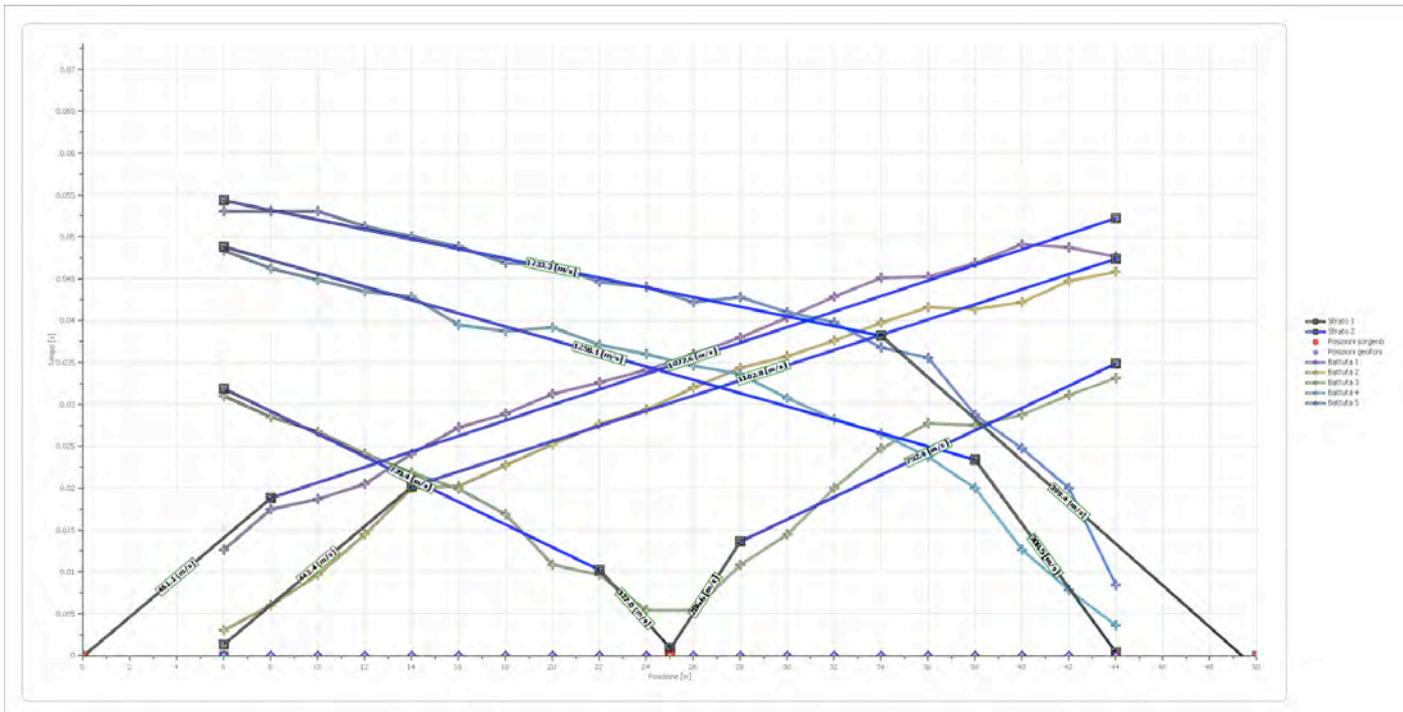


Battuta 5

Posizione sorgente X 50 [m]
 Posizione sorgente Z 2 [m]



Dromocrone



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 6.0 [m]	2.2	--
G= 8.0 [m]	2.2	--
G= 10.0 [m]	2.2	--
G= 12.0 [m]	2.2	--
G= 14.0 [m]	2.7	--
G= 16.0 [m]	2.6	--
G= 18.0 [m]	2.6	--
G= 20.0 [m]	2.7	--
G= 22.0 [m]	2.8	--
G= 24.0 [m]	3.3	--
G= 26.0 [m]	3.4	--
G= 28.0 [m]	3.4	--
G= 30.0 [m]	3.4	--
G= 32.0 [m]	3.7	--
G= 34.0 [m]	3.8	--
G= 36.0 [m]	3.4	--
G= 38.0 [m]	2.7	--
G= 40.0 [m]	2.7	--
G= 42.0 [m]	2.6	--
G= 44.0 [m]	2.4	--
Velocità [m/sec]	371.0	1090.9
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

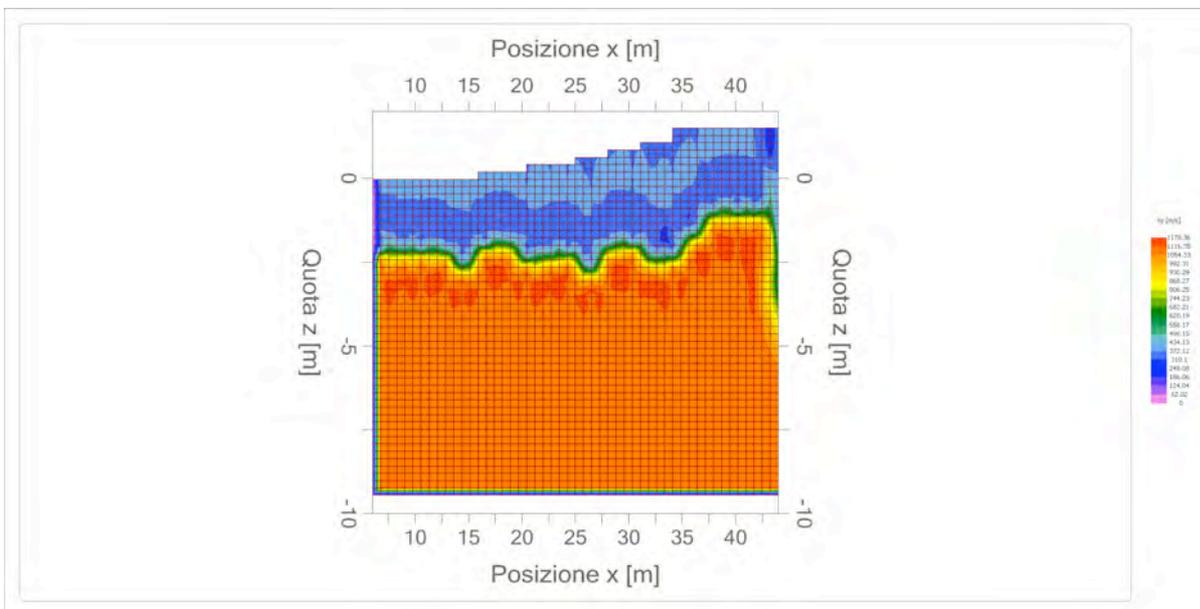
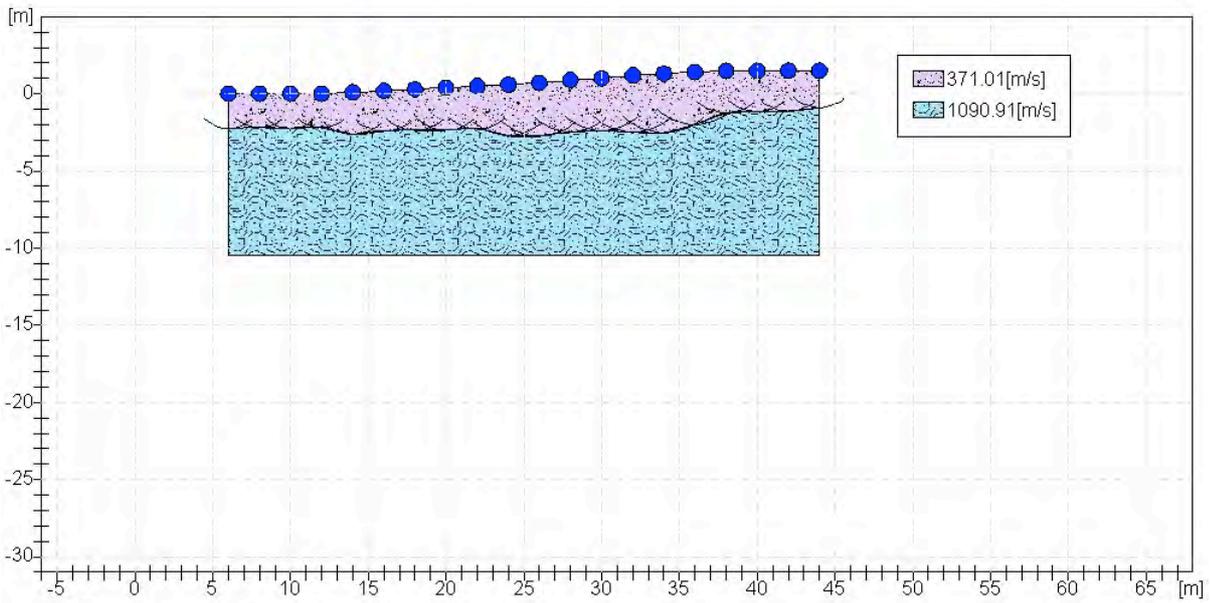
Parametri geotecnici	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	371.01	1090.91
Vs [m/s]	178.23	524.05
G0 [MPa]	57.18	494.34
Ed [Mpa]	247.76	2142.14
M0 [MPa]	190.59	1647.80
Ey [Mpa]	154.38	1334.72

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



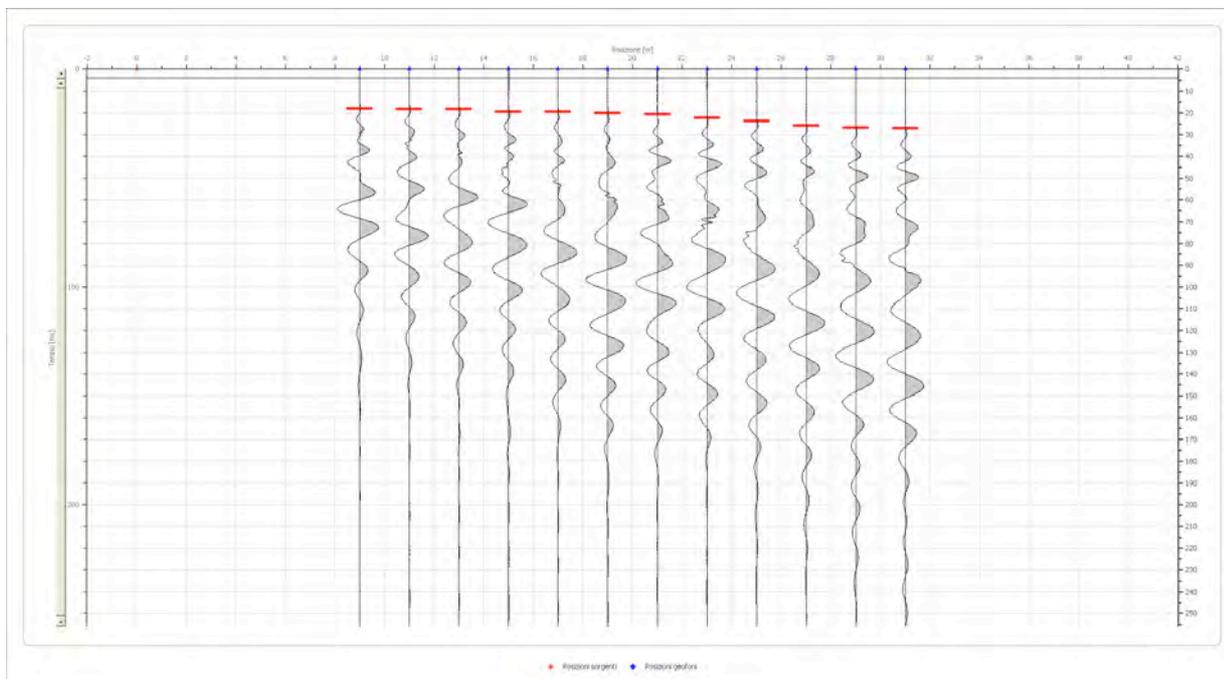
SEZIONE 2

Posizione geofoni	Quote geofoni	Battuta 1	Battuta 2	Battuta 3	Battuta 4	Battuta 5	Battuta 6	Battuta 7
metri	metri	tempo sec						
9.0	0	18.1371	0.8920	10.4065	10.4065	17.8397	19.3264	23.7863
11.0	0	18.4344	3.8653	6.2439	6.2439	16.6504	19.0290	22.5970
13.0	0	18.4344	8.3252	2.9733	2.9733	14.5691	17.2451	21.7050
15.0	0	19.6237	11.0012	3.2706	3.2706	14.2718	16.6504	22.0023
17.0	0	19.6237	11.0012	5.3519	5.3519	12.7851	15.1638	20.2184
19.0	0	20.2184	13.3798	8.6225	8.6225	11.2985	13.9744	19.3264
21.0	0	20.8130	15.1638	10.4065	10.4065	11.0012	13.3798	19.0290
23.0	0	22.2997	14.5691	11.5958	11.5958	8.0279	13.0825	18.4344
25.0	0	23.7863	16.9477	12.4878	12.4878	4.1626	12.4878	17.8397
27.0	0	25.8676	16.3531	13.9744	13.9744	3.5679	9.5145	16.9477
29.0	0	26.7596	19.3264	16.3531	16.3531	8.9199	6.2439	17.2451
31.0	0	27.0569	20.2184	17.2451	17.2451	11.0012	1.1893	16.3531

Dati battute

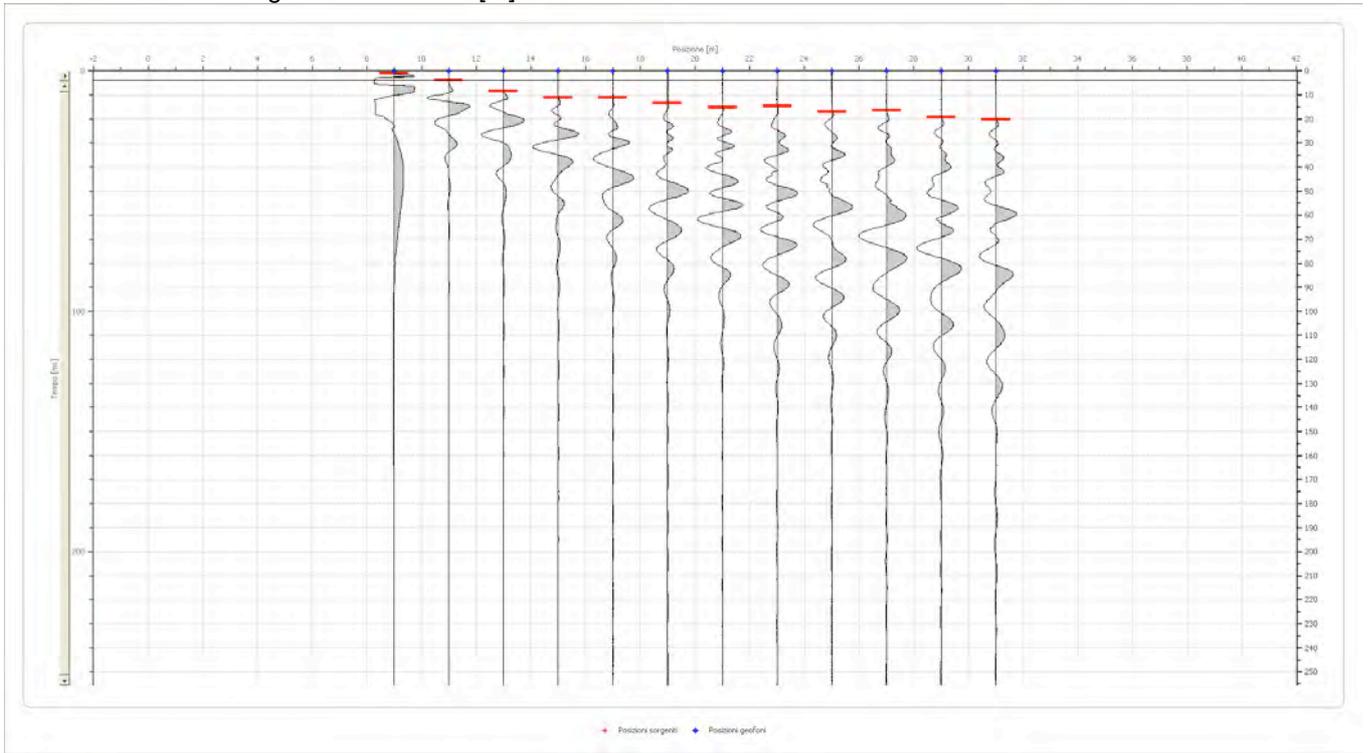
Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



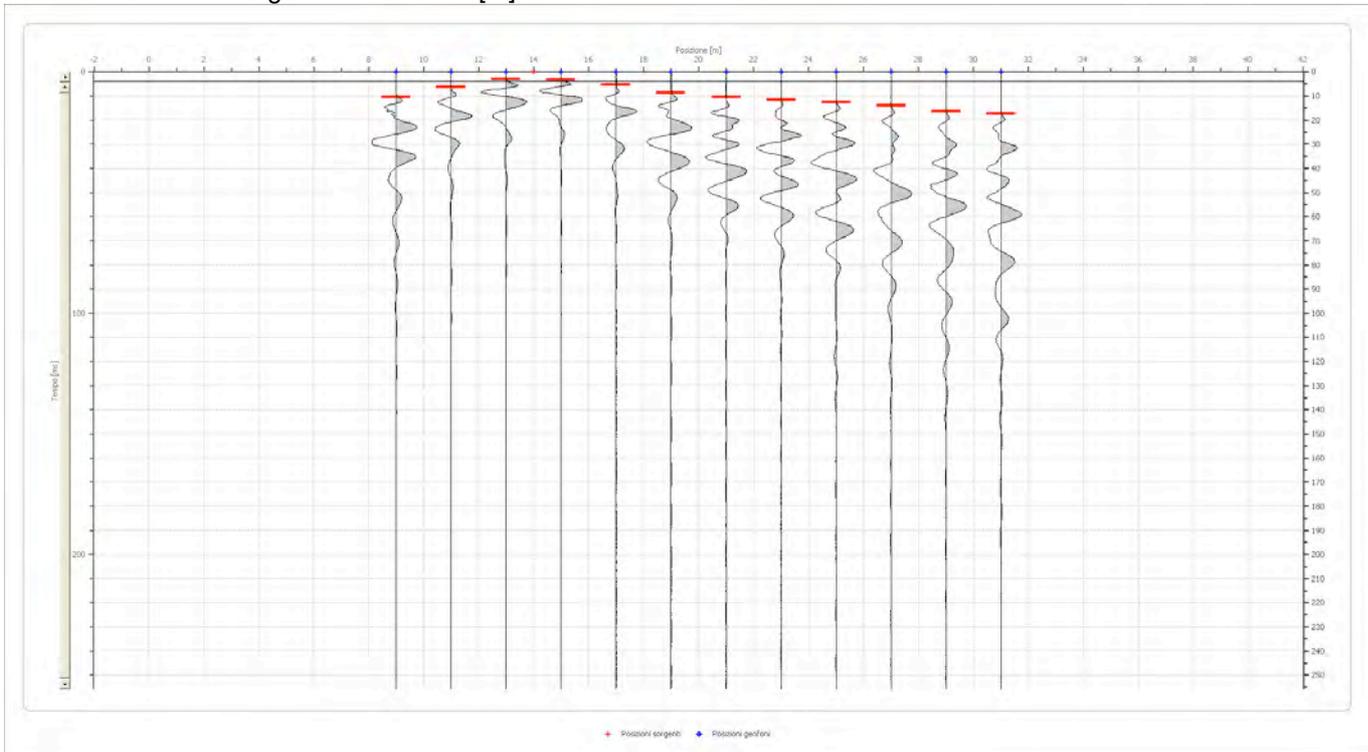
Battuta 2

Posizione sorgente X 9 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



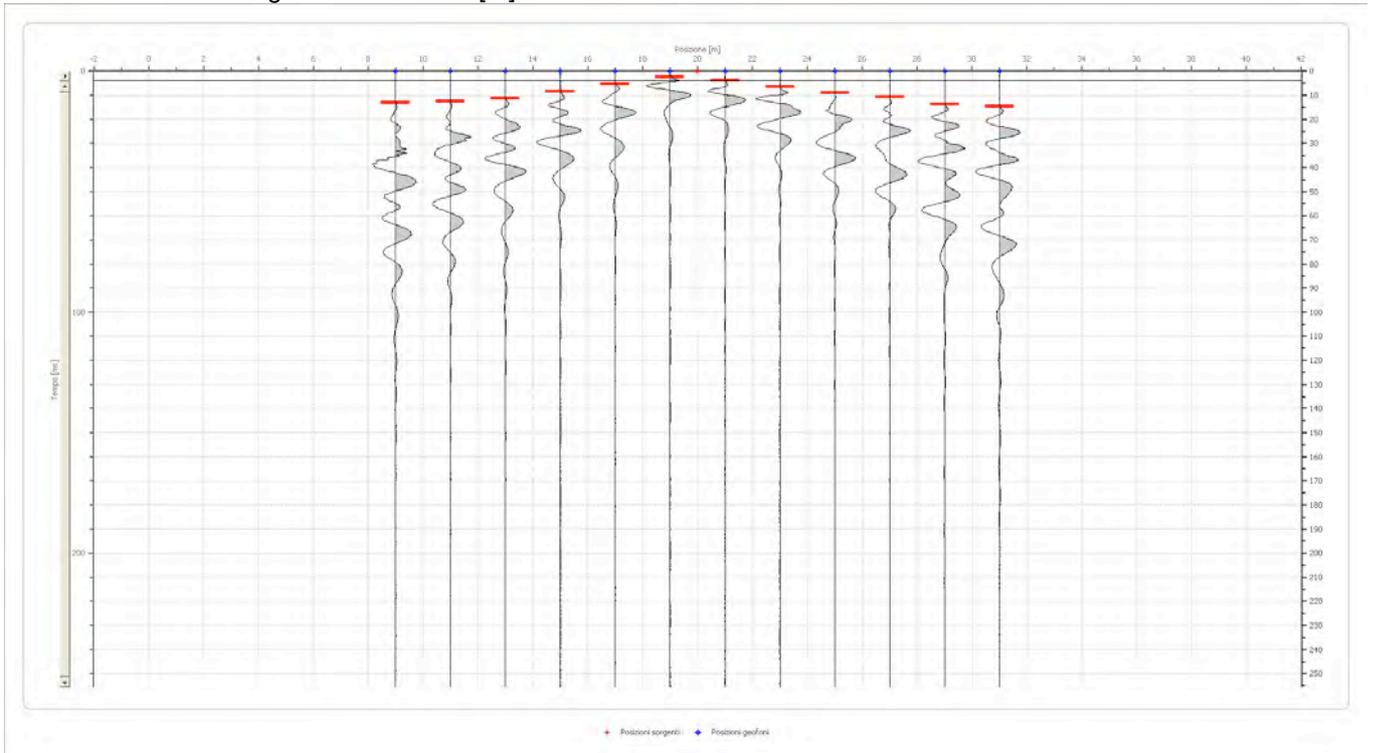
Battuta 3

Posizione sorgente X 14 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



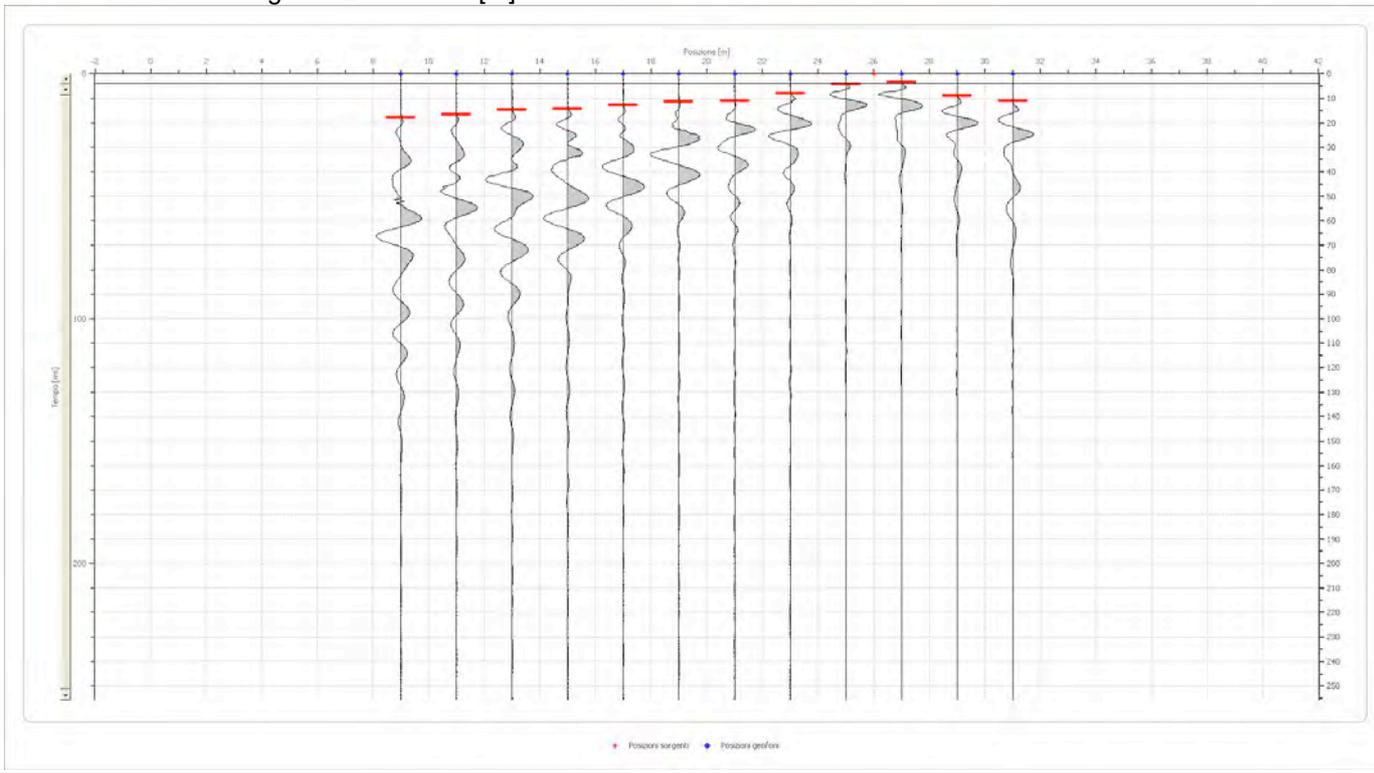
Battuta 4

Posizione sorgente X 20 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



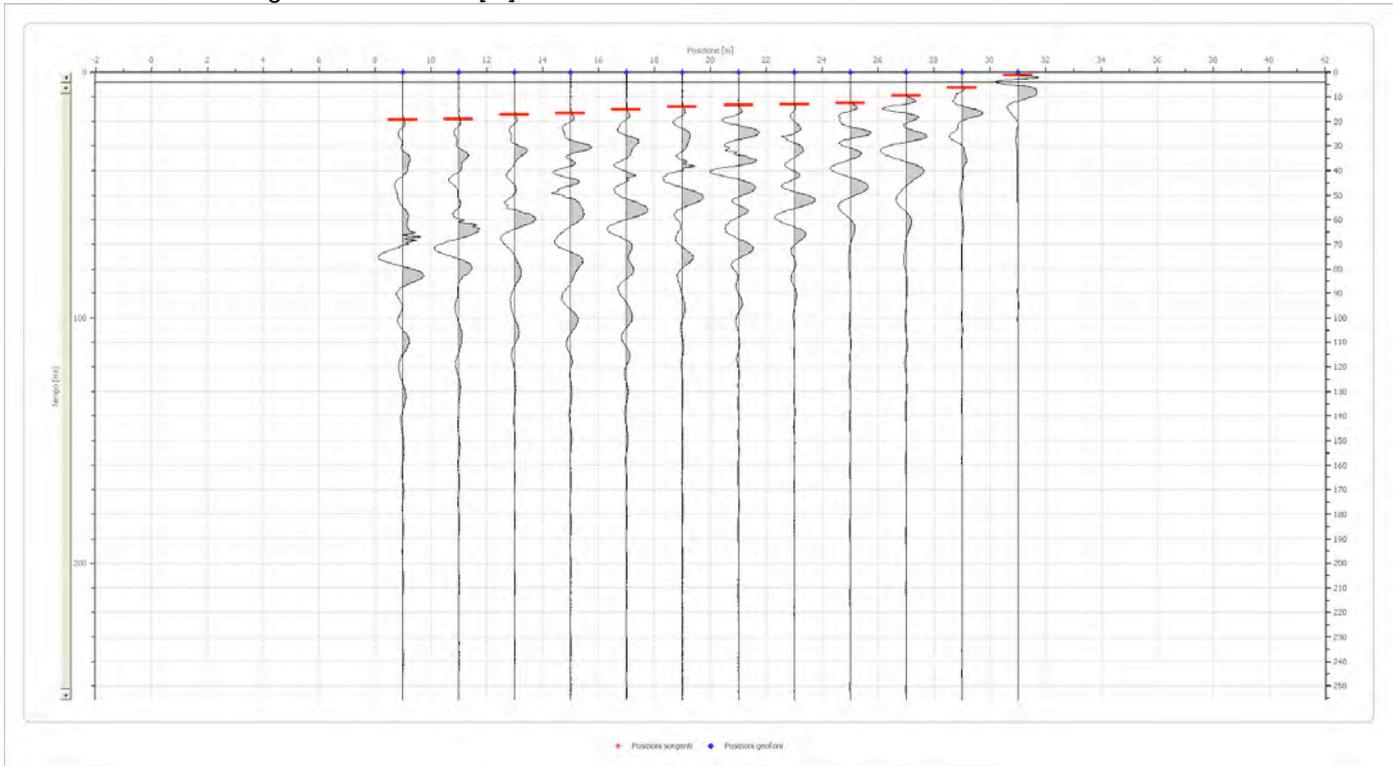
Battuta 5

Posizione sorgente X 26 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



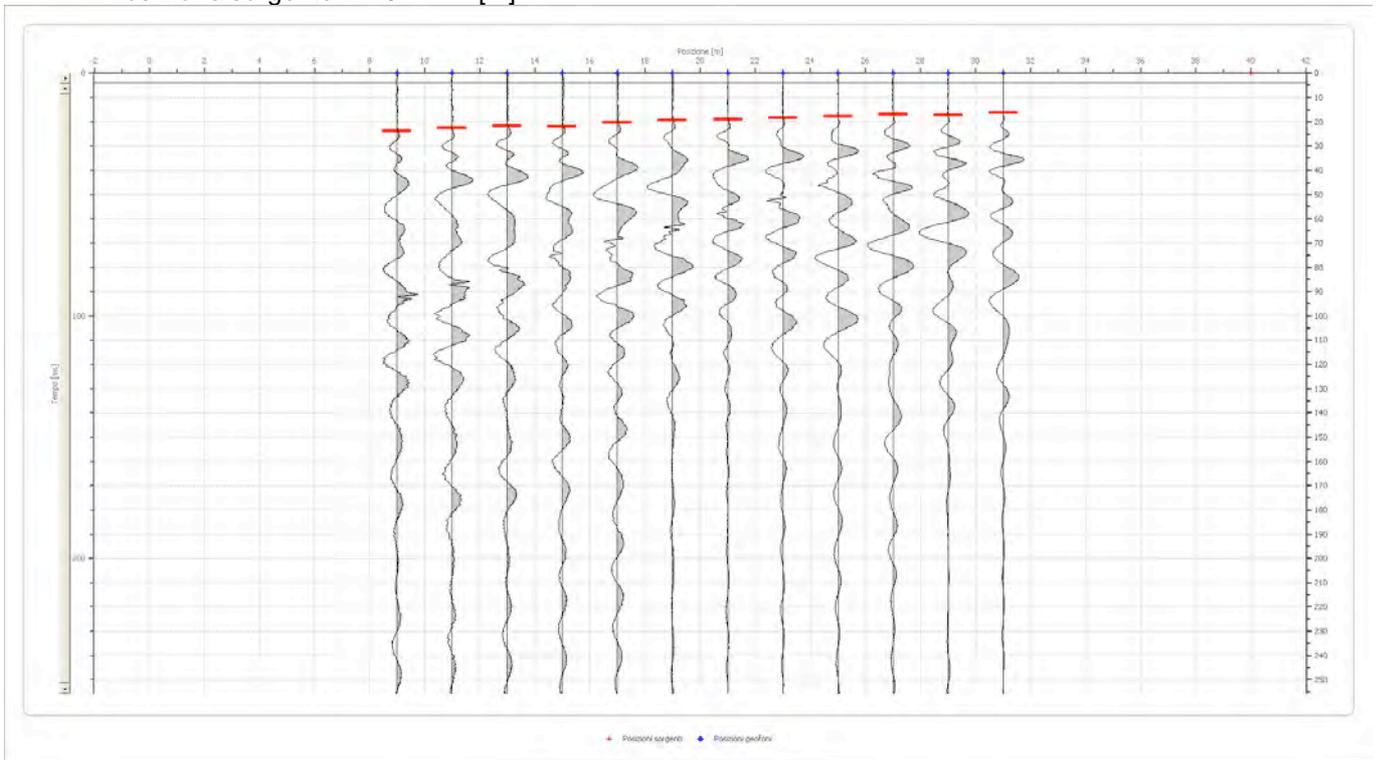
Battuta 6

Posizione sorgente X 31 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

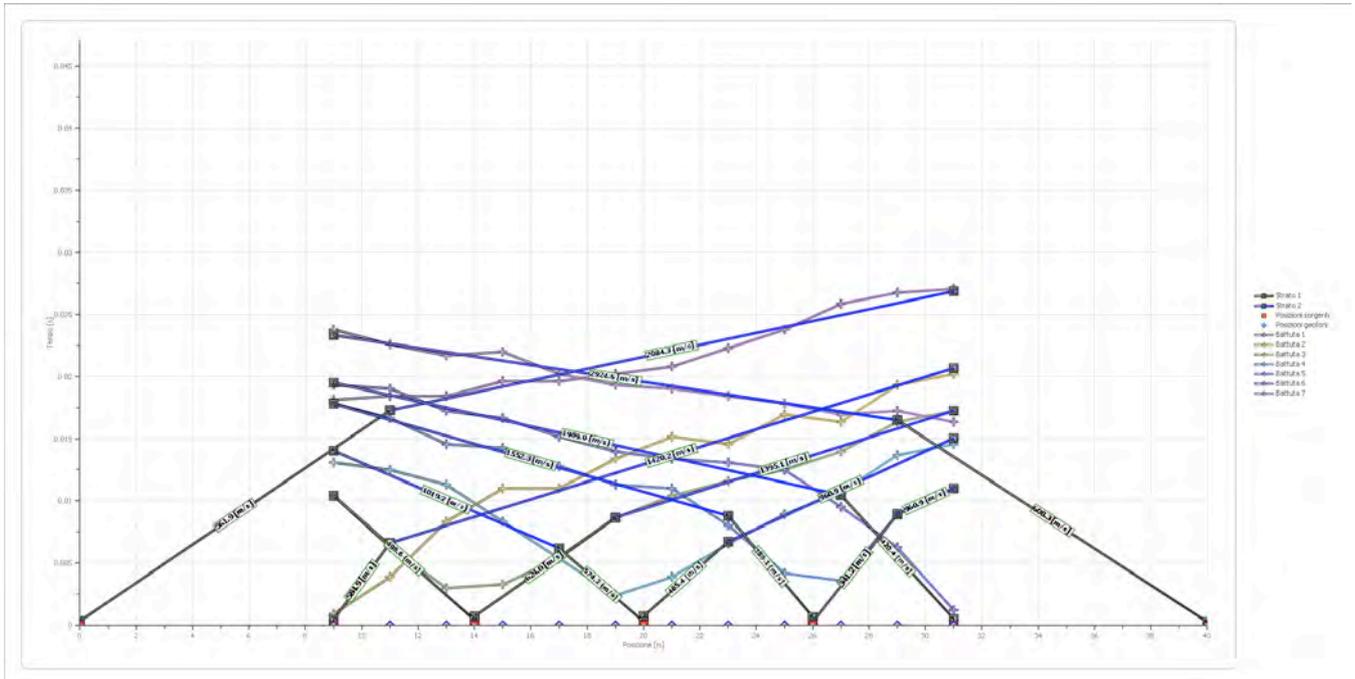


Battuta 7

Posizione sorgente X 40 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Dromocrone



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

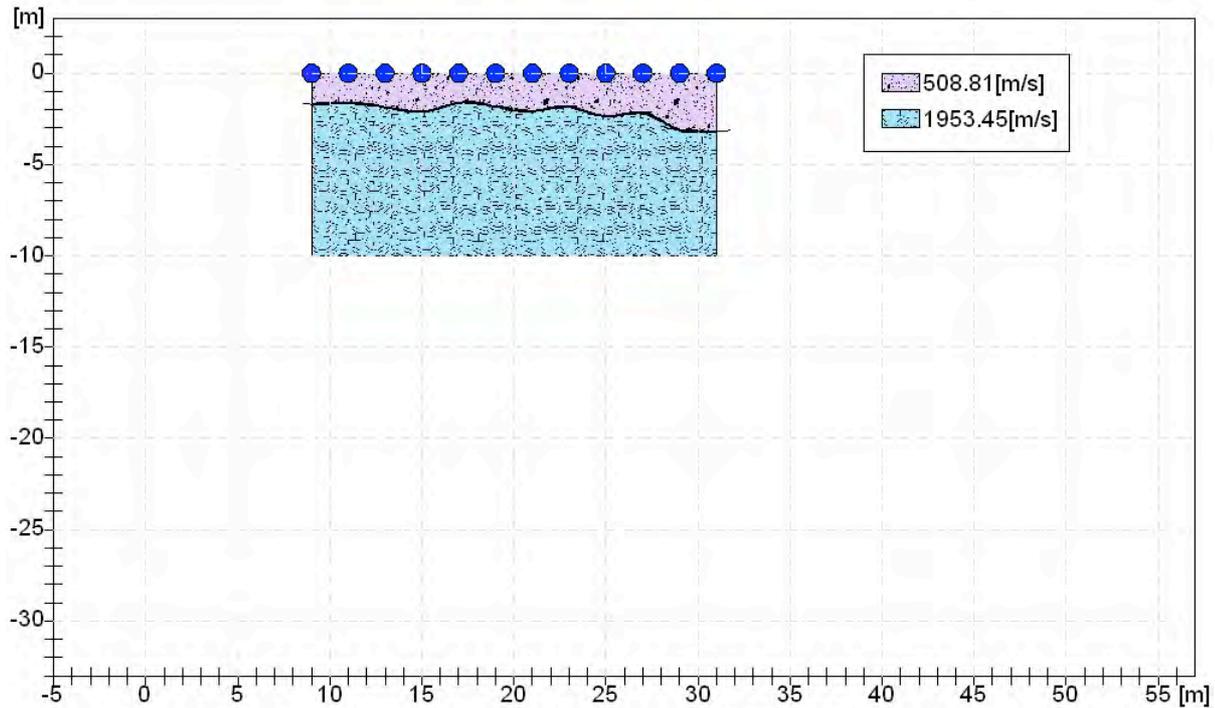
	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 9.0 [m]	1.7	--
G= 11.0 [m]	1.7	--
G= 13.0 [m]	1.8	--
G= 15.0 [m]	2.1	--
G= 17.0 [m]	1.6	--
G= 19.0 [m]	1.8	--
G= 21.0 [m]	2.1	--
G= 23.0 [m]	1.8	--
G= 25.0 [m]	2.4	--
G= 27.0 [m]	2.2	--
G= 29.0 [m]	3.1	--
G= 31.0 [m]	3.2	--
Velocità [m/sec]	508.8	1953.4
Descrizione		

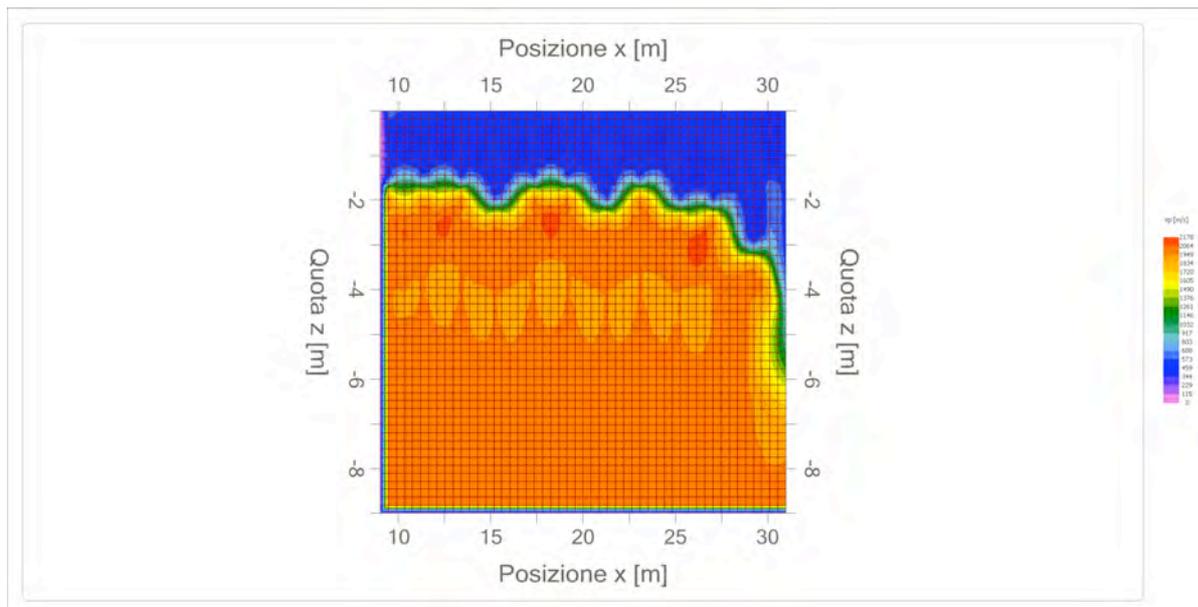
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	508.81	1953.45
Vs [m/s]	244.42	938.41
G0 [MPa]	107.54	1585.09
Ed [Mpa]	466.00	6868.73

M0 [MPa]	358.46	5283.64
Ey [Mpa]	290.35	4279.75

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;





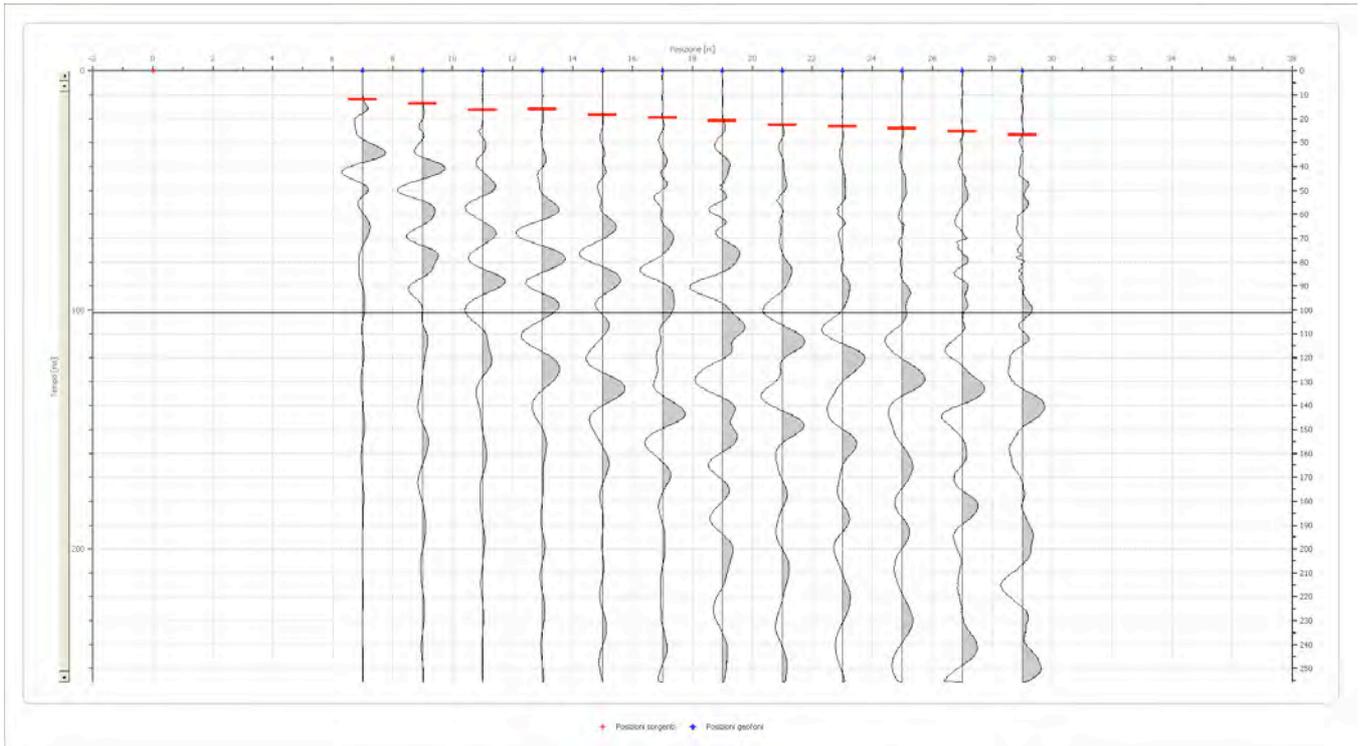
SEZIONE 3

POSIZIONE GEOFO NI	QUOTE GEOFO NI	BATTUTA 1	BATTUTA A 2	BATTUTA A 3	BATTUTA 4	BATTUTA 5	BATTUTA A 6	BATTUTA A 7
METRI	METRI	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC
7.0	0	11.8931	0.8920	17.2451	25.2729	32.7062	38.6527	41.6260
9.0	0	13.6771	7.7305	13.6771	24.0836	30.9222	36.8688	39.5447
11.0	0	16.3531	15.7584	5.9466	21.4077	29.1382	33.8955	39.2474
13.0	0	16.0557	20.2184	6.2439	16.3531	28.2462	32.7062	38.3554
15.0	0	18.4344	24.0836	13.6771	9.5145	26.1649	31.8142	37.7607
17.0	0	19.6237	25.2729	18.1371	2.9733	21.4077	29.4355	37.1661
19.0	0	20.8130	28.2462	22.8943	5.3519	16.9477	25.2729	37.4634
21.0	0	22.5970	29.1382	26.4623	12.4878	11.0012	22.5970	32.4088
23.0	0	23.1916	29.4355	27.9489	18.4344	3.8653	17.5424	28.5436
25.0	0	24.0836	30.9222	28.8409	20.2184	3.2706	13.6771	24.6783
27.0	0	25.2729	30.6249	30.3275	22.8943	10.4065	7.1359	20.2184
29.0	0	26.7596	38.0581	32.4088	28.5436	14.5691	1.4866	15.1638

Dati battute

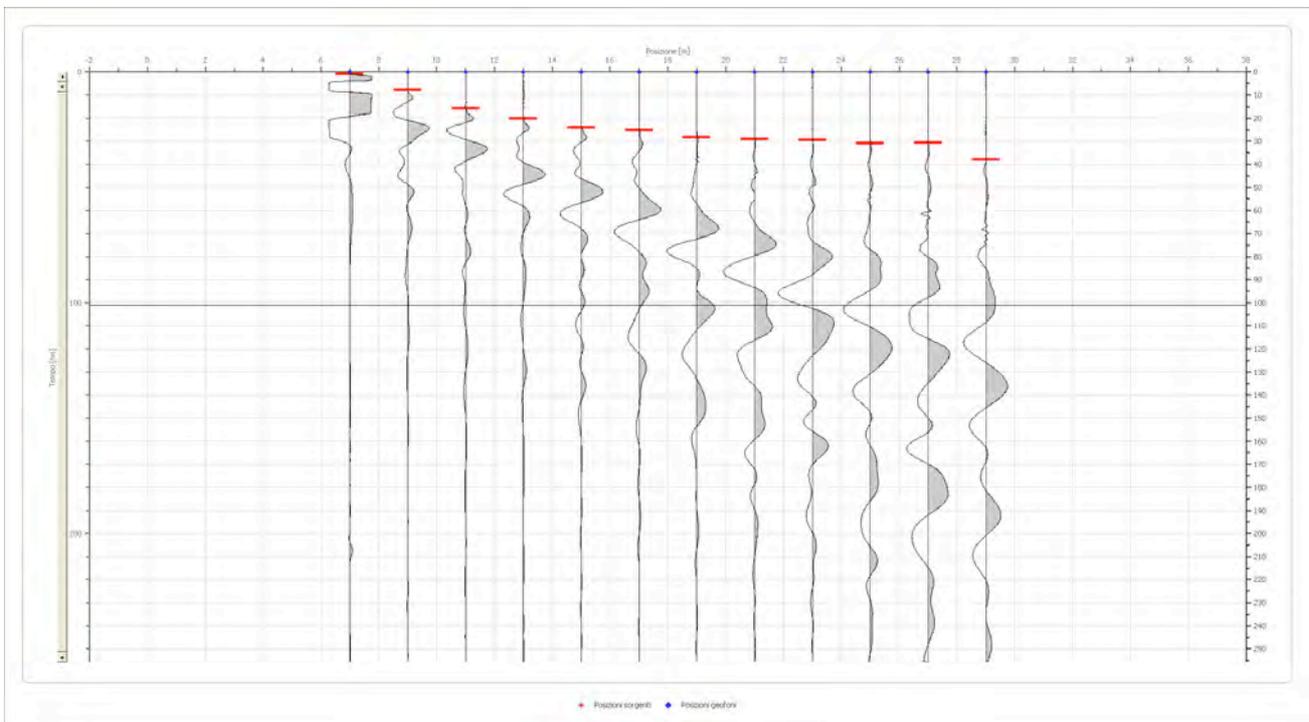
Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



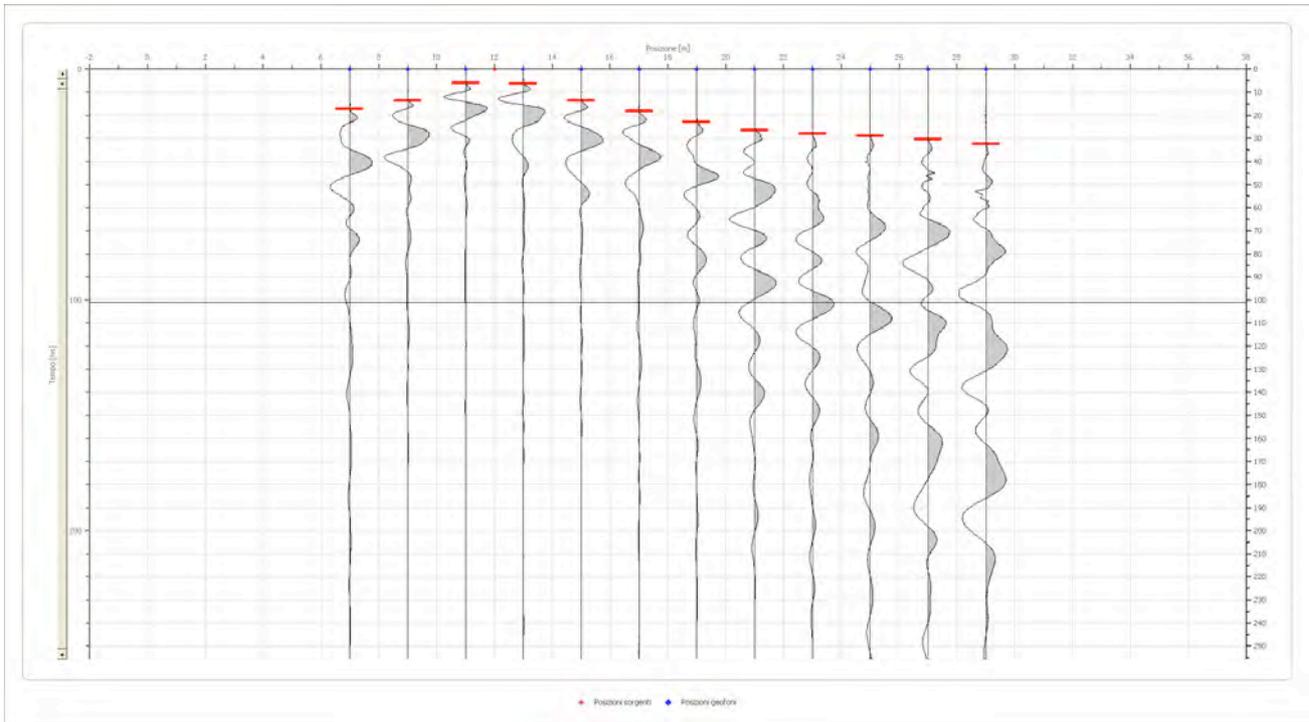
Battuta 2

Posizione sorgente X 7 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



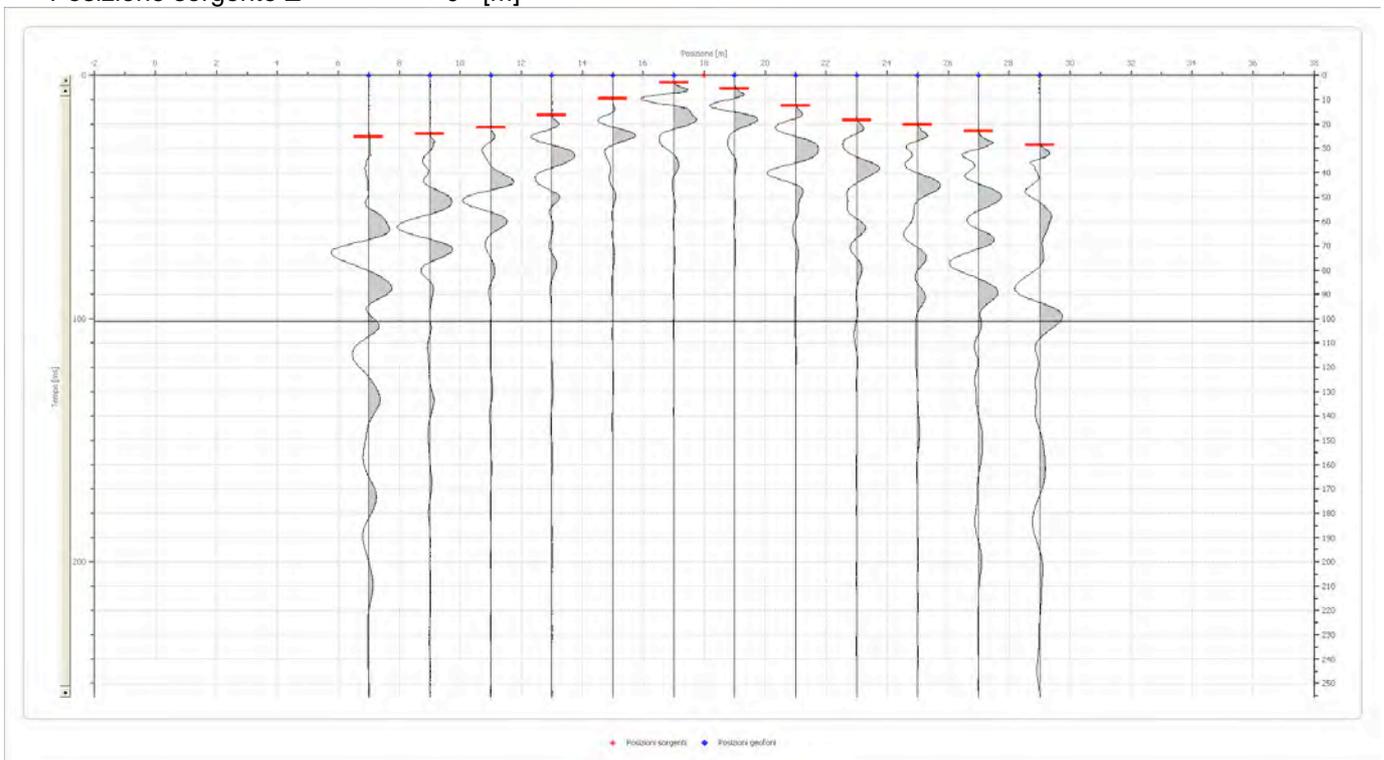
Battuta 3

Posizione sorgente X 12 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



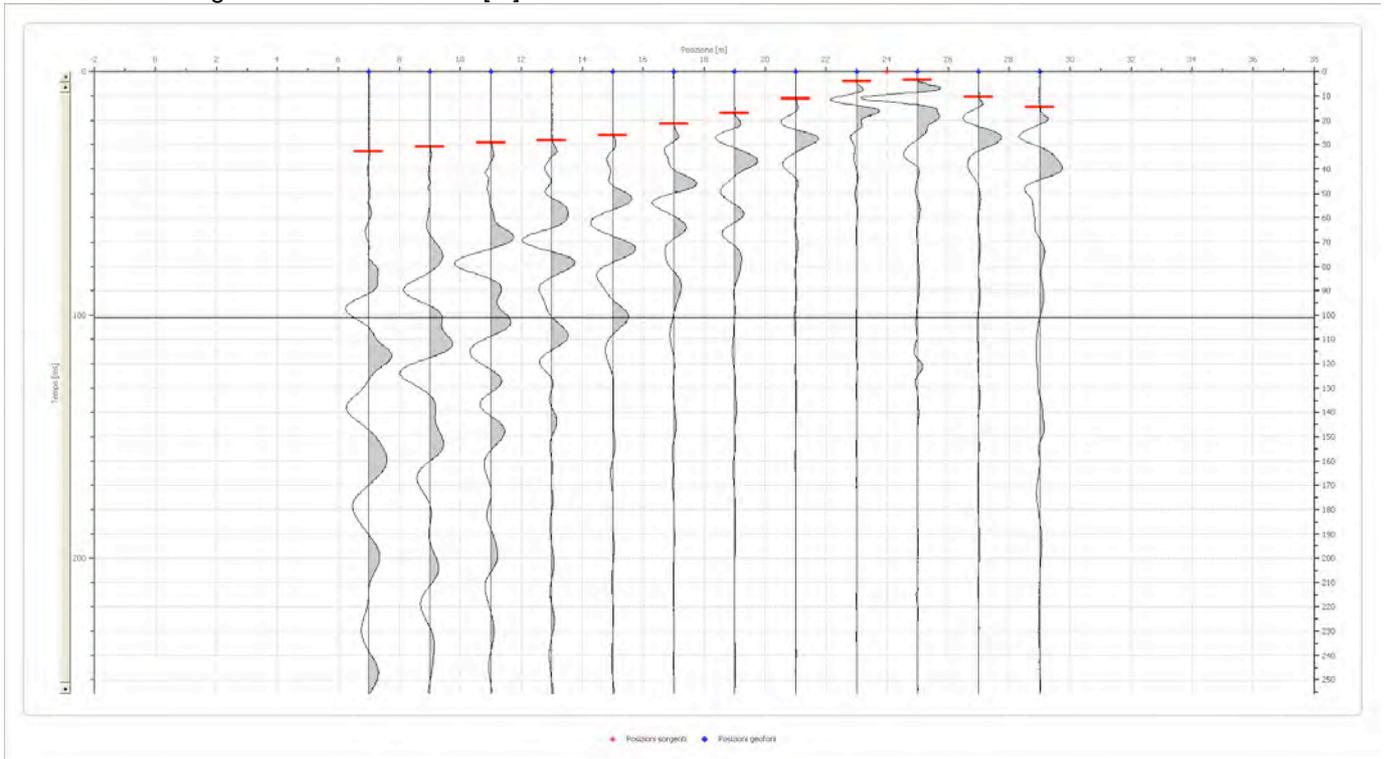
Battuta 4

Posizione sorgente X 18 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



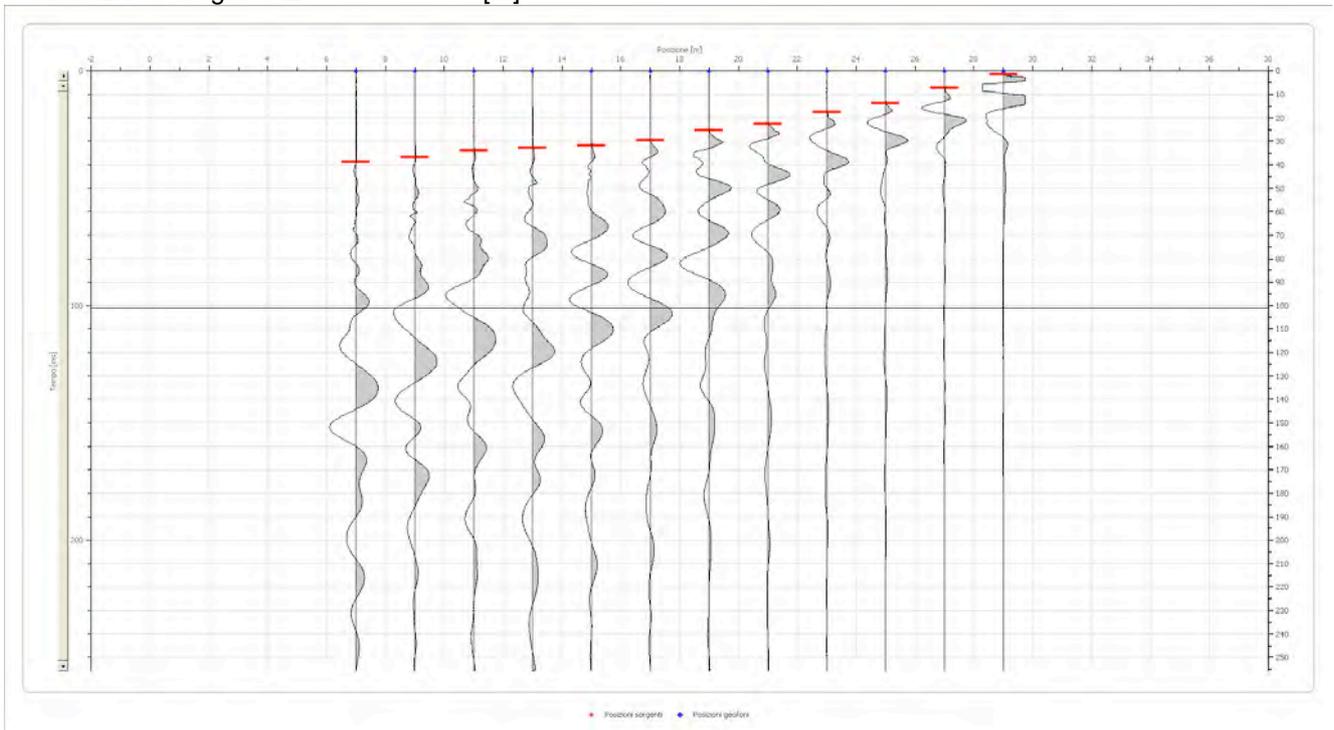
Battuta 5

Posizione sorgente X 24 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



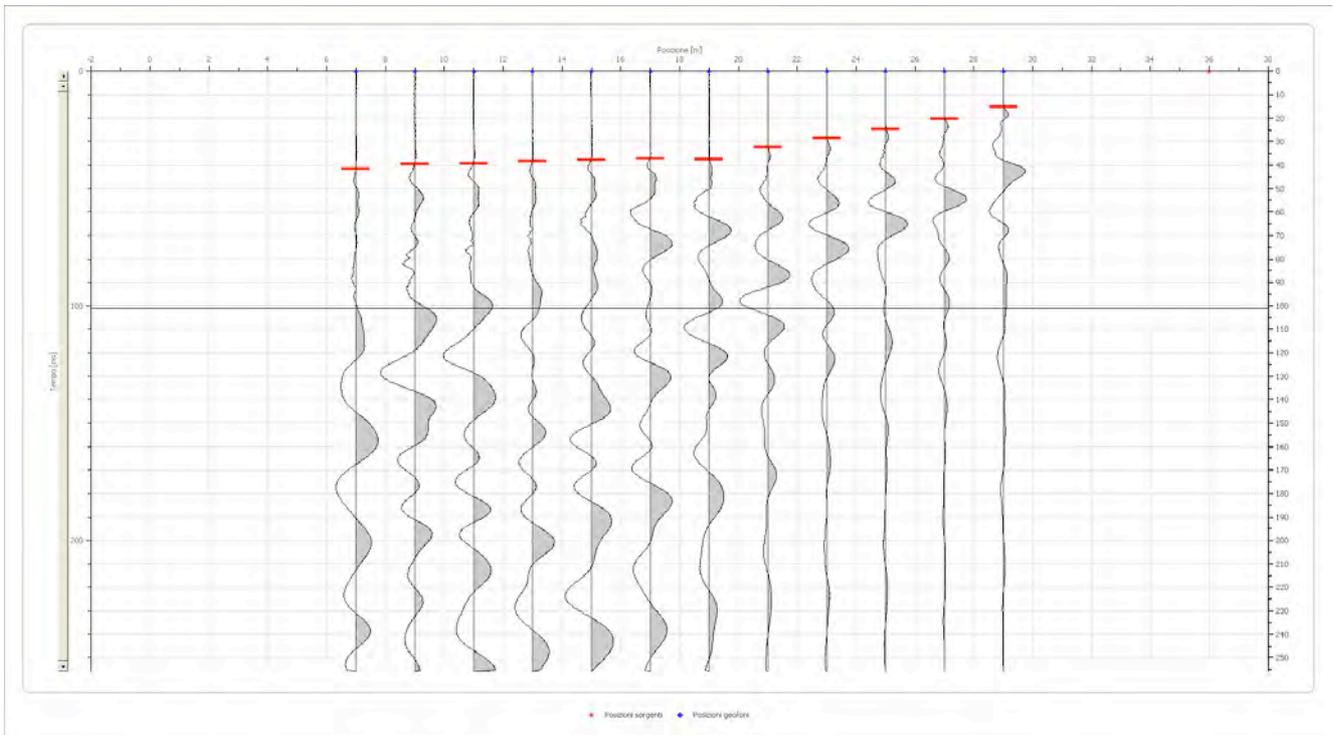
Battuta 6

Posizione sorgente X 29 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

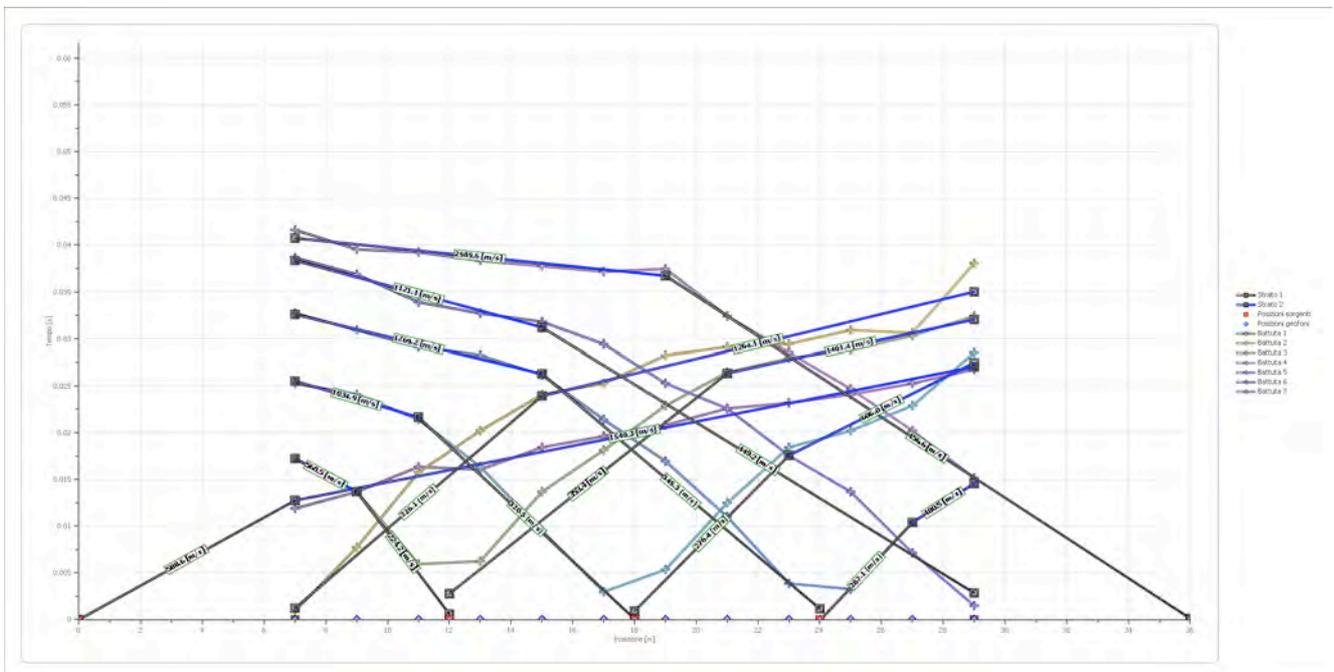


Battuta 7

Posizione sorgente X 36 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Dromocrone



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

GEOFONI	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 7.0 [m]	3.9	--
G= 9.0 [m]	3.9	--
G= 11.0 [m]	4.0	--
G= 13.0 [m]	3.8	--
G= 15.0 [m]	3.9	--
G= 17.0 [m]	4.2	--
G= 19.0 [m]	4.6	--
G= 21.0 [m]	4.7	--
G= 23.0 [m]	4.7	--
G= 25.0 [m]	4.8	--
G= 27.0 [m]	4.9	--
G= 29.0 [m]	5.5	--
Velocità [m/sec]	362.7	1972.3
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

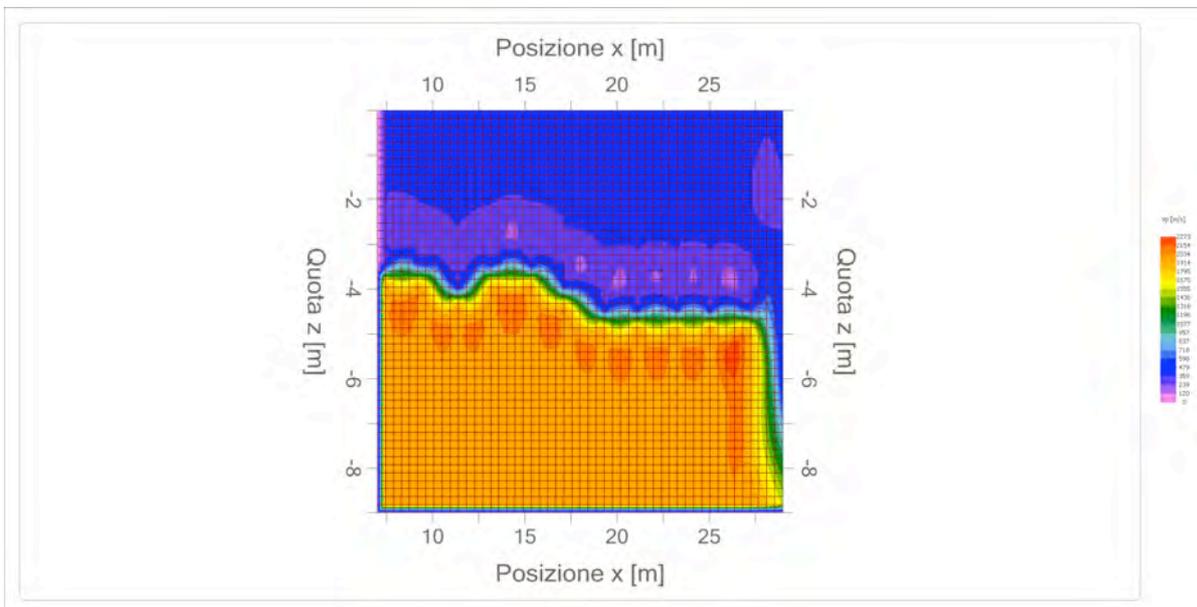
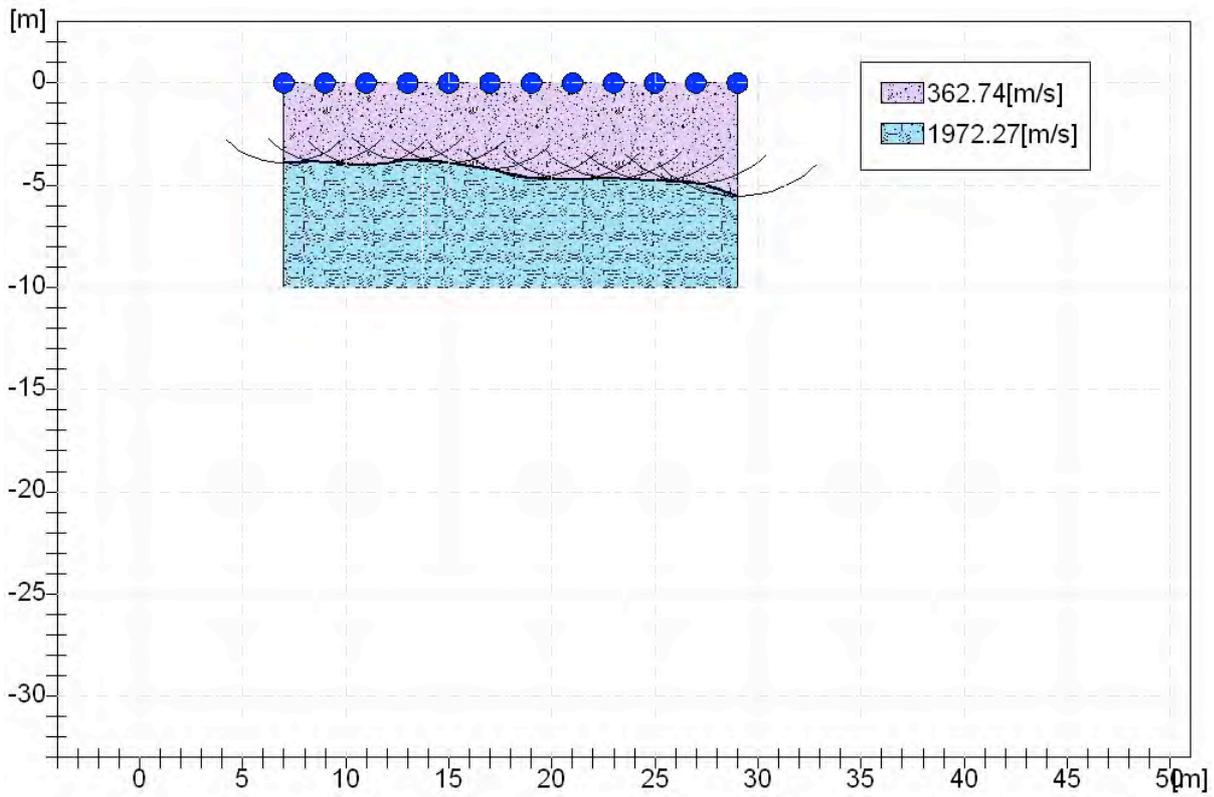
PARAMETRI GEOTECNICI	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	362.74	1972.27
Vs [m/s]	174.25	947.45
G0 [MPa]	54.66	1615.79
Ed [Mpa]	236.84	7001.75
M0 [MPa]	182.19	5385.96
Ey [Mpa]	147.57	4362.63

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



SEZIONE 4

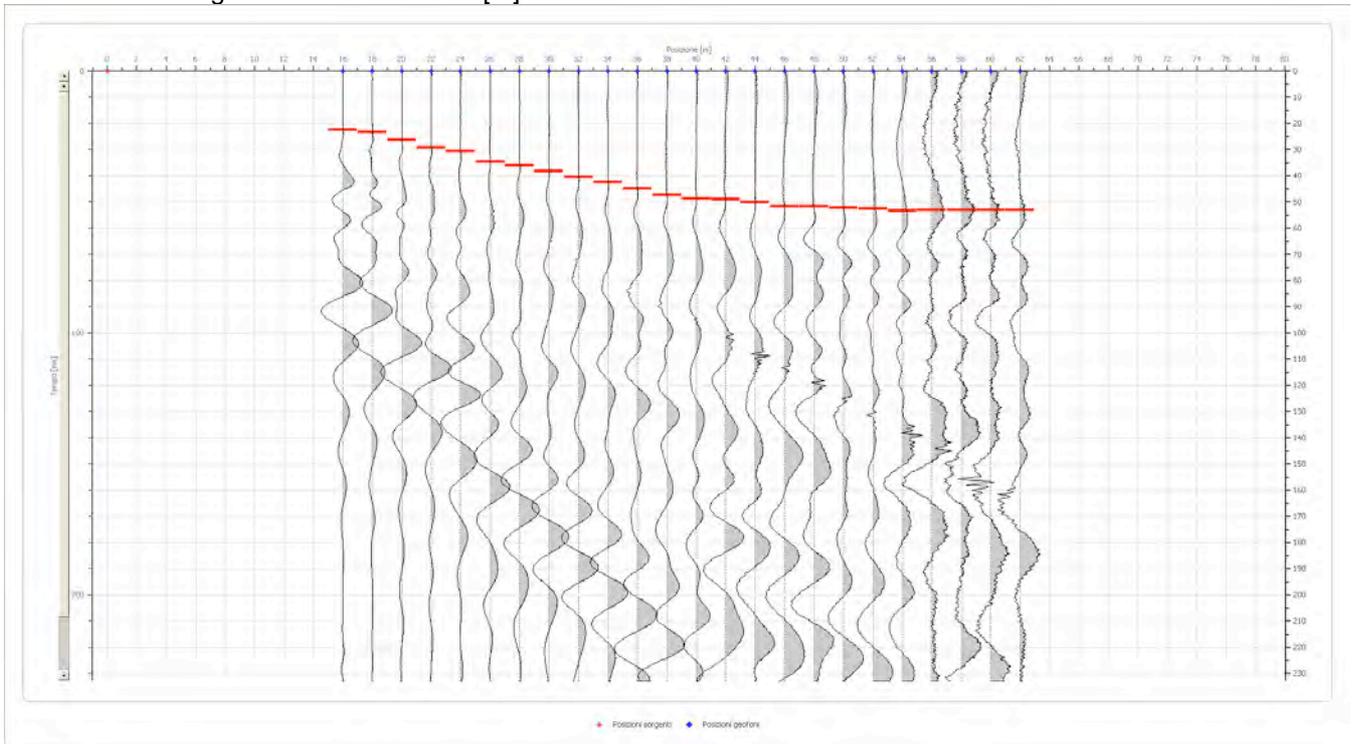
Geometria geofoni

POSIZIONE GEOFONI	QUOTE GEOFONI	BATTUTA 1	BATTUTA A 2	BATTUTA A 3	BATTUTA 4	BATTUTA 5	BATTUTA A 6	BATTUTA A 7
METRI	METRI	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC
16.0	-2.0	22.4348	3.2436	30.0032	53.0000	74.8728	50.5000	55.4113
18.0	-1.8	23.2457	5.9466	24.8675	49.4647	72.7104	51.5000	54.3301
20.0	-1.6	26.2190	14.5961	20.0000	47.5726	73.5213	50.7500	54.0598
22.0	-1.4	29.1923	17.8397	16.2179	46.4914	72.9807	51.0865	53.7500
24.0	-1.2	30.5438	22.9754	10.0011	44.8696	70.5480	51.6271	54.0598
26.0	-1.0	34.5982	27.2500	5.4060	42.9775	71.0886	52.1677	52.1677
28.0	-0.8	35.9497	32.5000	6.2169	38.9230	67.0341	51.8974	53.7895
30.0	-0.6	38.1121	34.0000	10.0011	33.2500	65.4123	51.6271	54.3301
32.0	-0.4	40.5448	35.7500	11.8931	31.7500	62.4390	52.0000	54.6004
34.0	-0.2	42.4369	39.0000	25.6784	27.8408	54.0598	52.5000	54.2500
36.0	0.0	44.8696	42.2500	28.9220	15.6773	49.1944	52.7083	53.5192
38.0	0.2	47.3023	42.2500	36.2200	5.9466	43.5181	49.4647	53.5192
40.0	0.4	48.6538	46.2211	40.0042	2.9733	39.7339	48.3835	53.7895
42.0	0.6	48.9241	47.8429	45.1399	12.1634	32.1656	49.4647	53.5192
44.0	0.8	50.0053	49.4647	47.0320	17.5694	25.1378	47.2500	54.5000
46.0	1.0	51.6271	51.8974	51.0865	23.7863	19.1912	43.2500	53.0000
48.0	1.2	51.6271	53.2500	52.4380	27.0299	10.5417	41.7500	51.0865
50.0	1.4	52.1677	52.5000	55.6816	32.7062	6.4872	41.8963	48.3835
52.0	1.6	52.4380	53.2489	57.8439	38.6527	4.5951	36.5000	47.0320
54.0	1.8	53.2489	52.1677	63.2499	45.9508	10.2714	32.9765	43.7884
56.0	2.0	52.9786	52.1677	64.8717	49.1944	15.9476	28.3814	40.2745
58.0	2.2	22.4348	52.1677	66.2232	56.7628	24.0566	22.4348	39.1933
60.0	2.4	23.2457	51.0865	68.9262	62.1687	26.4893	18.3803	35.7500
62.0	2.6	26.2190	51.7500	30.0032	65.1420	29.7500	14.5961	30.8141

Dati battute

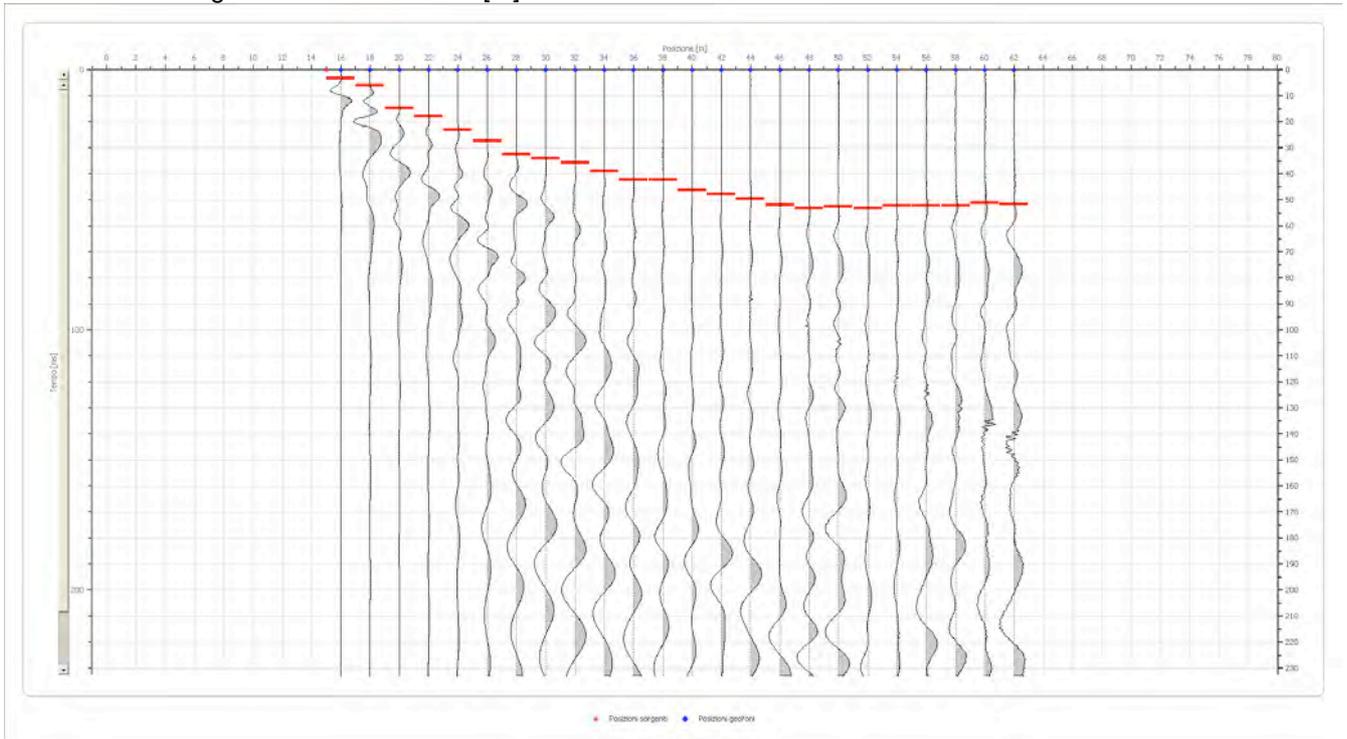
Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
Posizione sorgente Z -2 [m]



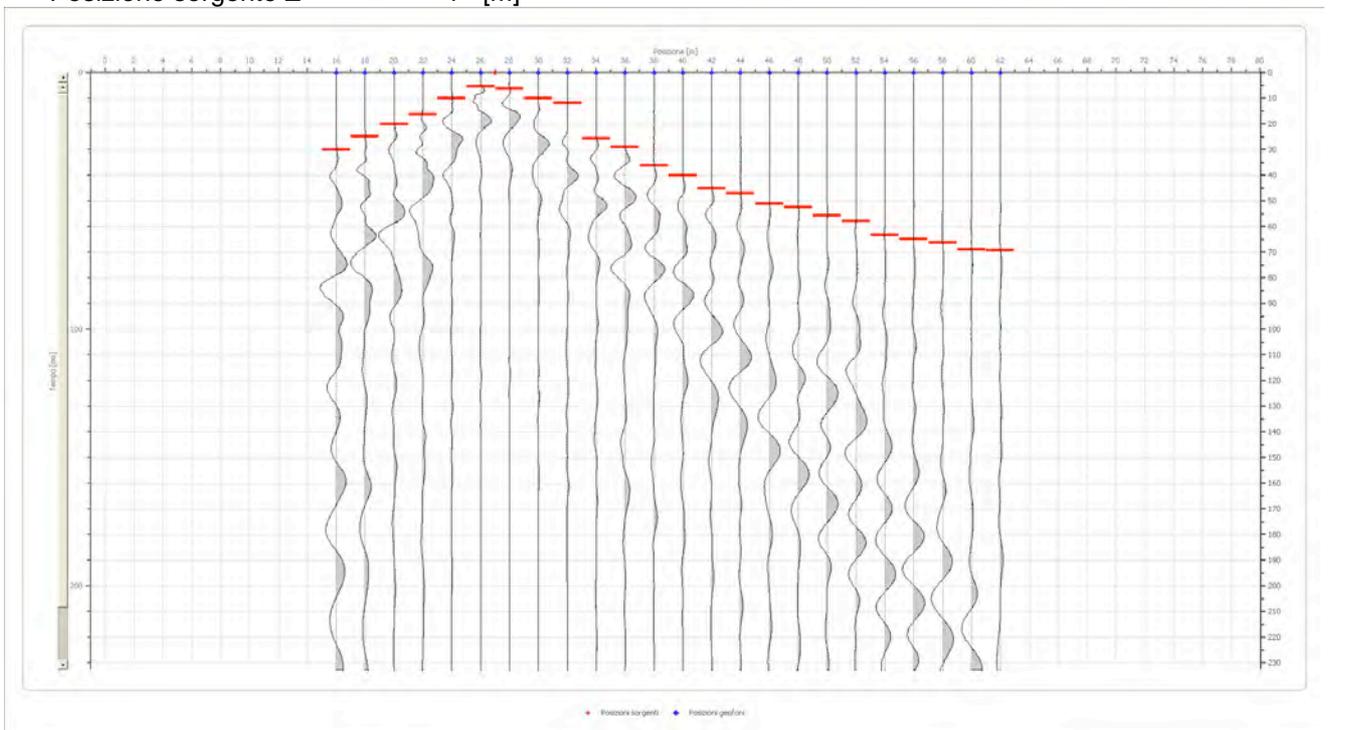
Battuta 2

Posizione sorgente X 15 [m]
 Posizione sorgente Z -1 [m]



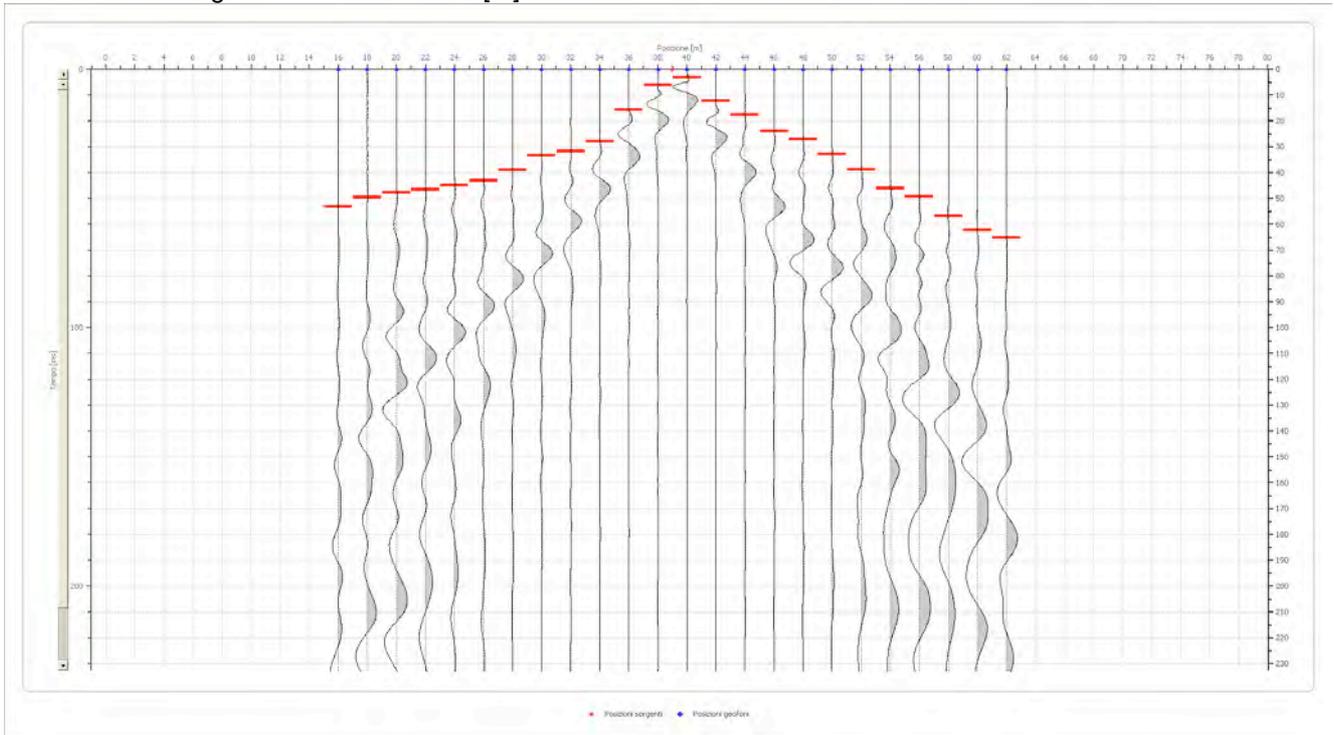
Battuta 3

Posizione sorgente X 27 [m]
 Posizione sorgente Z -1 [m]



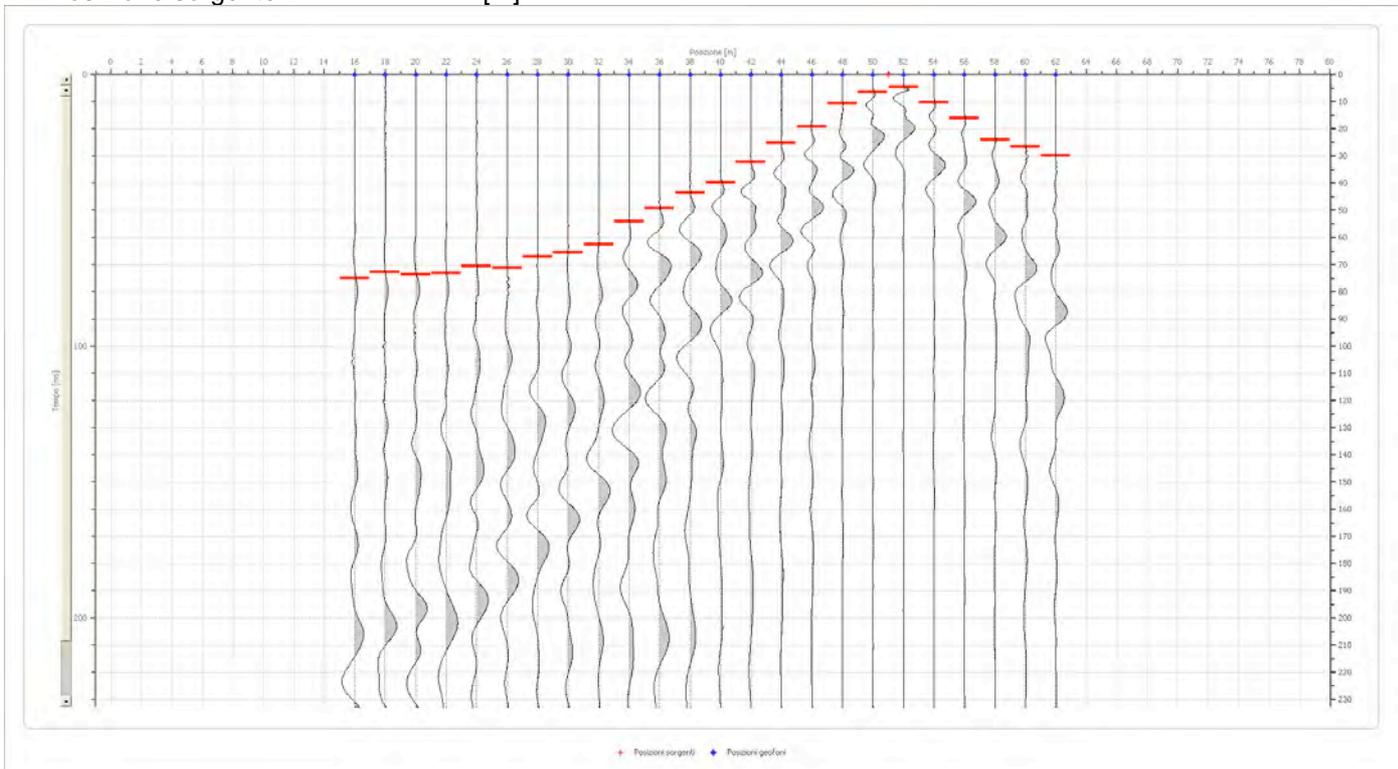
Battuta 4

Posizione sorgente X 39 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



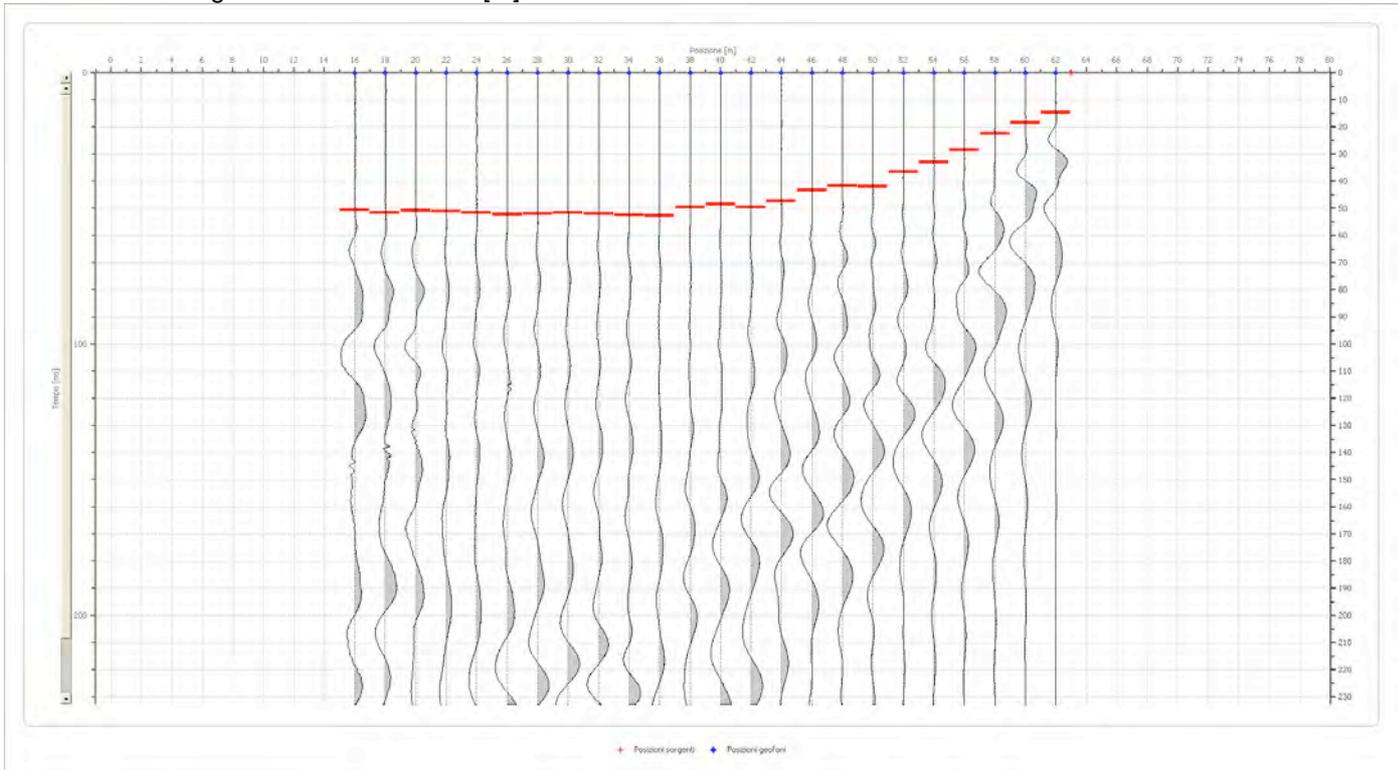
Battuta 5

Posizione sorgente X 51 [m]
 Posizione sorgente Z 1 [m]



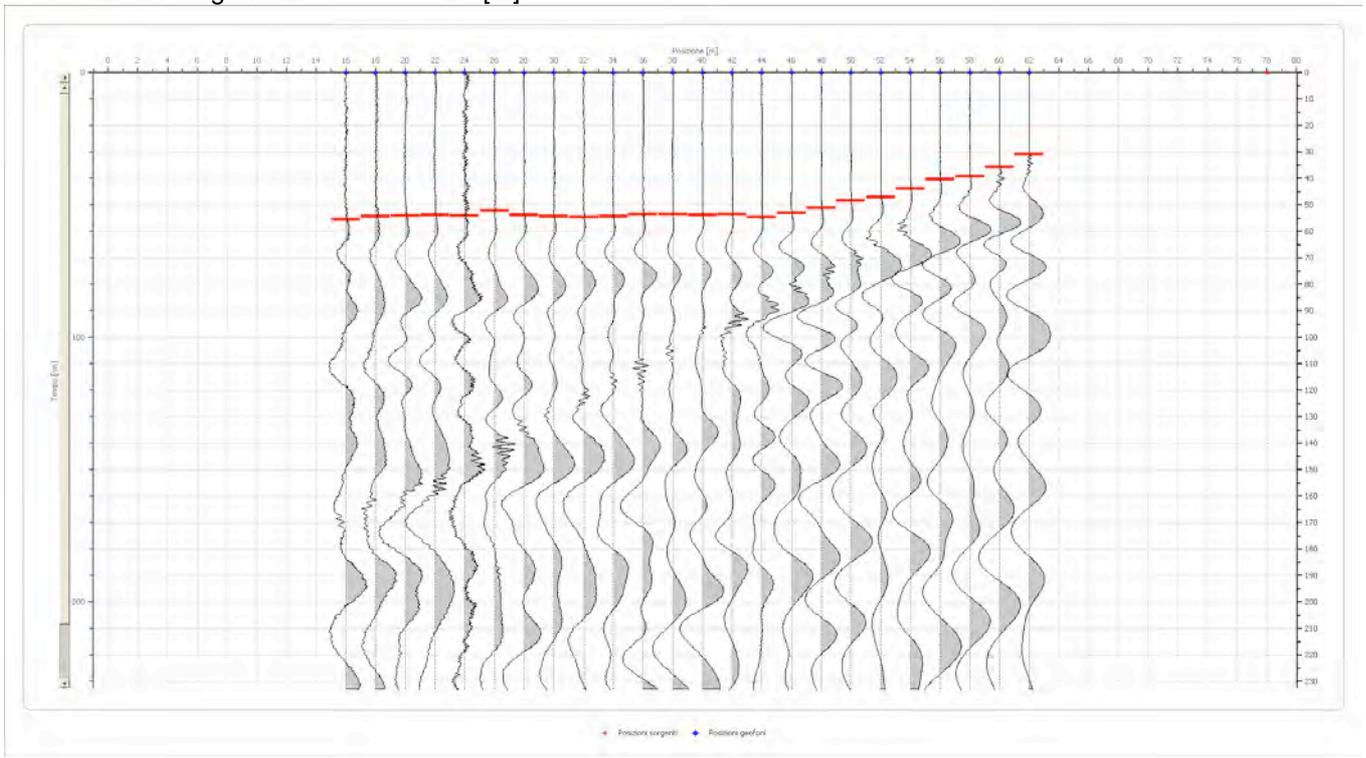
Battuta 6

Posizione sorgente X 63 [m]
 Posizione sorgente Z 2 [m]

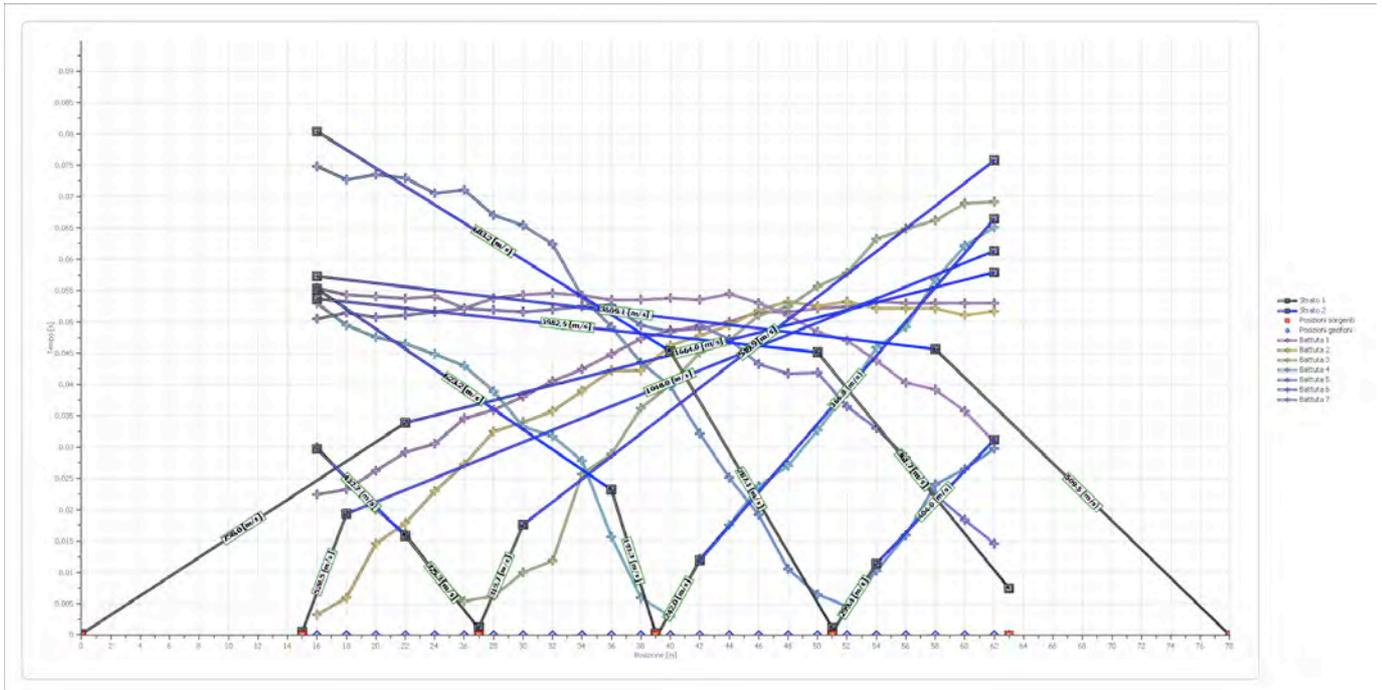


Battuta 7

Posizione sorgente X 78 [m]
 Posizione sorgente Z 2 [m]



Dromocrone



Interpretazione col metodo G.,R.M.

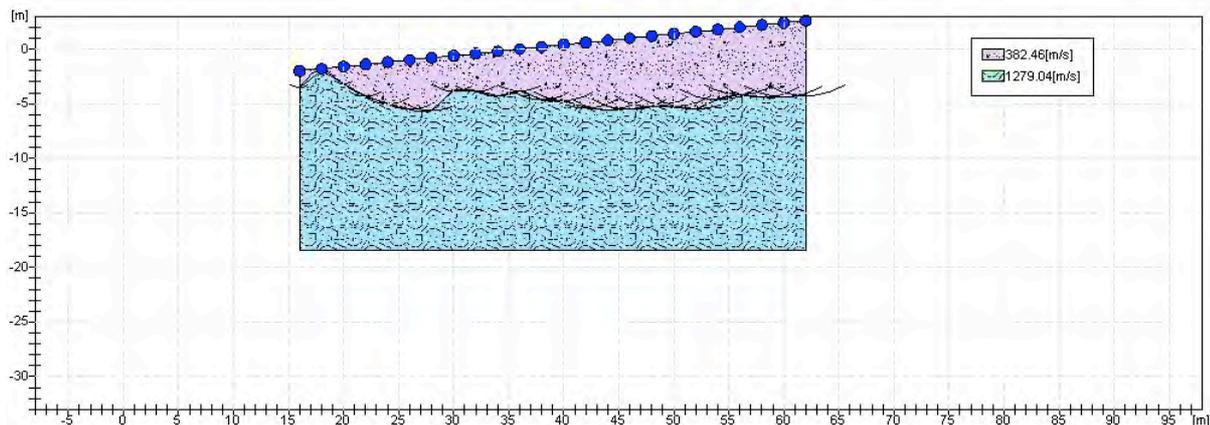
XY: 0

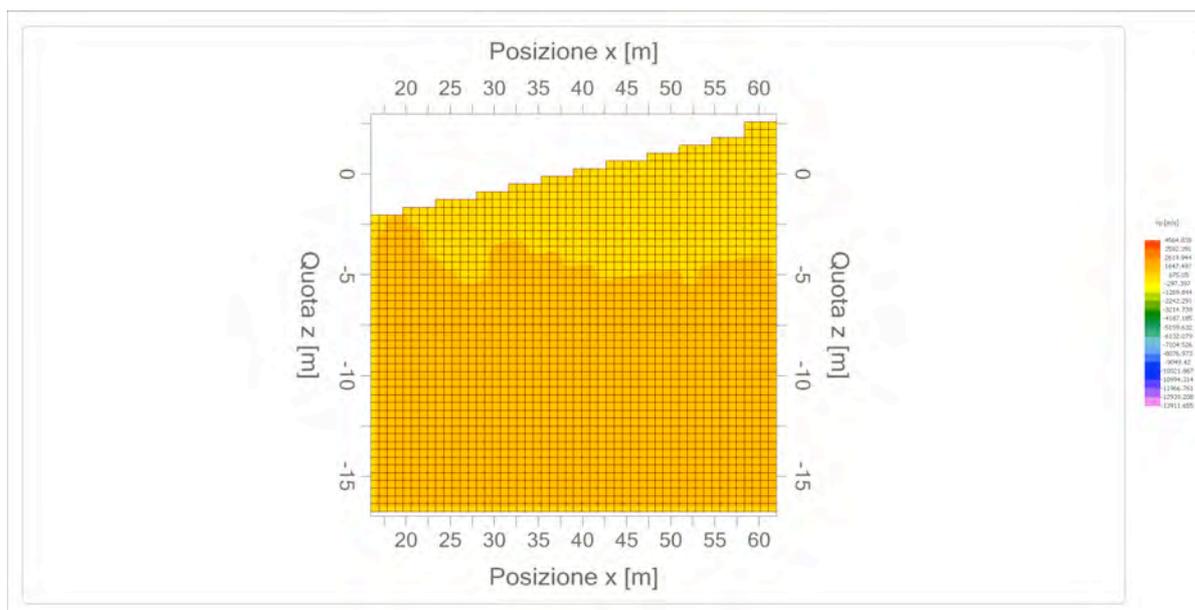
GEOFONI	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 16.0 [m]	1.5	--
G= 18.0 [m]	0.1	--
G= 20.0 [m]	1.6	--
G= 22.0 [m]	2.9	--
G= 24.0 [m]	3.8	--
G= 26.0 [m]	4.5	--
G= 28.0 [m]	4.8	--
G= 30.0 [m]	3.2	--
G= 32.0 [m]	3.5	--
G= 34.0 [m]	4.1	--
G= 36.0 [m]	3.8	--
G= 38.0 [m]	4.8	--
G= 40.0 [m]	5.1	--
G= 42.0 [m]	6.0	--
G= 44.0 [m]	6.3	--
G= 46.0 [m]	6.5	--
G= 48.0 [m]	6.5	--
G= 50.0 [m]	6.6	--
G= 52.0 [m]	7.1	--
G= 54.0 [m]	6.4	--
G= 56.0 [m]	6.1	--
G= 58.0 [m]	6.6	--
G= 60.0 [m]	6.8	--
G= 62.0 [m]	6.9	--
Velocità [m/sec]	382.5	1279.0
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

PARAMETRI GEOTECNICI	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	382.46	1279.04
Vs [m/s]	183.73	614.43
G0 [MPa]	60.76	679.55
Ed [Mpa]	263.29	2944.70
M0 [MPa]	202.53	2265.15
Ey [Mpa]	164.05	1834.77

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;





SEZIONE 5

Dati generali

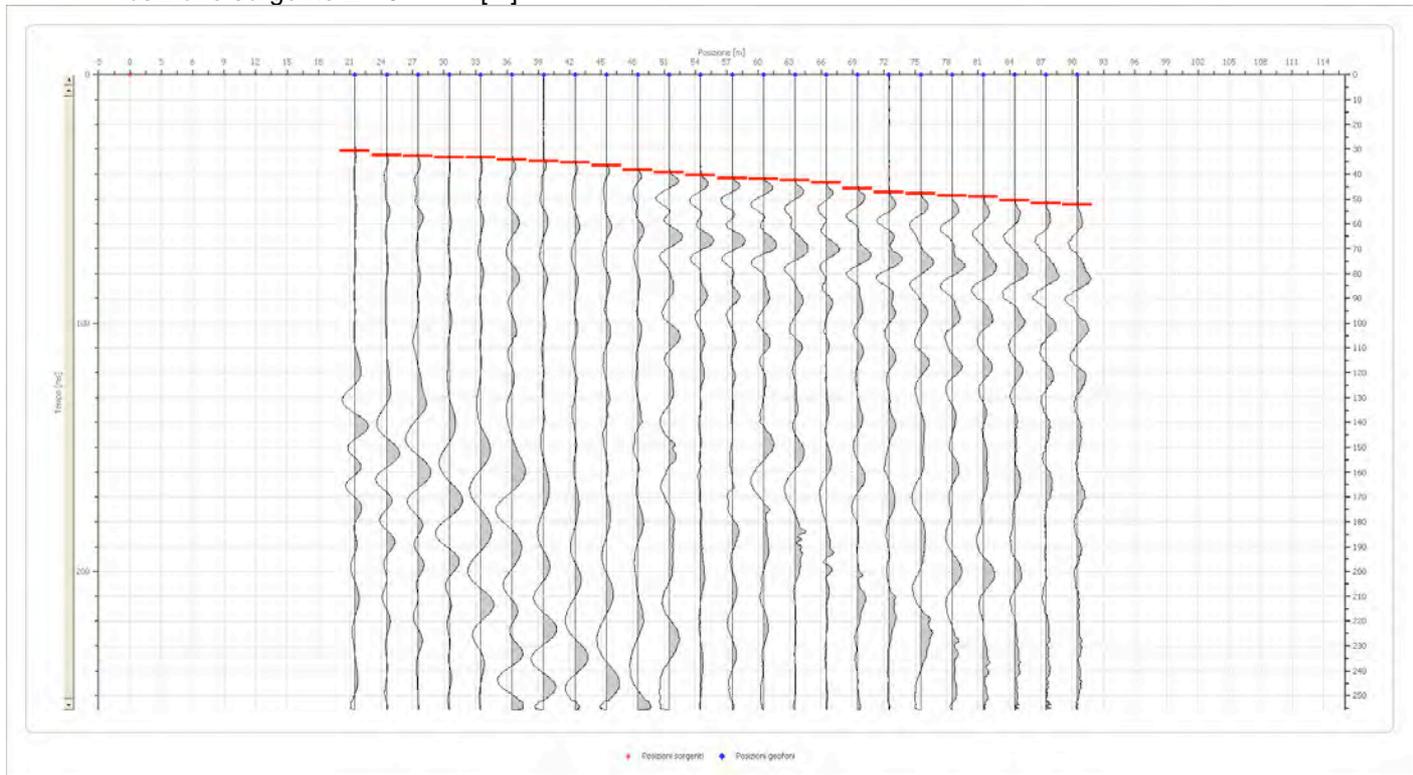
POSIZIONE GEOFON I	QUOTE GEOFONI	BATTUTA 1	BATTUTA A 2	BATTUTA A 3	BATTUTA 4	BATTUTA 5	BATTUTA A 6	BATTUTA A 7
METRI	METRI	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC	TEMPO SEC
21.5	0	30.6249	6.8386	25.5703	32.7500	43.7073	48.7619	49.7500
24.5	0	32.4088	14.8664	22.0023	28.2500	40.4367	47.5000	50.2500
27.5	0	32.7062	20.0000	20.0000	25.7500	39.2474	46.6806	50.2500
30.5	0	33.3008	24.0836	17.8397	26.1649	37.4634	45.5000	49.7500
33.5	0	33.3008	25.2729	13.9744	21.7500	35.0848	42.0000	48.1672
36.5	0	34.1928	25.8676	6.8386	20.0000	32.7062	40.1394	45.0000
39.5	0	34.7875	26.1649	6.5412	18.4344	30.3275	36.2741	41.9233
42.5	0	35.3821	27.6516	11.5958	16.3531	28.8409	34.4901	39.8420
45.5	0	36.5714	27.6516	12.4878	13.9744	27.3542	34.1928	38.9501
48.5	0	38.3554	29.1382	15.1638	13.3798	26.4623	32.1115	36.5000
51.5	0	39.2474	31.8142	16.0557	11.8931	24.3810	31.8142	39.2500
54.5	0	40.4367	33.3008	18.7317	8.0279	22.8943	30.5000	36.2500
57.5	0	41.6260	34.1928	20.0000	7.1359	20.0000	29.0000	34.2500
60.5	0	41.9233	34.7875	20.0000	11.5958	19.0290	27.7500	34.1928
63.5	0	42.5180	35.5000	23.4890	12.4878	17.5424	25.5000	31.0000
66.5	0	43.4100	37.1661	24.3810	13.3798	15.1638	25.2500	31.2195
69.5	0	45.7886	38.9501	27.0569	16.0557	13.3798	24.2500	31.2195
72.5	0	47.2753	41.6260	28.8409	18.7317	10.4065	23.2500	31.2195
75.5	0	47.8699	42.5180	30.2500	21.7050	5.0546	22.8943	28.2462
78.5	0	48.7619	43.7500	32.7500	24.0836	12.7851	21.4077	27.6516
81.5	0	49.0592	45.4913	33.2500	25.2729	15.4611	20.0000	27.6516
84.5	0	50.5459	46.9779	33.5000	26.1649	16.6504	15.4611	25.8676
87.5	0	51.7352	47.7500	35.7500	28.2462	20.0000	14.2718	25.8676
90.5	0	30.6249	48.7619	25.5703	29.1382	43.7073	8.0279	49.7500

Geometria geofoni

Dati battute

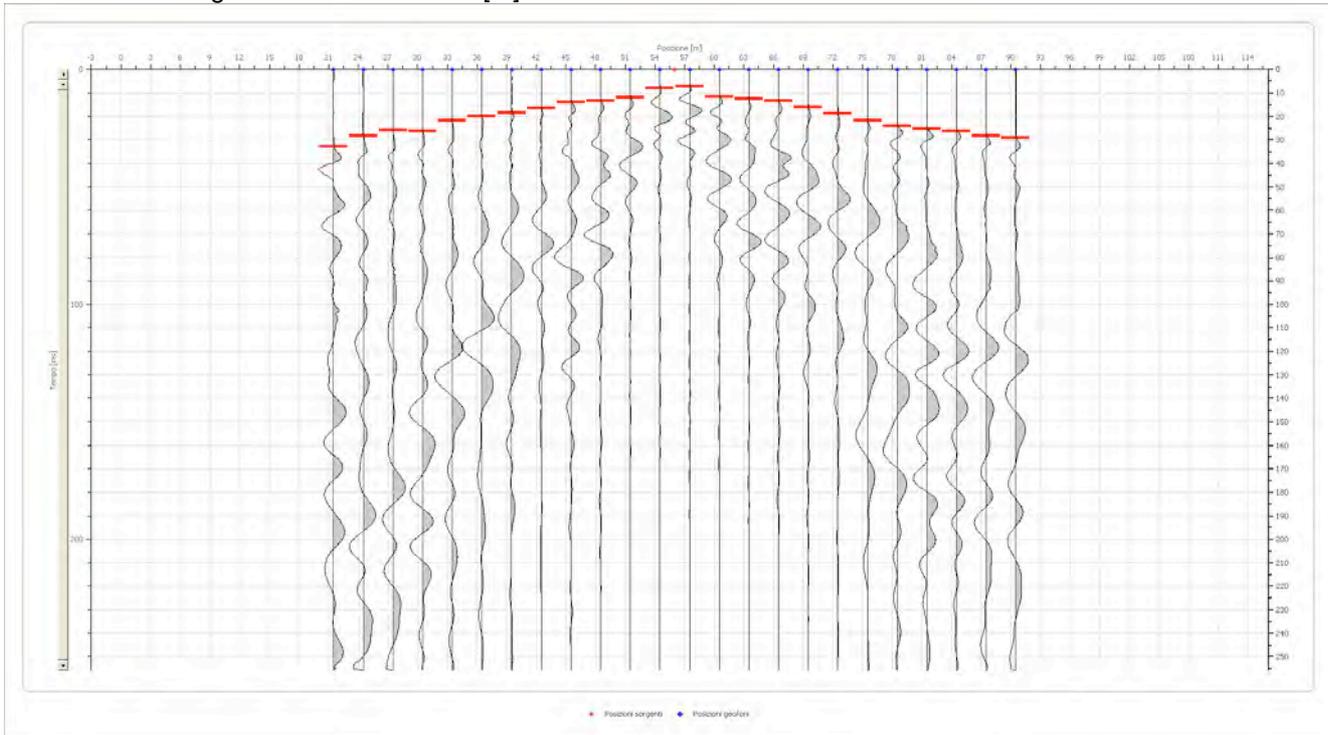
Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



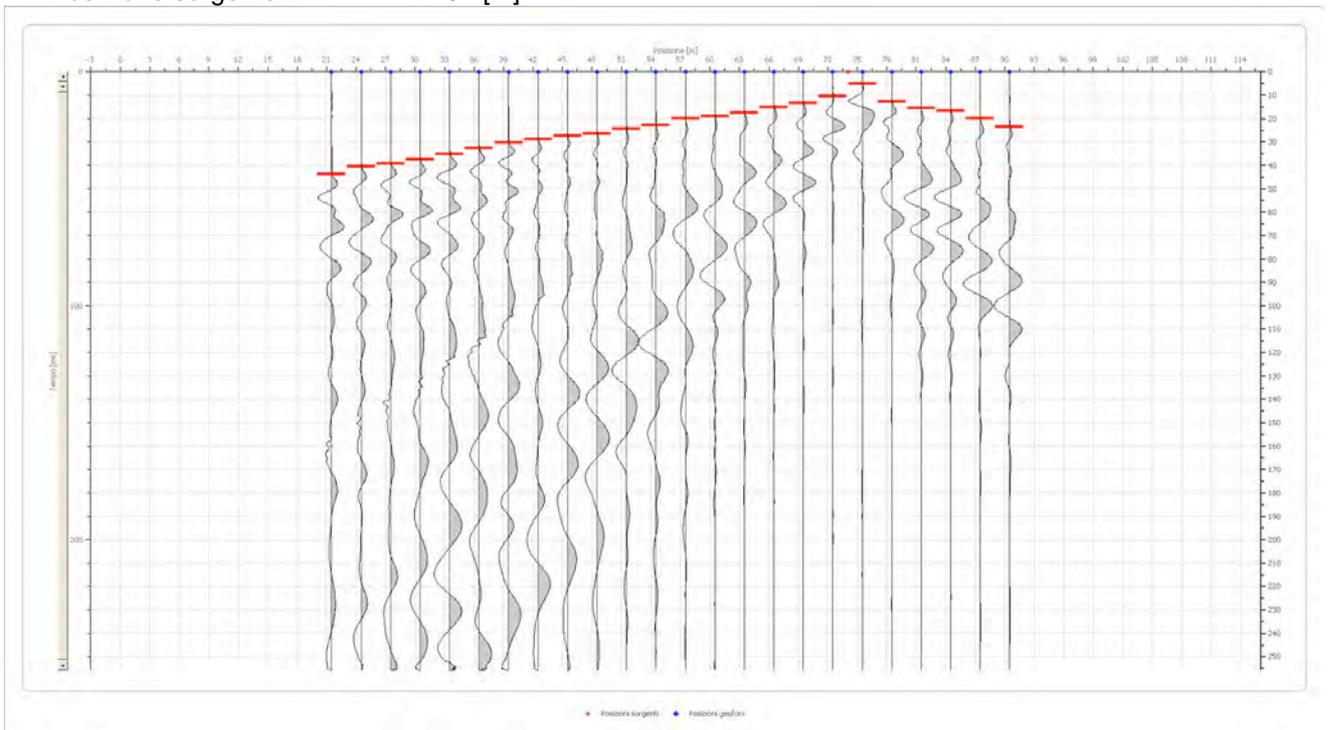
Battuta 4

Posizione sorgente X 56 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



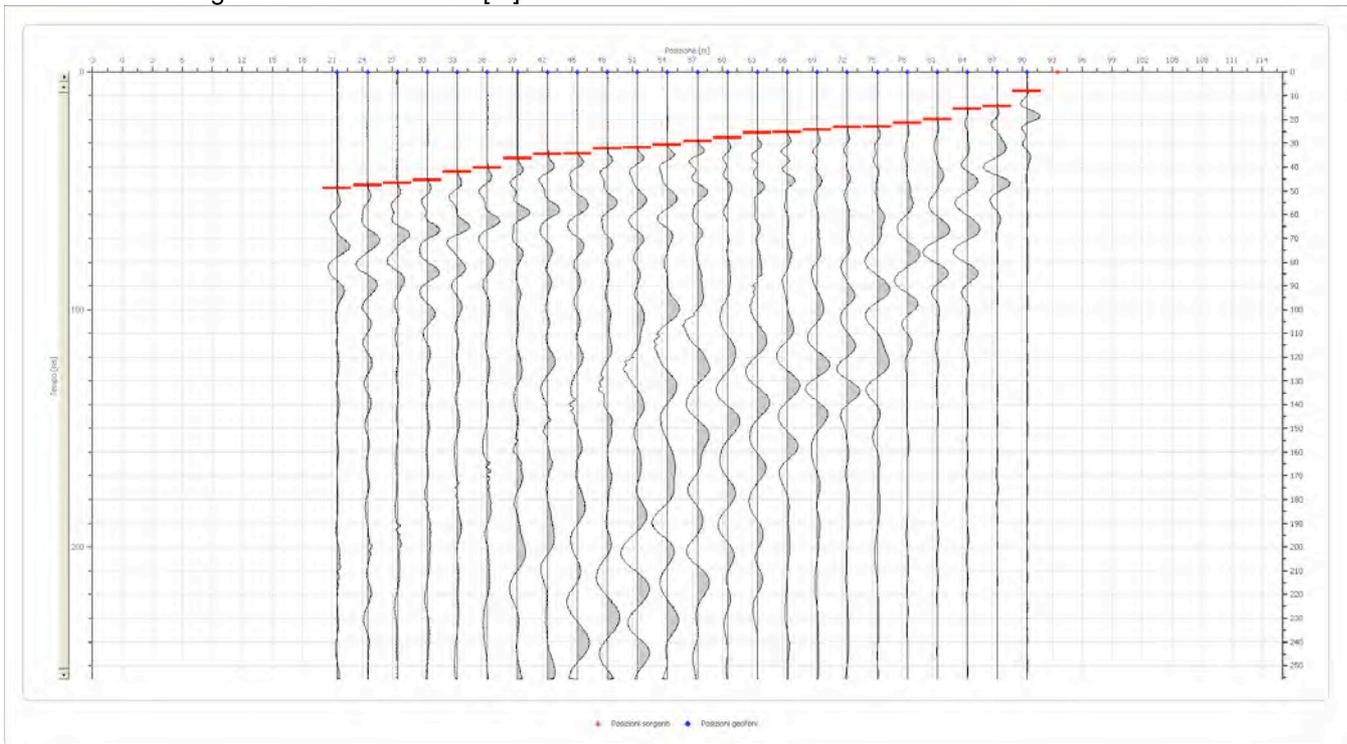
Battuta 5

Posizione sorgente X 74 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



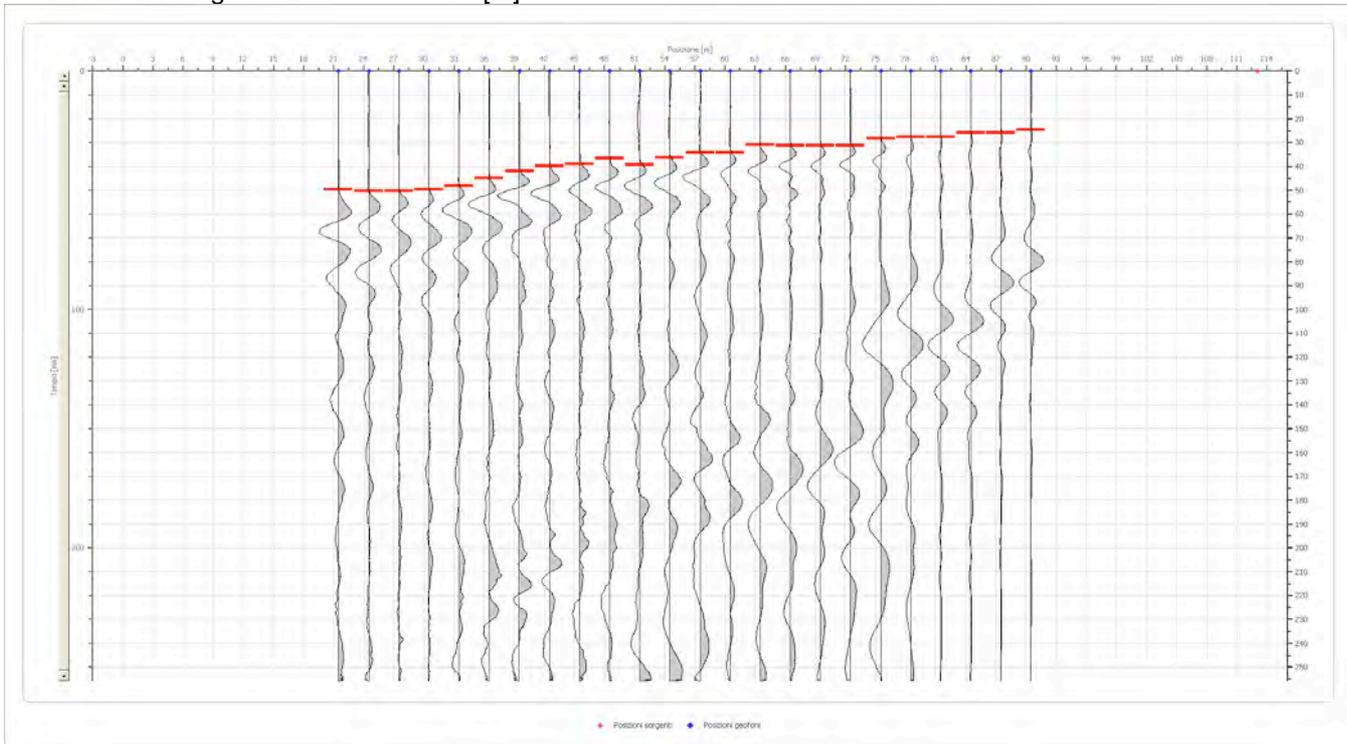
Battuta 6

Posizione sorgente X 94 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

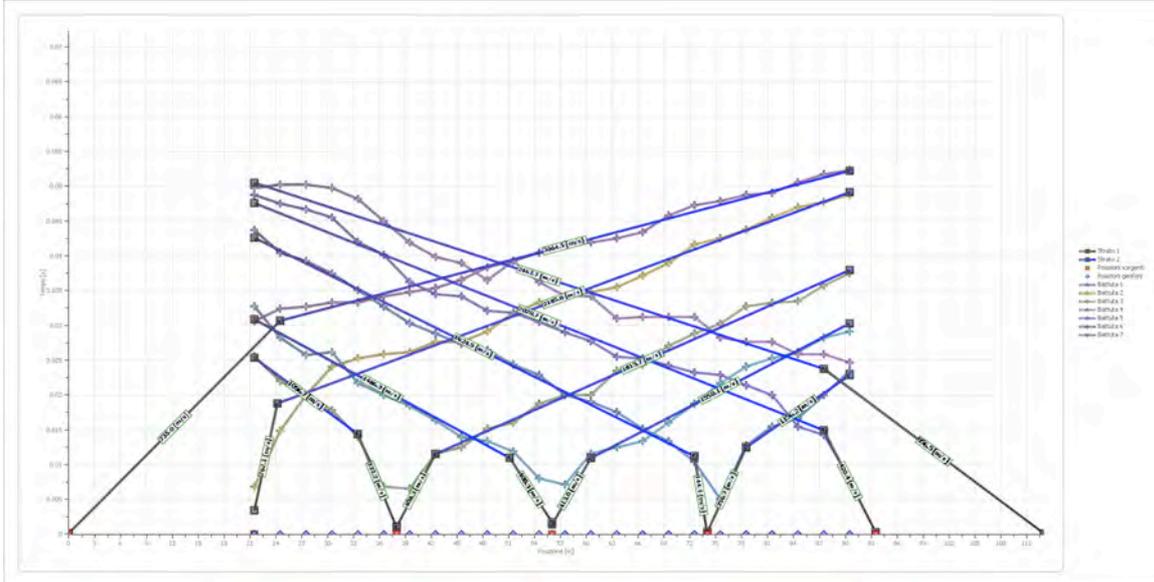


Battuta 7

Posizione sorgente X 113 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Dromocrone



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

GEOFONI	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 21.5 [m]	4.6	--
G= 24.5 [m]	4.3	--
G= 27.5 [m]	4.6	--
G= 30.5 [m]	4.9	--
G= 33.5 [m]	4.3	--
G= 36.5 [m]	4.0	--
G= 39.5 [m]	3.5	--
G= 42.5 [m]	3.1	--
G= 45.5 [m]	3.0	--
G= 48.5 [m]	3.1	--
G= 51.5 [m]	3.4	--
G= 54.5 [m]	3.4	--
G= 57.5 [m]	3.2	--
G= 60.5 [m]	3.0	--
G= 63.5 [m]	2.8	--
G= 66.5 [m]	2.9	--
G= 69.5 [m]	3.2	--
G= 72.5 [m]	3.4	--
G= 75.5 [m]	3.8	--
G= 78.5 [m]	3.8	--
G= 81.5 [m]	4.0	--
G= 84.5 [m]	3.5	--
G= 87.5 [m]	3.8	--
G= 90.5 [m]	3.8	--
Velocità [m/sec]	443.8	2235.5
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

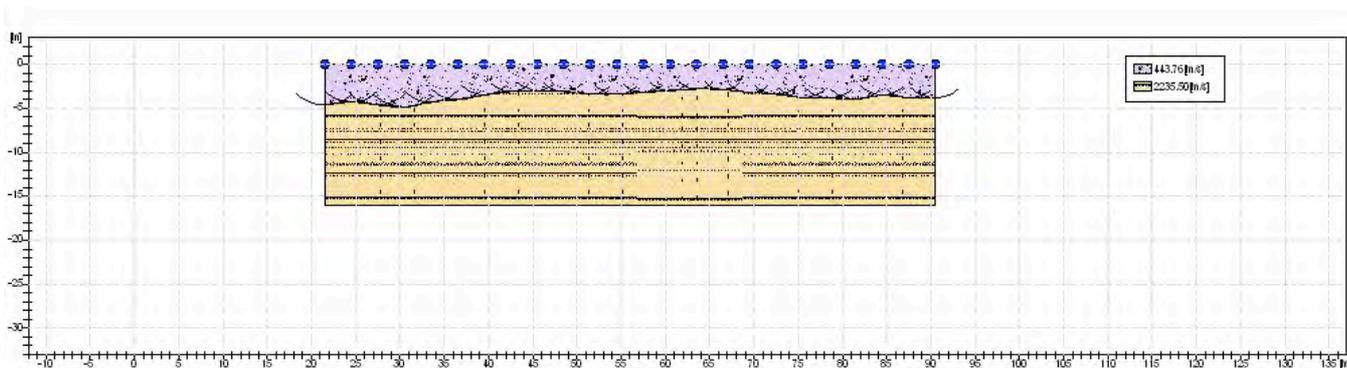
PARAMETRI GEOTECNICI	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	443.76	2235.50
Vs [m/s]	213.18	1073.90
G0 [MPa]	81.80	2075.86
Ed [Mpa]	354.46	8995.41
M0 [MPa]	272.66	6919.55
Ey [Mpa]	220.86	5604.83

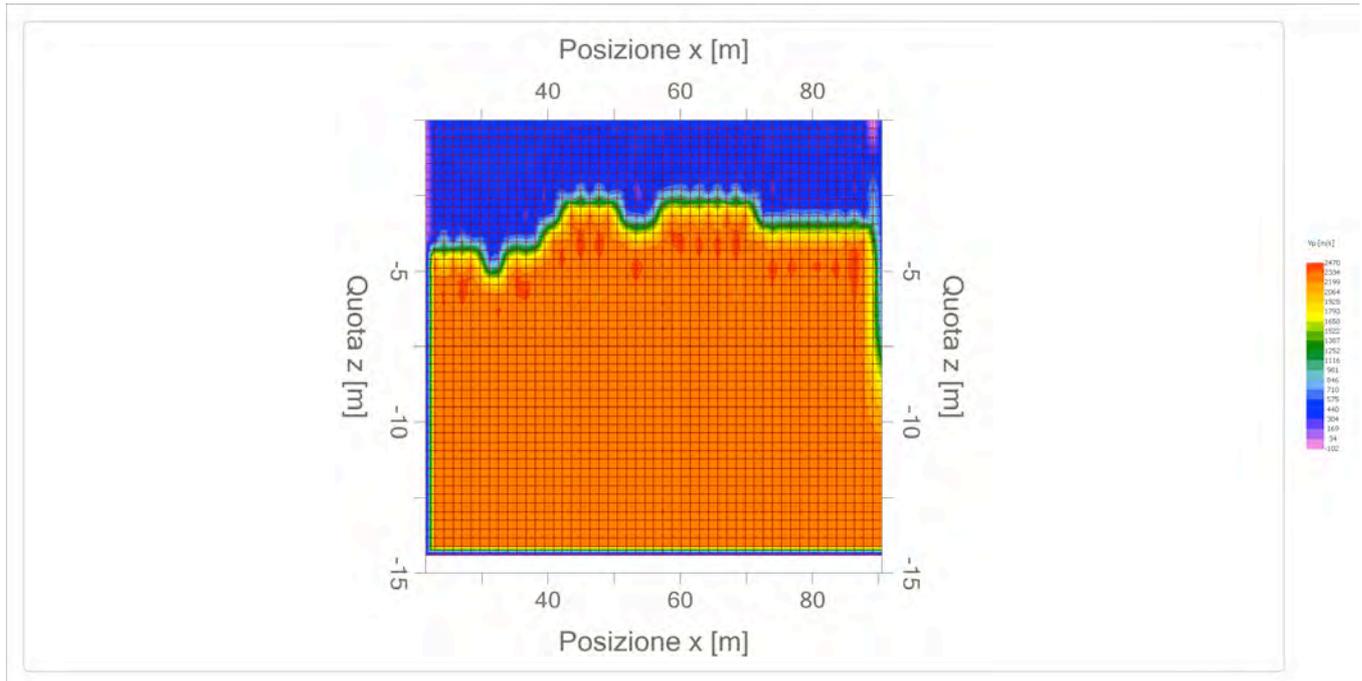
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





13. INDAGINE SISMICA MASW

13.1 - INTRODUZIONE

Al fine di determinare la risposta sismica locale dell'area di studio è stata eseguita una serie di registrazioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio Vs.

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della Vs30 (il valore medio ponderato della Vs nei primi 30 m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

in cui Vs_i e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

13.2 - ACQUISIZIONE SISMOGRAMMI

Gli impulsi sismici registrati dai geofoni posti sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando un sismografo a 24 canali della ditta Pasi srl a 16 bit. La linea geofonica è stata realizzata tramite 24 geofoni R.T. Clark a 4.5 Hz uniti a cavi Geospace. La distanza intergeofonica adottata è di m 2 il tempo di registrazione degli impulsi è di 1 sec.. L'energizzazione è stata effettuata tramite una mazza da 10 kg agente

su una piastra metallica e Trigger con Offset rispettivamente di m 2,0 – m 5.0 – 10 m. Il disposizione dell'indagine è riportato in allegato A1.

13.3 - METODO

Le prospezioni sismiche Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio S attraverso l'analisi delle onde di superficie o di Rayleigh. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di base o di gruppo (Achenbach, J.D. 1999, Aki, K. And Richards, P.G. 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di base (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi diffondono informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano in profondità e quindi vanno a interessare gli strati più profondi del suolo. Il metodo d'indagine Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Il metodo attivo utilizzato per la seguente prospezione, acquisisce la misura delle onde superficiali da uno stendimento lineare di geofoni energizzato in asse con lo stendimento stesso. Il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze comprese tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 – 50 metri in funzione della rigidità del suolo. La profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e le sue frequenze, quindi la geometria dello stendimento interferisce in maniera trascurabile.

La prospezione MASW si realizza con un Array da 24 o più geofoni con distanza intergeofonica di solito variabile tra 0.5 e 2 metri. Gli Offset vengono effettuati con distanze massime di 10 metri. Per le acquisizioni si prevedono tempi di registrazione lunghi nell'ordine di 1-2 secondi con intervallo di campionamento compreso tra 0.25 – 1 ms.

I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazioni curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio Vs. Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW 4.2 Pro.

13.4 CONCLUSIONI

I dati acquisiti (Fig. 10) sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione e modellazione) per ricostruire il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs.

I risultati dell'elaborazione riportati in (Fig. 11) mostrano lo spettro determinato con il piking delle curve di dispersione e le curve del modello individuato dall'inversione evidenziato anche nella tabella 1 e nelle (Fig 12 e Fig 13).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro Vs30. Il calcolo delle Vs eseguito evidenzia una velocità media pari a **320 m/s** .

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella **categoria C** (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri caratterizzati da miglioramento graduale delle proprietà meccaniche con l'aumentare della profondità con valori delle Vs30 compresi tra 180 ms e 360 ms).

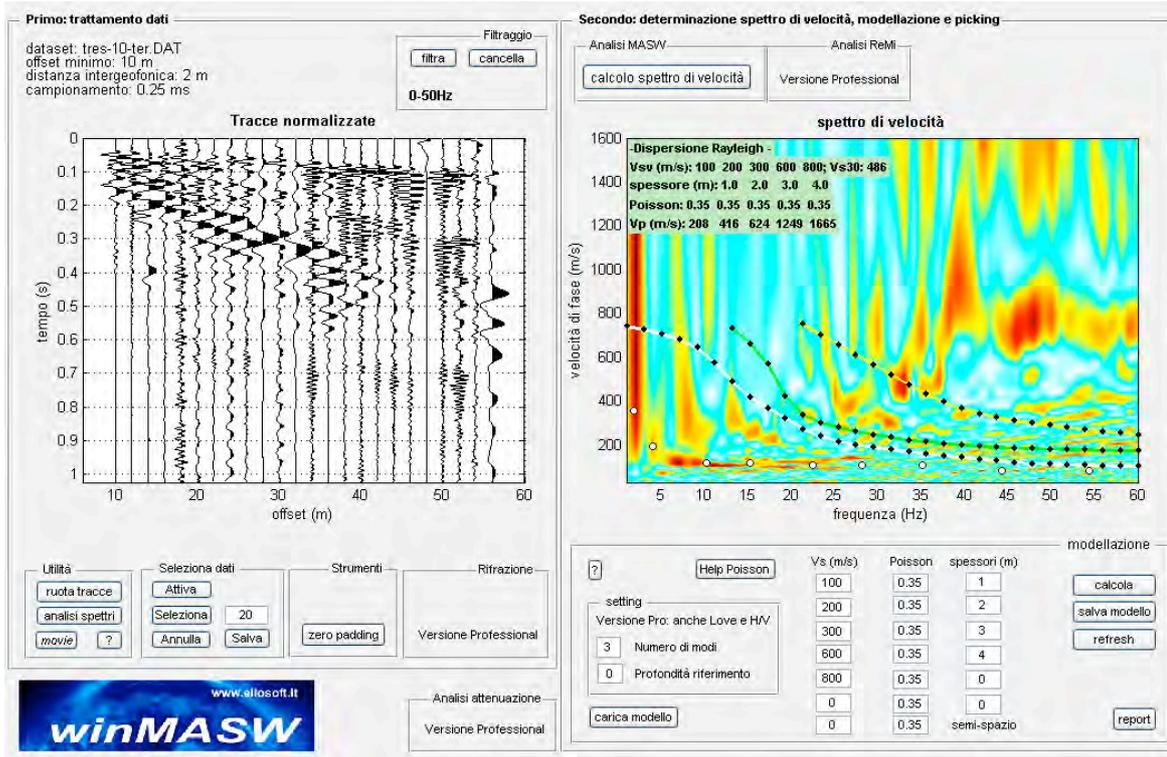


FIG.10 – SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO

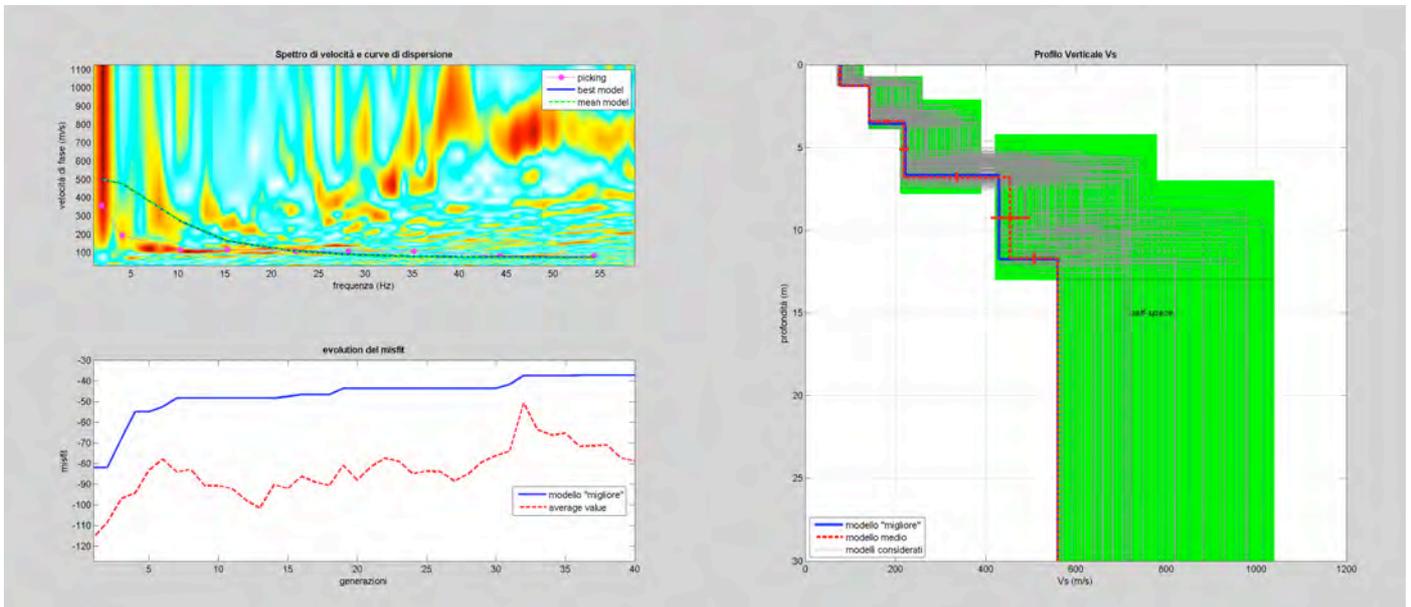


FIG.11 – INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE - PROFILO VERTICALE VS

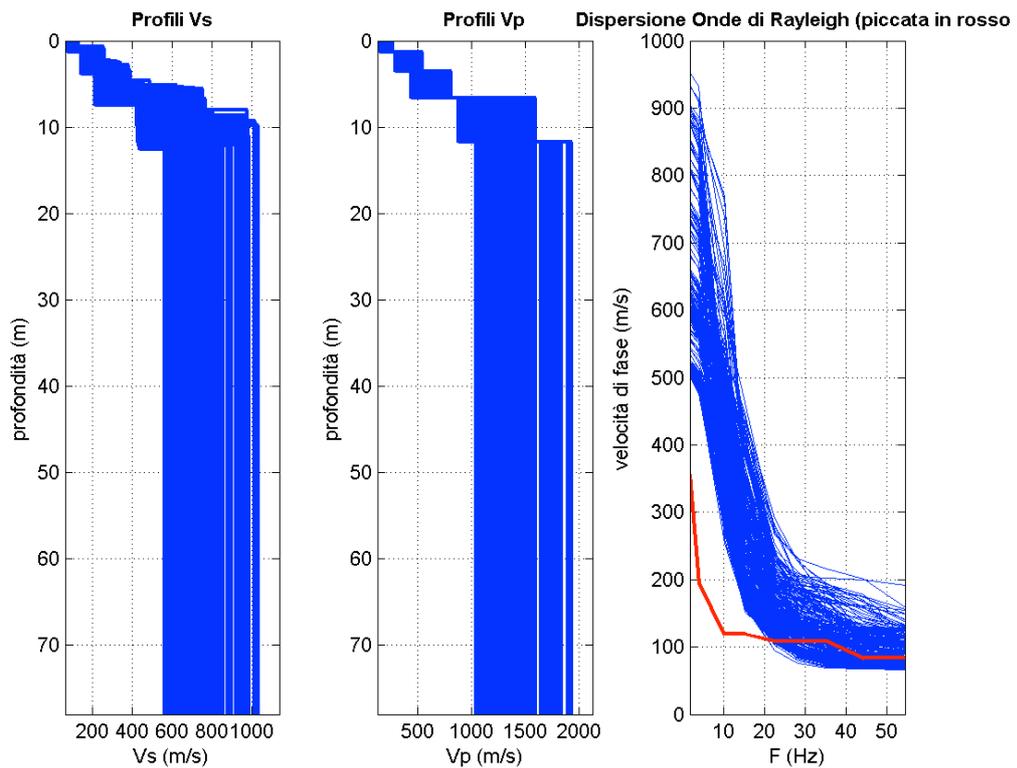


FIG.12 – MODELLI DI PROFILO VP - VS

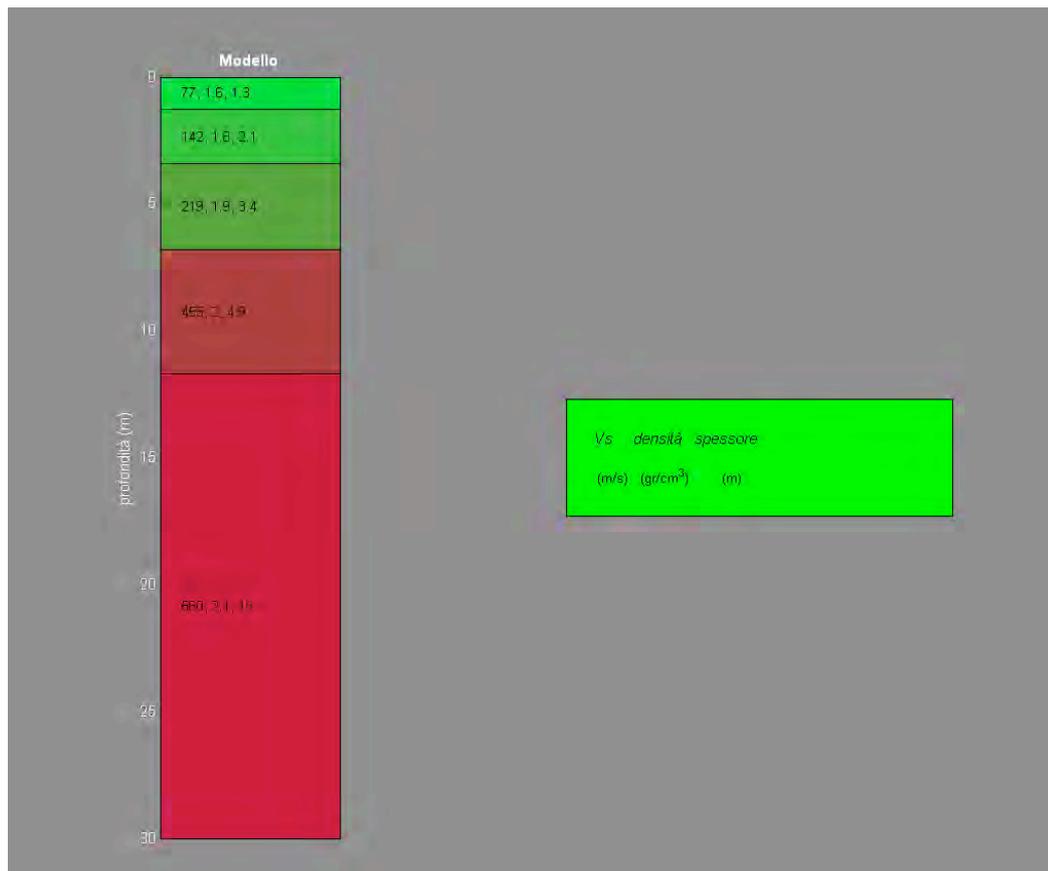


FIG.13 – STRATIGRAFIA ONDE SH

STRATI	MODELLO	SPESSORE	Vp	Vs	γ	ν	E	G	K
		m	m/s	m/s	gr/cmc	"	Mpa	Mpa	Mpa
1	medio	1.30	160	77	1.61	0.35	26	10	29
	migliore	1.30	146	78	1.62	0.35	27	10	30
2	medio	2.10	300	142	1.76	0.35	96	35	107
	migliore	2.26	296	142	1.76	0.35	96	37	107
3	medio	3.40	456	219	1.87	0.35	241	89	268
	migliore	3.12	461	221	1.87	0.35	248	92	274
4	medio	4.90	874	455	2.03	0.35	1141	357	1267
	migliore	5.06	895	430	2.02	0.35	1012	375	1124
5	medio	Semi-spazio	1048	560	2.07	0.30	1684	648	1405
	migliore	Semi-spazio	1048	560	2.07	0.30	1684	648	1405

Tab. 1 Tabella riassuntiva dei parametri dinamici calcolati per gli spessori discriminati:

Vp: Onde di compressione stimate;

Vs: Onde di taglio;

γ : Peso di volume;

ν : Modulo di Poisson;

E: Modulo elastico di Young;

G: Modulo di taglio;

K: Modulo di compressione.

14. CONDIZIONI GEOLOGICHE IN AMPLIFICAZIONE SISMICA

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 (di seguito NTC 2008) la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, è definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente". In sintesi, non si progetta più stimando l'azione sismica a partire dalla "zona", ma calcolandola ad hoc per il sito di progetto, inserendo la localizzazione nella mappa nazionale di pericolosità (Allegato B delle NTC 2008). Ne consegue che la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Alla luce soprattutto del mutato approccio progettuale, preme l'esigenza di aggiornare l'elenco riguardante la classificazione sismica, anche con riferimento al ruolo cautelativo esercitato dal 2006 dalla zona 3S.

Si ricorda, infatti, che il fondamento giuridico della zona 3S, introdotta con la delibera di Giunta n. 431/2006 (con la funzione amministrativa di determinazione del campione da assoggettare a verifica), era rappresentato dal comma 3bis dell'art. 96 della l.r. n. 1/2005, che è stato abrogato dalla l.r. 4 del 31 gennaio 2012.

Con la Delibera n°878 del 10 ottobre 2012 si è cercato di superare la zona 3s e di verificare per quali comuni è possibile ipotizzare l'inserimento in zona sismica 2 e per quali la conferma in zona sismica 3.

I metodi utilizzati per l'aggiornamento della classificazione sismica regionale, sono stati distinti secondo tre step di approfondimento:

- STEP 1: selezione dei comuni di zona 3 e 3s con presenza di aree ad accelerazione $a_g > 0,15 g$;
- STEP 2: calcolo per ognuno dei suddetti comuni della percentuale di area ad accelerazione $a_g > 0,15g$;
- STEP 3: calcolo per ognuno dei comuni della percentuale di popolazione residente e di abitazioni presenti in area ad accelerazione $a_g > 0,15 g$.

Secondo questa nuova classificazione il comune di Firenze è perimetrato in zona 3.

14.1- LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Ai fini del D.M. 14/01/2008, il termine liquefazione denota una diminuzione di resistenza al taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti espressive o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno (il terreno raggiunge condizioni di fluidità pari a quella di una massa viscosa).

Il verificarsi di fenomeni di liquefazione non necessariamente produce una perdita di funzionalità o un collasso delle strutture interagenti con il terreno.

Secondo quanto riportato nella normativa, il sito presso il quale deve essere ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Come riportato nella NTC del D.M. 14/01/2008, la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. Eventi sismici attesi con magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, dal piano campagna, per piano campagna sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Trst) normalizzata a una tensione efficace

- verticale di 100 Kpa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 Kpa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla figura 12 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 13 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

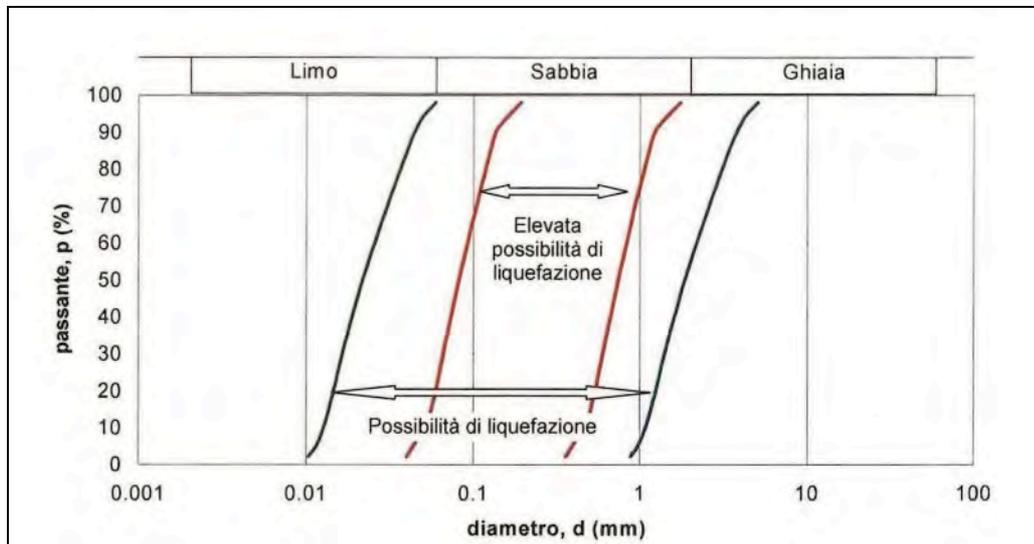


FIG.14 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ($U_c < 3,5$)

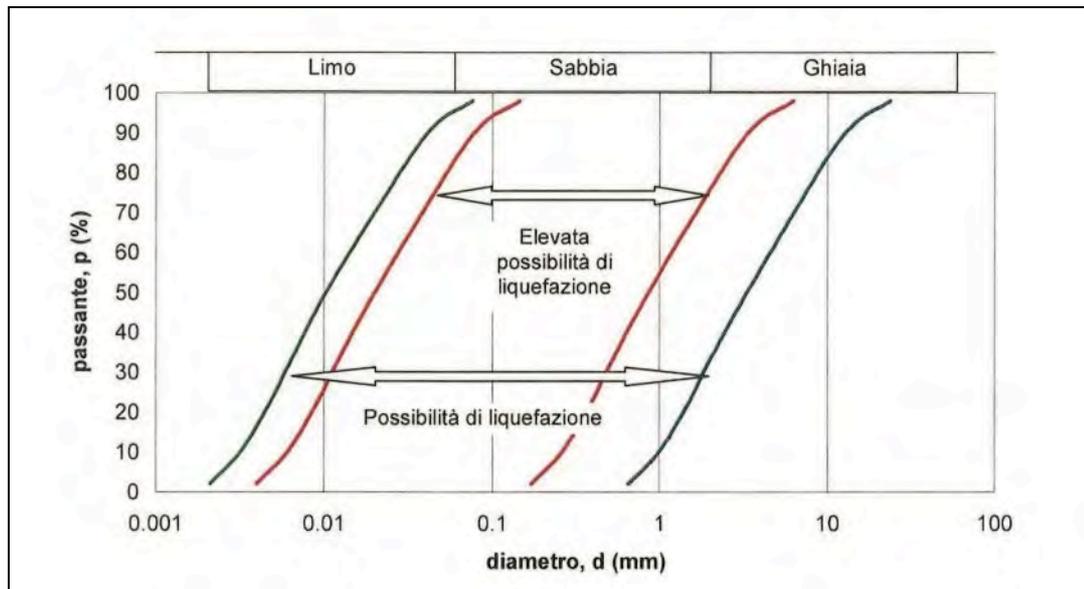


FIG.15 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ($U_c > 3,5$)

Per l'area d'interesse non sussistono le condizioni per il verificarsi di fenomeni di liquefazione.

15. VERIFICHE STABILITA' SEZIONI STRADALI

Di seguito si riportano le verifiche di stabilità delle sezioni stradali ritenute più rilevanti.

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,53	0,25
S.L.D.	50,0	0,6	2,56	0,27
S.L.V.	475,0	1,39	2,43	0,3
S.L.C.	975,0	1,78	2,4	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,9	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,0757	0,24	0,0508	0,0254
S.L.C.	2,5607	0,24	0,0627	0,0313

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0627

Coefficiente azione sismica verticale

0,0313

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	21,29	2,63
3	25,0	5,34
4	25,4	6,37
5	35,2	6,37
6	51,0	10,86

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,01
2	21,29	2,62
3	25,0	5,33
4	25,4	6,36
5	35,2	6,36
6	51,0	10,85

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	4,25	0,66
3	8,8	1,07
4	20,9	2,58
5	20,9	1,96
6	27,67	2,02
7	27,95	2,72
8	30,76	2,68
9	30,77	3,25
10	34,09	3,28
11	34,09	4,09
12	36,28	4,11
13	37,03	6,88
14	40,44	7,87
15	43,51	8,74
16	51,0	10,8

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-2,49
2	13,6	-1,41
3	27,0	-0,63
4	38,03	1,17
5	51,0	5,53

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kN/m ²)	cu (kN/m ²)	Fi (°)	G (kN/m ³)	Gs (kN/m ³)	Litologia
1	80	100	30	19.20	20.59	Strato migliorato CaCO
2	48	0	26	19	19.50	Debris
3	70	0	30	18.6	19.8	Limestones2

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	27	6,37	34	6,37	20

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

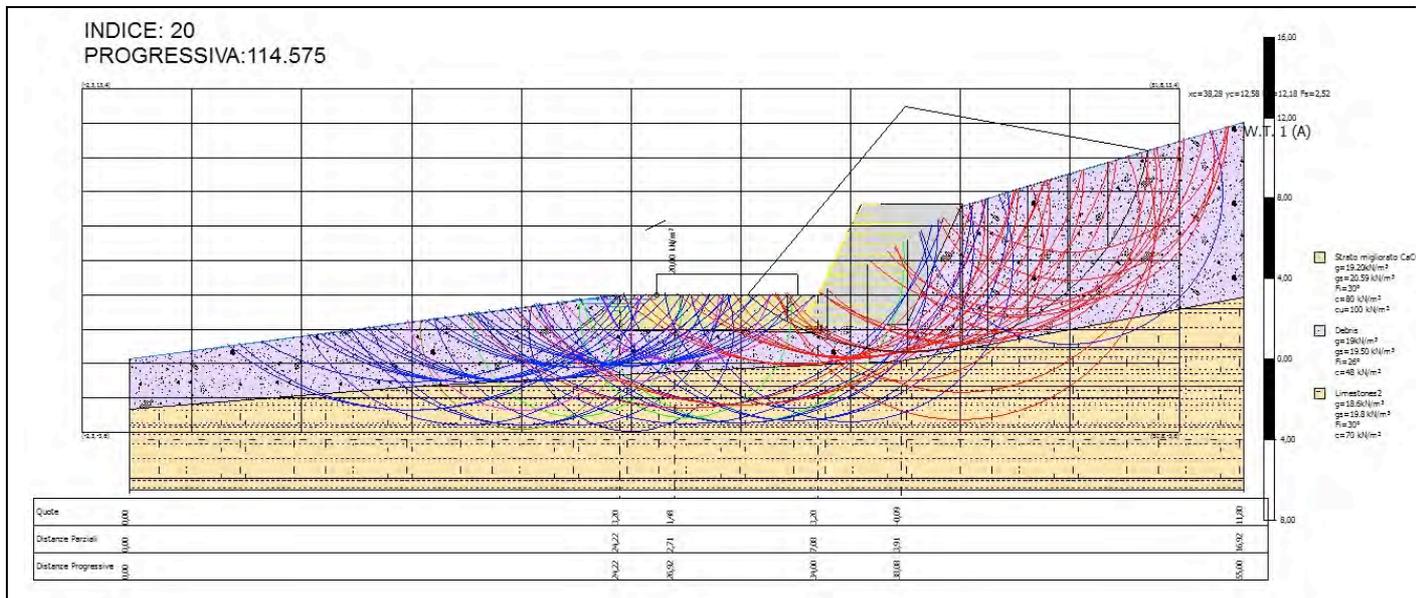
Fs minimo individuato	2,38
Ascissa centro superficie	22,04 m
Ordinata centro superficie	10,87 m
Raggio superficie	11,76 m

Numero di superfici esaminate....(82)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	22,0	0,6	3,4	20,00
2	16,6	2,3	5,1	13,16
3	19,3	1,5	2,3	20,00
4	22,0	2,3	2,7	20,00
5	24,7	1,5	4,2	20,00
6	27,5	2,3	4,8	20,00
7	32,9	2,3	5,0	20,00
8	38,3	2,3	5,5	20,00
9	16,6	4,1	7,4	8,28
10	19,3	3,2	5,9	7,84
11	22,0	4,1	5,8	4,30
12	24,7	3,2	5,8	14,07
13	27,5	4,1	6,5	6,99
14	30,2	3,2	5,9	20,00
15	32,9	4,1	4,0	20,00
16	35,6	3,2	4,2	20,00
17	38,3	4,1	4,4	20,00

18	41,0	3,2	6,7	20,00
19	13,9	4,9	8,2	9,29
20	16,6	5,8	8,8	6,53
21	19,3	4,9	7,4	4,78
22	22,0	5,8	6,1	2,98
23	24,7	4,9	5,4	2,92
24	27,5	5,8	6,1	4,03
25	30,2	4,9	7,1	12,48
26	32,9	5,8	8,8	19,60
27	35,6	4,9	3,0	20,00
28	38,3	5,8	3,4	20,00
29	41,0	4,9	6,3	20,00
30	13,9	6,6	9,6	8,23
31	16,6	7,5	10,4	5,09
32	19,3	6,6	9,6	3,51
33	22,0	7,5	8,4	2,55
34	24,7	6,6	6,5	2,67
35	27,5	7,5	8,1	3,81
36	30,2	6,6	9,6	7,27
37	32,9	7,5	10,4	9,13
38	35,6	6,6	9,6	15,82
39	38,3	7,5	4,7	7,32
40	41,0	6,6	6,5	20,00
41	11,2	9,2	12,1	8,55
42	13,9	8,3	11,3	7,41
43	16,6	9,2	12,1	4,40
44	19,3	8,3	9,2	3,06
45	22,0	9,2	10,1	2,43
46	24,7	8,3	9,0	2,54
47	27,5	9,2	9,5	3,45
48	30,2	8,3	11,1	5,91
49	32,9	9,2	12,0	6,64
50	35,6	8,3	10,2	10,97
51	38,3	9,2	7,3	6,73
52	41,0	8,3	6,3	6,17
53	11,2	10,9	13,8	8,46
54	13,9	10,0	13,0	5,65
55	16,6	10,9	13,8	3,89
56	19,3	10,0	10,9	2,92
57	22,0	10,9	11,8	2,38
58	24,7	10,0	10,4	2,53
59	27,5	10,9	10,5	3,53
60	30,2	10,0	12,7	5,15
61	32,9	10,9	13,4	5,78
62	35,6	10,0	12,9	8,16
63	38,3	10,9	7,1	5,75
64	41,0	10,0	7,6	4,76
65	11,2	12,6	15,5	7,15
66	13,9	11,7	14,7	4,90
67	16,6	12,6	15,5	3,28
68	19,3	11,7	12,6	2,60
69	22,0	12,6	13,2	2,43
70	24,7	11,7	11,8	2,60
71	27,5	12,6	11,7	3,44
72	30,2	11,7	11,6	4,56
73	32,9	12,6	15,0	5,27
74	35,6	11,7	14,0	6,33
75	38,3	12,6	10,7	5,40
76	41,0	11,7	8,7	3,88
77	13,9	13,4	16,4	4,32
78	19,3	13,4	14,3	2,51
79	24,7	13,4	13,2	2,86
80	30,2	13,4	15,9	4,41

81	35,6	13,4	14,1	6,84
82	41,0	13,4	9,6	3,82



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,832085/11,284906
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-2,34 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-3,62 m
Ascissa vertice destro superiore xs	51,83 m
Ordinata vertice destro superiore ys	13,43 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
-----------------------	---

Categoria topografica:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,53	0,25
S.L.D.	50,0	0,6	2,56	0,27
S.L.V.	475,0	1,39	2,43	0,3
S.L.C.	975,0	1,78	2,4	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,9	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,0757	0,24	0,0508	0,0254
S.L.C.	2,5607	0,24	0,0627	0,0313

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0627

Coefficiente azione sismica verticale

0,0313

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	24,0	3,2
3	34,0	3,2
4	41,09	7,59
5	55,0	11,8

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,01
2	24,0	3,19
3	34,0	3,19
4	41,09	7,58
5	55,0	11,79

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	0,0
3	24,22	3,2
4	22,09	1,45
5	26,0	1,42
6	26,92	1,48
7	34,15	1,32
8	34,17	1,85
9	35,51	2,02
10	37,29	1,73
11	38,95	5,37
12	41,16	7,63
13	43,83	8,42
14	55,0	11,79

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-2,49
2	13,6	-1,41
3	27,0	-0,63
4	38,08	-0,09
5	55,0	3,1

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kN/m ²)	cu (kN/m ²)	Fi (°)	G (kN/m ³)	Gs (kN/m ³)	Litologia
1	80	100	30	19.20	20.59	Strato migliorato CaCO
2	48	0	26	19	19.50	Debris
3	70	0	30	18.6	19.8	Limestones2

TERRA 1 (x=33,29 y= 1,7)

No	Tipologia	Tallow (Kg)	Resistenza sfilamento (Kg)
1	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	6174,396
2	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	5402,596
3	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	4630,797
4	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	3858,997
5	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	3087,198
6	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	2315,398
7	XGrid PET PVC 60/30 IT	3602,6	1543,599
8	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
9	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
10	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
11	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
12	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
13	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
14	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0
15	XGrid PET PVC 60/30 IT	0	0

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	26	3,2	33	3,2	20

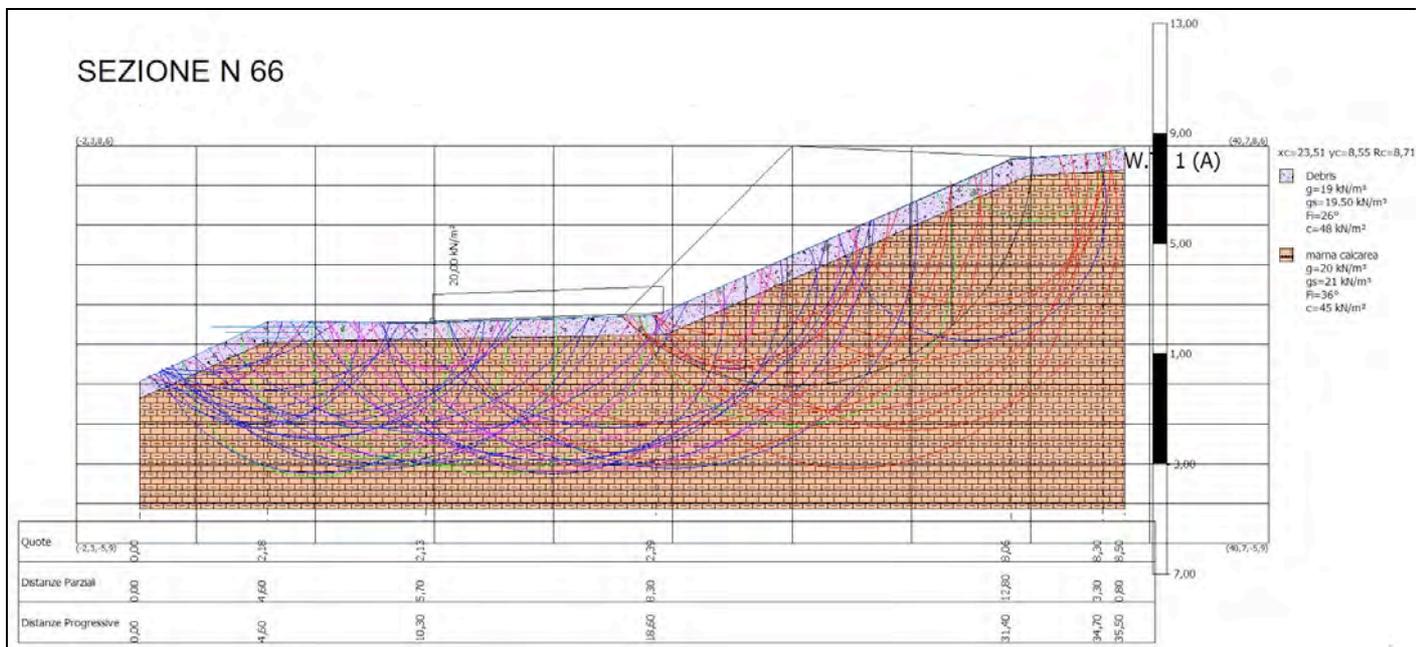
Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	2,52
Ascissa centro superficie	38,28 m
Ordinata centro superficie	12,58 m
Raggio superficie	12,18 m

Numero di superfici esaminate....(89)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	22,0	0,6	3,4	20,00
2	32,9	0,6	3,4	20,00
3	19,3	1,5	5,0	18,31
4	22,0	2,3	5,2	12,11
5	24,7	1,5	5,1	15,50
6	27,5	2,3	5,2	13,67
7	30,2	1,5	4,5	20,00
8	32,9	2,3	2,6	20,00
9	35,6	1,5	3,5	20,00
10	38,3	2,3	4,7	20,00
11	19,3	3,2	5,8	11,12
12	22,0	4,1	7,3	8,67
13	24,7	3,2	4,3	9,36
14	27,5	4,1	4,2	10,75
15	30,2	3,2	4,3	20,00
16	32,9	4,1	6,5	14,96
17	35,6	3,2	2,9	20,00
18	38,3	4,1	4,5	20,00
19	41,0	3,2	5,0	20,00
20	43,7	4,1	5,2	20,00
21	16,6	5,8	9,0	8,11
22	19,3	4,9	8,2	8,64
23	22,0	5,8	6,2	7,19
24	24,7	4,9	5,2	7,26
25	27,5	5,8	5,9	8,59
26	30,2	4,9	8,1	13,84
27	32,9	5,8	8,8	7,72
28	35,6	4,9	8,0	8,44
29	38,3	5,8	6,9	5,08
30	41,0	4,9	3,9	20,00
31	43,7	5,8	3,9	20,00
32	46,4	4,9	6,6	20,00
33	16,6	7,5	8,6	7,55
34	19,3	6,6	9,9	7,37
35	22,0	7,5	7,9	6,45
36	24,7	6,6	6,9	6,63
37	27,5	7,5	7,6	8,82
38	30,2	6,6	9,8	8,16
39	32,9	7,5	10,5	5,87
40	35,6	6,6	6,6	4,15
41	38,3	7,5	7,2	3,05
42	41,0	6,6	9,6	5,49
43	43,7	7,5	6,2	5,27
44	46,4	6,6	6,2	20,00
45	16,6	9,2	10,3	7,05
46	19,3	8,3	9,4	7,12
47	22,0	9,2	9,6	6,15
48	24,7	8,3	8,6	6,43
49	27,5	9,2	12,4	7,21
50	30,2	8,3	11,5	6,07
51	32,9	9,2	9,5	4,81
52	35,6	8,3	8,3	3,50
53	38,3	9,2	8,8	2,80
54	41,0	8,3	10,0	4,04
55	43,7	9,2	7,0	3,72
56	46,4	8,3	7,6	5,87
57	13,9	10,0	12,6	8,21
58	16,6	10,9	12,0	6,91

59	19,3	10,0	11,1	6,62
60	22,0	10,9	11,3	6,00
61	24,7	10,0	10,3	6,35
62	27,5	10,9	13,3	7,03
63	30,2	10,0	12,3	5,72
64	32,9	10,9	11,1	4,00
65	35,6	10,0	10,0	3,19
66	38,3	10,9	10,5	2,60
67	41,0	10,0	9,3	3,17
68	43,7	10,9	8,4	3,16
69	46,4	10,0	7,2	3,85
70	13,9	11,7	14,3	7,90
71	16,6	12,6	13,7	6,52
72	19,3	11,7	12,8	6,37
73	22,0	12,6	13,0	5,92
74	24,7	11,7	12,0	6,40
75	27,5	12,6	15,0	5,55
76	30,2	11,7	14,0	4,77
77	32,9	12,6	12,8	3,67
78	35,6	11,7	11,7	3,01
79	38,3	12,6	12,2	2,52
80	41,0	11,7	10,9	2,84
81	43,7	12,6	10,5	2,88
82	46,4	11,7	7,8	3,49
83	13,9	13,4	14,6	7,06
84	19,3	13,4	14,6	6,20
85	24,7	13,4	13,7	6,75
86	30,2	13,4	15,7	4,37
87	35,6	13,4	13,3	2,87
88	41,0	13,4	12,3	2,72
89	46,4	13,4	8,1	3,78



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.
Normativa

43,832085/11,284906
NTC 2008

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-2,26 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-5,87 m
Ascissa vertice destro superiore xs	40,69 m
Ordinata vertice destro superiore ys	8,55 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,53	0,25
S.L.D.	50,0	0,6	2,56	0,27
S.L.V.	475,0	1,39	2,43	0,3
S.L.C.	975,0	1,78	2,4	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,9	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,0757	0,24	0,0508	0,0254
S.L.C.	2,5607	0,24	0,0627	0,0313

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,063
Coefficiente azione sismica verticale	0,031

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	4,6	2,18
3	10,3	2,13
4	18,6	2,39
5	31,4	8,06
6	34,7	8,3

7	35,5	8,5
---	------	-----

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,01
2	4,6	2,17
3	10,3	2,12
4	18,6	2,38
5	31,4	8,05
6	34,7	8,29
7	35,5	8,49

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,64
2	4,59	1,44
3	18,95	1,67
4	31,96	7,45
5	35,5	7,67

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kN/m ²)	cu (kN/m ²)	Fi (°)	G (kN/m ³)	Gs (kN/m ³)	Litologia
1	48		26	19	19,50	Debris
2	45		36	20	21	marna calcarea

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	10,56	2,21	18,86	2,47	20

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	3,86
Ascissa centro superficie	23,51 m
Ordinata centro superficie	8,55 m
Raggio superficie	8,71 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 23,512 yc = 8,551 Rc = 8,71 Fs=3,861

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,21	-39,5	1,56	3608,12	227,31	111,85	38,4	21,3	660,1	5592,1	2152,0

2	1,76	-27,8	1,98	7621,84	480,18	236,28	36,0	30,2	0,0	10436,9	3458,0
3	1,48	-16,2	1,54	10320,79	650,21	319,94	36,0	30,2	0,0	11679,9	3225,0
4	1,48	-6,2	1,49	13312,06	838,66	412,67	36,0	30,2	0,0	13766,9	3489,4
5	1,48	3,6	1,48	15494,5	976,15	480,33	36,0	30,2	0,0	15290,2	3713,3
6	1,48	13,5	1,52	16892,48	1064,23	523,67	36,0	30,2	0,0	16430,8	3922,4
7	1,48	23,9	1,62	17390,1	1095,58	539,09	36,0	30,2	0,0	17191,2	4128,7
8	1,48	35,2	1,81	16825,06	1059,98	521,58	36,0	30,2	0,0	17515,2	4360,8
9	1,48	48,6	2,24	14745,92	928,99	457,12	36,0	30,2	0,0	16977,2	4684,8
10	1,48	71,6	4,68	9503,24	598,7	294,6	36,0	30,2	0,0	11496,1	6184,3

16. STIMA DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Si è eseguita una stima dei cedimenti relativi alle opere stradali in rilevato nella sezione ritenuta più critica, per l'altezza del rilevato stesso e soprattutto per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

Le altre sezioni stradali in rilevato analizzate, sono fondate su aree oggetto di scavi, pertanto le superfici di contatto erano naturalmente costipate dallo stesso peso del terreno che vi gravava.

Di seguito si riporta la stima dei cedimenti per la sezione da Noi ritenuta più critica (Indice 82).



17. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha lo scopo di stilare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, e geotecniche dei terreni che saranno interessati dalla costruzione della nuova viabilità di accesso al nuovo Tempio Crematorio del Comune di Firenze.

L'area d'intervento è localizzata lungo la via Bolognese nel Comune di Firenze.

In conformità a quanto emerso dal presente studio, si rileva quanto segue:

- L'area è posta in zona collinare a una quota indicativa compresa tra i 240 e i 250 metri s.l.m., a sud dell'abitato di Pian di San Bartolo.
- La collina interessata è caratterizzata da pendenze variabili tra il 10 ed il 25%.
- In fase di sopralluogo, a conferma di quanto riportato nella carta geomorfologica allegata al R.U.C., non sono state rilevate forme e processi che denotino instabilità dell'area.
- Da un punto di vista geologico, l'intervento è collocato su terreni costituiti da coltri detritiche indifferenziate, sotto al quale si ritrovano a monte, terreni appartenenti alla Formazione delle Marne di Pieveleago (PIE) e a valle terreni riconducibili alla Formazione di Sillano (SIL). La Formazione di Sillano, è costituita da argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcareniti, finemente stratificate, marne e calcari marnosi grigio chiari, costituiti da sabbie argillose con orizzonti e lenti di sabbie e conglomerati; le Marne di Pieveleago, sono marne siltose grigio – avana; marne argillitiche di colore giallo ocre, leggermente fissili.
- Dai sondaggi geognostici effettuati, si rileva la presenza di materiali a netta componente limo argillosa inglobante abbondante quantità di materiale litoide (di prevalente origine calcarea e calcareo – marnosa) distinto in pezzature comprese tra 3 e 10 cm. Tali materiali si possono ragionevolmente ricollegare all'alterazione delle formazioni sopra citate.
- Per il trattamento dei materiali con calce, si è provveduto a determinare il contenuto iniziale in calce (CIC) per un campione di materiale ottenuto dal miscelamento di aliquote provenienti dai vari scavi nella aree di progetto ove sono previsti sostanziali movimentazioni di terreno che saranno poi riutilizzati in situ. I risultati della prova CIC, hanno evidenziato un contenuto in calce del 2% per l'abbattimento dell'umidità e della sostanza organica presente nei materiali. A seguito di quanto sopra, si consiglia, per ottenere un buon effetto legante e stabilizzante una miscela di terreno con una quantità di calce del $3 \div 3,5$ %.

Ai fini del vincolo idrogeologico presente si dovranno rispettare le seguenti richieste:

- **ART.74 - REGIMAZIONE DELLE ACQUE:** Nei terreni vincolati è fatto obbligo di assicurare che il deflusso delle acque superficiali avvenga senza determinare fenomeni di erosione o di ristagno; i lavori non dovranno creare ostacoli al naturale deflusso delle acque meteoriche che non dovranno creare effetti di ristagno ed erosione nei terreni oggetto d'intervento; durante le fasi di cantiere, e soprattutto in fase di scavo, le acque provenienti dai terreni posti a monte, dovranno essere allontanate tramite naturali fossetti senza determinare fenomeni di erosione e ristagno;
- **ART.75 – INDAGINI GEOLOGICHE:** Le verifiche di stabilità delle sezioni stradali delle zone ritenute di maggiore interesse, sono riportate nel paragrafo 15. Gli scavi, saranno comunque realizzati senza provocare danni e/o deviazioni a livello idrogeologico. Durante l'esecuzione dei lavori, sarà accertata in loco la rispondenza delle indagini geologiche e delle previsioni di progetto, con lo stato effettivo dei terreni, e adottato di conseguenza ogni altro accorgimento necessario ad assicurare la stabilità dei terreni stessi e la regimazione delle acque.
- **ART.76 – SCAVI E RIPORTI DI TERRENO:** Vista l'importanza degli interventi da realizzare, si è ritenuto opportuno eseguire le verifiche di stabilità delle zone di sterro e di riporto di maggior importanza. Le stesse sono trattate nel paragrafo 15. Durante la realizzazione dei lavori e opere che comportino scavi o riporti di terreno non devono essere create condizioni di rischio per il verificarsi di smottamenti, franamenti o altri movimenti gravitativi. Gli scavi, devono essere realizzati in stagioni a minimo rischio di piogge e procedendo per stati di avanzamento tali da consentire la rapida ricolmatura degli stessi o il consolidamento dei fronti con opere provvisorie o definitive di contenimento. Se in fase esecutiva sopraggiungessero condizioni di rischio per la stabilità a breve

termine, gli sbancamenti devono procedere per piccoli settori ed essere eseguiti dall'immediata realizzazione di opere di contenimento. Si può procedere a successivi scavi solo dopo che queste ultime diano garanzia di stabilità. I riporti di terreno devono essere eseguiti in strati, assicurando il graduale compattamento dei materiali terrosi, dai quali devono essere separate le frazioni litoidi di maggiori dimensioni.

- **ART.77 – MATERIALI DI RISULTA:** I materiali di risulta derivanti dagli scavi prodotti per la realizzazione degli interventi previsti, saranno convogliati in loco per la risistemazione dell'area oggetto di lavori, senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto o pendenza dei terreni, evitando in tal modo, che si verificano fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. I materiali terrosi o lapidei eccedenti la risistemazione in loco, devono essere riutilizzati in terreni, dove il riporto degli stessi sia autorizzato o consentito ai fini del vincolo idrogeologico. I materiali lapidei di maggiori dimensioni devono essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento e assestamento di questi ultimi. I materiali lapidei possono essere reimpiegati in loco per la sistemazione dell'area oggetto di lavori purché gli stessi siano depositati in condizioni di stabilità e in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali. Durante le fasi di cantiere eventuali depositi temporanei di materiali di risulta devono essere sistemati in maniera tale da evitare fenomeni erosivi e/o di ristagno delle acque. Solo la quantità di 1780 mc sul complessivo scavato, sarà allontanata come rifiuto.

Dott. Geol. Lorenzo Cirri

Dott. Geol. Tamara Cantini Casserini