PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEI TERRITORI COMUNALI DI PIOMBINO E CAMPIGLIA MARITTIMA (LI) LOC. CAMPO ALL'OLMO POTENZA NOMINALE 57,6 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

ing. Giulia MONTRONE

ing. Francesco DE BARTOLO

STUDI SPECIALISTICI

GEOLOGIA
geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA
ing. Antonio FALCONE

NATURA E BIODIVERSITÀ
BIOPHILIA - dr. Gianni PALUMBO dr. Michele BUX

STUDIO PEDO-AGRONOMICO
dr. Gianfranco GIUFFRIDA

ARCHEOLOGIA
ARSARCHEO - dr. archeol. Manuele PUTTI dr. archeol. Gabriele MONASTERO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI

R.4 Relazione geologica, morfologica e idrogeologica

REV.	DATA	DESCRIZIONE

Firmato digitalmente da: Paccapelo Fabio
Firmato il 31/10/2023 09:28
Seriale Certificato: 1630330
Valido dal 18/07/2022 al 18/07/2025
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

INDICE

1 RELAZIONE GEOLOGICA 1
1.1. Premessa 1
1.2. Documenti di riferimento 3
1.3. Inquadramento geomorfologico 3
1.4. Geologia generale dell'area 7
1.5. Assetto Idrografico superficiale 12
1.6. Inquadramento Idrogeologico 12
2 INDAGINI GEOGNOSTICHE 21
2.1. Indagini a disposizione 21
3 PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ GEOLOGICO-TECNICA 26
3.1. Valutazione delle Pericolosità 26
3.1.1. Pericolosità geologica 26
3.1.2. Pericolosità sismica 28
3.1.3. Pericolosità idraulica 29
3.2. Fattibilità Geologico - Tecnica ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020 31
3.2.1. Fattibilità geologica 31
3.2.2. Fattibilità sismica 32
3.2.3. Fattibilità idraulica 32
4 CONCLUSIONI 34

Indice delle Figure

Figura 1: Stralcio Foglio G.03a della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 5
Figura 2: Stralcio Foglio G.03b della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 5
Figura 3: Stralcio Foglio G.03c della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 6
Figura 4: Stralcio Foglio G.03d della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 6
Figura 5: Stralcio Foglio G.01a della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 9
Figura 6: Stralcio Foglio G.01b della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 10
Figura 7: Stralcio Foglio G.01c della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 10
Figura 8: Stralcio Foglio G.01d della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 11
Figura 9: Stralcio Foglio G.05a della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 13
Figura 10: Stralcio Foglio G.05b della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 13
Figura 11: Stralcio Foglio G.05c della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 14
Figura 12: Stralcio Foglio G.05d della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 14
Figura 13: Carta delle isopache della copertura argillosa; nella zona d'interesse, evidenziata in rosso, lo spessore del tampone argilloso è compreso tra 10 e 40 m. 16
Figura 14: Stralcio della sezione idrogeologica con individuazione (in rosso) del dominio di competenza dell'area in studio. 17
Figura 15: Stralcio Foglio G.07a della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 18
Figura 16: Stralcio Foglio G.07b della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 18
Figura 17: Stralcio Foglio G.07c della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 19
Figura 18: Stralcio Foglio G.07d della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 19
Figura 19: Sezione sismostratigrafica profilo PRSE733 – I1 – PB (aerogeneratore PB3) 23
Figura 20: Sezione sismostratigrafica profilo PRSE733 – I2 – PB (aerogeneratore PB4) 23
Figura 21: Sezione sismostratigrafica profilo PRSE733 – I3 – PB (aerogeneratore CMP1) 24
Figura 22: Stralcio Foglio G.06a della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 26
Figura 23: Stralcio Foglio G.06b della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 27
Figura 24: Stralcio Foglio G.06c della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 27
Figura 25: Stralcio Foglio G.06b della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo 28
Figura 26: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo 29
Figura 27: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo 30
Figura 28: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo 30
Figura 29: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo 31

1 RELAZIONE GEOLOGICA

1.1. Premessa

Il presente documento è stato redatto al fine di giungere alla definizione dell'assetto geologico, geomorfologico, idraulico ed idrogeologico delle aree interessate dal "*Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento nel territorio* comunale *di Piombino e Campiglia Marittima (LI) loc. Campo all'Olmo, potenza nominale 57,6 MW*".

In particolare, come dettagliatamente visibile negli Elaborati progettuali ai quali la presente si riferisce, il Parco eolico oggetto di valutazione sarà costituito da n. 8 aerogeneratori posizionati in porzioni di territorio a vocazione agricola dei quali n. 5 saranno localizzati in località Campo all'Olmo nel Comune di Piombino e n. 3 nel Comune di Campiglia Marittima in prossimità del confine sud-est con il Comune di Piombino. E' prevista inoltre la realizzazione delle necessarie opere accessorie per la connessione e conseguente immissione di energia elettrica alla Rete di Trasmissione Nazionale: ampliamento della cabina elettrica esistente (SE) in Loc. Populonia con relativo sistema di accumulo costituito da dei blocchi batterie e dai blocchi con trasformatori, quadri e inverter e la realizzazione di una nuova sottostazione (SSE) nelle immediate vicinanze della CE esistente, costituita da cabine elettriche, trasformatore e quadro alta tensione.

Nella Tabella 1 seguente si riportano le coordinate geografiche relative ai n.8 aerogeneratori previsti da Progetto, identificando con la sigla PBn le n.5 strutture ricadenti nel Comune di Piombino e con CMPn le n.3 strutture ricadenti nel Comune di Campiglia Marittima, nonché quelle delle opere accessorie.

WTG	COORDINATE WGS84 FUSO 32N	
	EST	NORD
PB1	626416.91	4760797.78
PB2	626455.14	4761770.22
PB3	624964.94	4762192.78
PB4	628549.42	4759547.74
PB5	632826.13	4759662.36
CMP1	632533.31	4761947.79
CMP2	633617.14	4762307.04
CMP3	632938.19	4763738.36

Tabella 1: Coordinate geografiche aerogeneratori

Gli interventi di progetto comprendono la realizzazione di tutte le opere ed infrastrutture indispensabili alla connessione dell'impianto alla RTN. I principali componenti dell'impianto sono:

- Aerogeneratori;
- Opere di fondazione degli aerogeneratori costituite da strutture in calcestruzzo armato e da pali di fondazione trivellati;
- Viabilità di servizio al parco eolico;
- Elettrodotti per il trasporto dell'energia elettrica prodotta dal parco alla sottostazione utente (in interrato);
- Ampliamento della Stazione Elettrica (SE) esistente;

- Sottostazione di Trasformazione e connessione (SSE) alla Rete di Nazionale, ovvero tutte le apparecchiature (interruttori, sezionatori, TA, TV, ecc.) necessarie alla realizzazione della connessione elettrica dell'impianto.
- Opere di fondazione degli apparati previsti per l'ampliamento della SE e per la realizzazione della nuova SSE.

Nel contesto del presente documento tecnico saranno avanzate considerazioni in merito alla realizzazione degli aerogeneratori ed alla realizzazione della nuova Sottostazione di Trasformazione e connessione (SSE), ritenendo le altre opere previste in Progetto di impatto irrilevante sugli aspetti di competenza (geologia, geomorfologia, idrogeologia) e considerando che l'ampliamento della Stazione Elettrica (SE) esistente, in base alle informazioni a disposizione, risulta un intervento già autorizzato dalle Amministrazioni competenti rispetto al quale il Progetto prevede esclusivamente una limitata riconfigurazione degli apparati comunque all'interno del perimetro dell'ampliamento.

Per quanto riguarda la viabilità di servizio, trattandosi di piste dedicate esclusivamente ai mezzi di servizio, quindi chiuse al traffico veicolare, essendo previste come non asfaltate e realizzate "a raso" rispetto al piano campagna circostante, si ritiene possano essere considerate ininfluenti rispetto alle considerazioni di nostra competenza.

Nel dettaglio, i n.8 aerogeneratori avranno le seguenti caratteristiche costruttive:

- altezza al tip della pala 236 m;
- altezza al mozzo 150 m;
- diametro rotorico 172 m.

La Sottostazione di Trasformazione e connessione (SSE) sarà costituita da un sistema di accumulo (BESS), cabine elettriche e da un trasformatore di Alta Tensione con relativo quadro; il sistema di accumulo (BESS) sarà costituito da blocchi batterie e dai blocchi con trasformatori, quadri e inverter alloggiati in container mentre i quadri elettrici ed i comandi saranno alloggiati all'interno di strutture prefabbricate.

Per quanto concerne l'aspetto delle fondazioni, di seguito riportiamo una breve descrizione degli elementi previsti per ciascuna delle lavorazioni oggetto di valutazione:

- ✓ gli aerogeneratori andranno ad insistere su plinti a pianta circolare, diametro di 29 m, con piano di posa ad profondità di 3,00 m circa dal piano campagna, insistenti ciascuno su 16 pali di fondazione del diametro di 1,2 m e lunghezza 25,00 m;
- ✓ i container dei blocchi batterie ed i blocchi con trasformatori costituenti il sistema di accumulo (BESS) andranno ad insistere su fondazioni superficiali (platee/travi rovesce) con piano di posa ad una profondità di circa 1,20/1,30 m dal piano campagna e con piano di calpestio rialzato di circa 0,30 m rispetto al piano campagna;
- ✓ le strutture prefabbricate di alloggiamento dei quadri elettrici e dei comandi andranno ad insistere su fondazioni superficiali (platee/travi rovesce) con piano di calpestio rialzato di circa 0,10 m rispetto al piano campagna.

Precisiamo inoltre che perimetralmente alla Sottostazione di Trasformazione e connessione (SSE) sarà realizzata una recinzione a pettine aperta in elementi prefabbricati insistente su un cordolo di fondazione di altezza circa 0,60 m rispetto al piano campagna

La progettazione di dettaglio e le necessarie ed opportune verifiche strutturali e geotecniche saranno basate su specifiche indagini geognostiche di approfondimento che saranno eseguite in fase più avanzata di progetto.

I dettagli progettuali relativi alle lavorazioni previste sono naturalmente consultabili negli Elaborati Progettuali ai quali la presente si riferisce.

Essendo la porzione di territorio interessata dal Progetto nel suo complesso piuttosto estesa, nelle valutazioni di seguito riportate saranno avanzate considerazioni in merito alle lavorazioni previste con riferimento ai relativi domini di pertinenza.

1.2. Documenti di riferimento

Per la stesura del presente elaborato si è fatto riferimento anche alla seguente documentazione descrittiva di indagini precedenti già eseguite sull'area di interesse:

- *G. Ghezzi, R. Ghezzi, A. Muti "Studio idrogeologico della pianura di Piombino" - "La scienza della terra nell'area della Provincia di Livorno a sud del Fiume Cecina" - "Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno – vol 13 (1993) Supplemento 2" - Università di Siena – Cons. Naz. Delle Ricerche – Prov. Di Livorno.*
- Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima.
- Dati di base dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima.
- Indagini di archivio degli scriventi.

1.3. Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico la porzione di territorio oggetto di studio ricade nel contesto della pianura alluvionale del Fiume Cornia, delimitata a Nord dai monti di Campiglia Marittima a Nord Est dalle colline di Suvereto, a Est dalle colline che si estendono dalla località "I forni" fino ai rilievi di Vignale e Riotorto, a Ovest dal Promontorio di Piombino ed infine a Nord Ovest e Sud dalle coste sabbiose rispettivamente di Rimigliano e del Golfo di Follonica.

L'intera pianura è suddivisibile in due parti ciascuna di forma triangolare: la piana di Palmentello - Luimiere e la Pianura propriamente detta del Cornia.

In particolare, la zona di interesse ricade nel tratto terminale della Pianura del Cornia delimitata a sud dalla linea congiungente il tratto di costa che da Ponte d'oro (zona Est dell'abitato di Piombino) arriva a Torre Mozza (Ovest di Follonica) e come vertice opposto verso nord il piede occidentale del Monte Peloso (Sud di Suvereto) con quote intorno ai 30 m s.l.m..

Il dominio geomorfologico di pertinenza è caratterizzato da una superficie topografica sub-pianeggiante, leggermente degradante in direzione della linea di costa; al contorno si rilevano i rilievi collinari costituiti da formazioni calcaree aventi un'altitudine che varia dai 300 m ai 650 m s.l.m. circa, i quali conferiscono al paesaggio forme aspre con versanti ripidi e valli profondamente incise.

Da un punto di vista prettamente geologico strutturale l'intera pianura del fiume Cornia si è impostata su un Graben riferibile al periodo Neogenico o quaternario facente parte della tettonica prossimale che ha interessato tutto il margine tirrenico della catena appenninica.

Durante tale fenomeno le depressioni costiere come la pianura del Cornia sono state invase dal mare che ha depositato sedimenti costituiti da sabbie argillose e arenarie poco cementate.

All'inizio del quaternario antico, l'attuale pianura del Cornia era sommersa dal mare formando un ampio golfo che raggiungeva la località de "I forni" e che costeggiava i rilievi di Campiglia Marittima, cosicché il promontorio di Piombino risultava essere un'isola posta a breve distanza dalla costa.

Gli apporti solidi del Fiume Cornia e la concomitante formazione di cordoni sabbiosi hanno ridotto l'originario golfo in un sistema di stagni di vaste dimensioni sopravvissuti fino all'inizio del nostro secolo.

I sedimenti della bassa pianura del fiume Cornia sono pertanto il risultato di questa particolare situazione paleogeografica ed il loro spessore valutato intorno ai 100 m è il risultato di un fenomeno di subsidenza tettonica che si è verificato nella zona.

La zona di pianura del Cornia propriamente detta, rispetto alla pianura Palmentello - Lumiere non presenta alcun livello di Panchina pleistocenica, bensì spessori variabili dai 50 ai 100 m di alternanze di ghiaie e/o sabbie e limi e/o argille. Ciò può trovare una spiegazione nel fatto che tali depositi siano stati erosi durante l'ultima variazione eustatica e sostituite da depositi lagunari e palustri e fluviali collegati al trasporto solido del fiume Cornia.

In sintesi, le escursioni eustatiche, gli apporti solidi del fiume Cornia ed i lenti movimenti di subsidenza tettonica, hanno trasformato nel tempo l'assetto geologico, determinando nell'intera area dapprima un ambiente di mare basso e successivamente, dopo lo sviluppo di esili cordoni dunali, un ambiente prettamente palustre caratterizzando in tal modo tutto il periodo dell'olocene fino al secolo scorso.

Dalla consultazione della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, si rileva che gli interventi previsti sono caratterizzati dall'affioramento degli elementi morfologici individuati nella Tabella 2 di pagina seguente, descritti nel dettaglio nel proseguo della presente sezione; nelle Figure 1, 2, 3 e 4 sono riportati gli stralci dei n.4 fogli della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

Elemento	**Elemento Geomorfologico**
Aerogeneratore PB1	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore PB2	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore PB3	*nessun elemento rilevante/cartografato*
Aerogeneratore PB4	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore PB5	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie*
Aerogeneratore CMP1	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie/ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore CMP2	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie*
Aerogeneratore CMP3	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie e DMT - Depressioni morfologiche potenzialmente instabili*
Sottostazione elettrica (SSE)	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*

Tabella 2: Elementi geomorfologici in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica

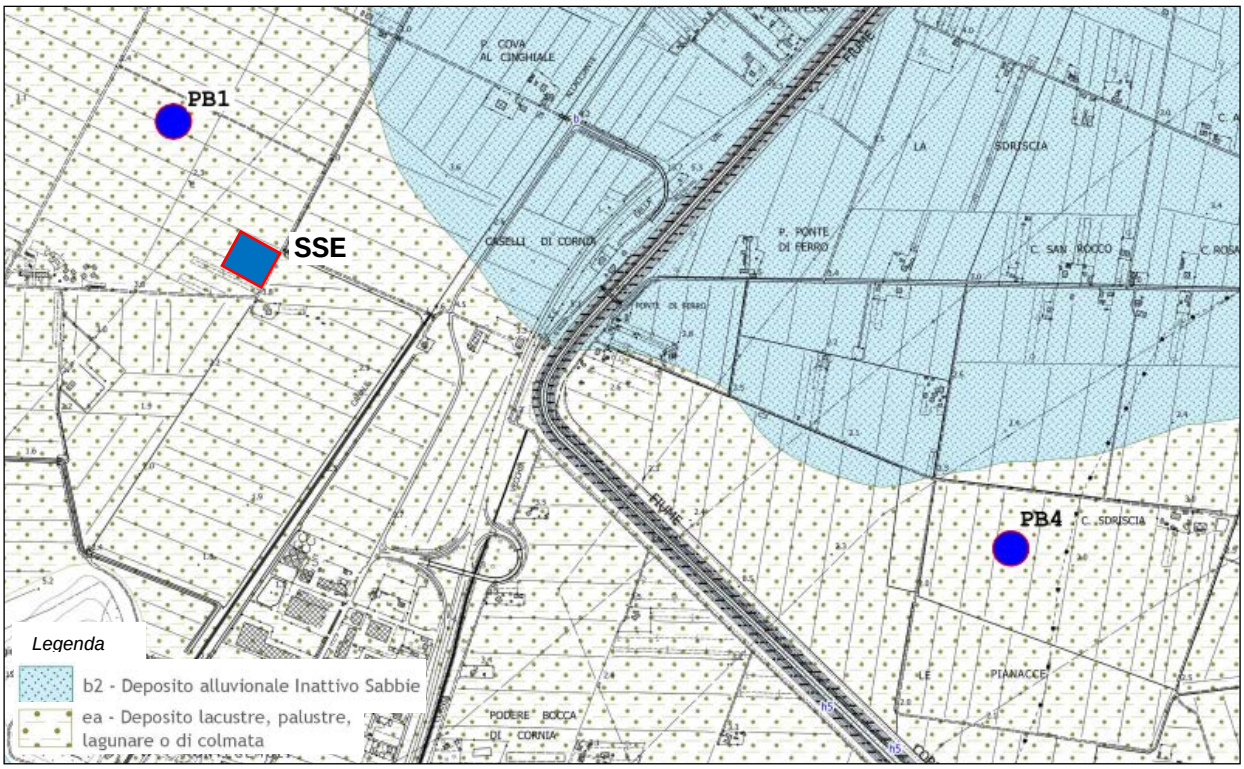


Figura 1: Stralcio Foglio G.03a della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

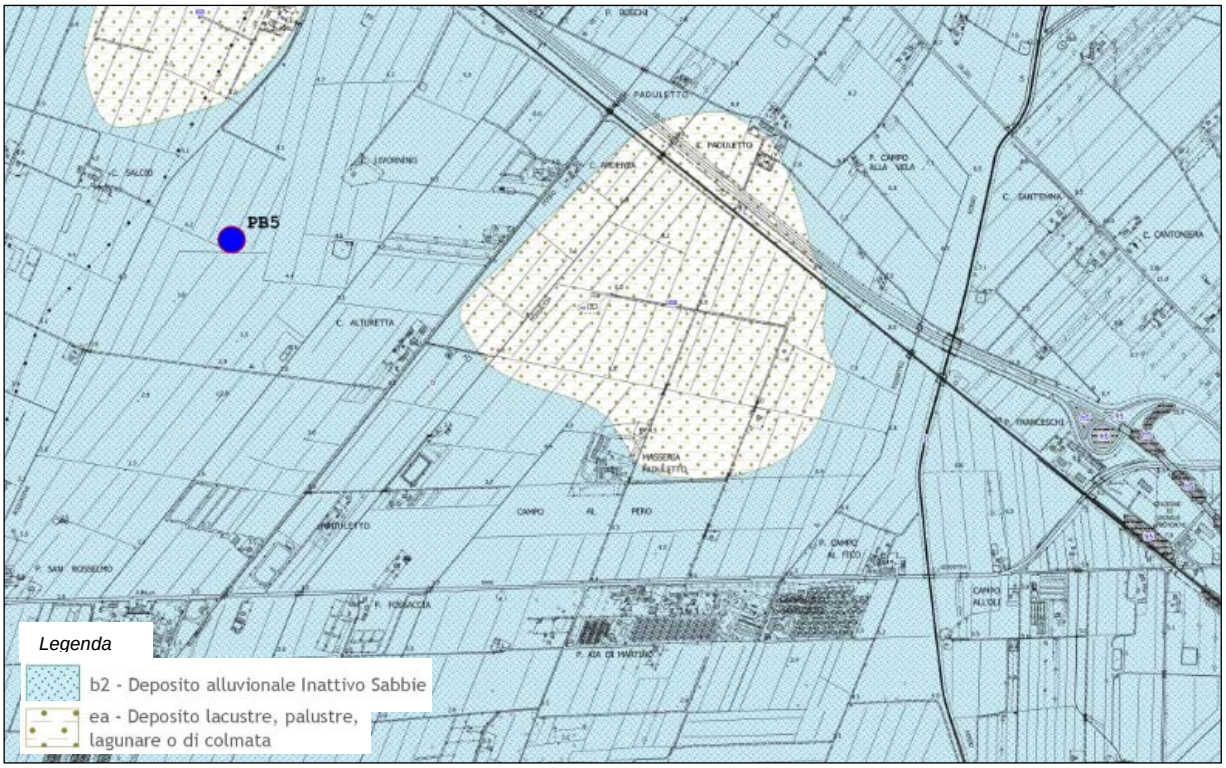


Figura 2: Stralcio Foglio G.03b della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

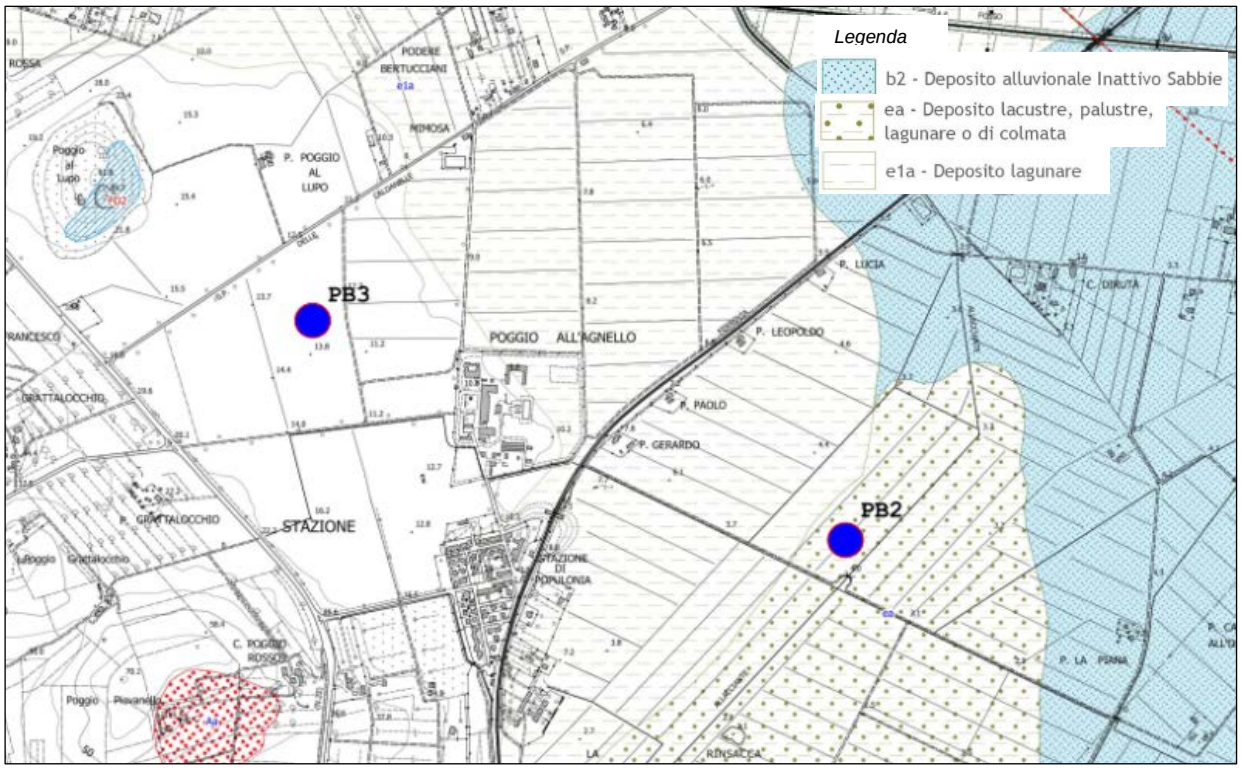


Figura 3: Stralcio Foglio G.03c della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

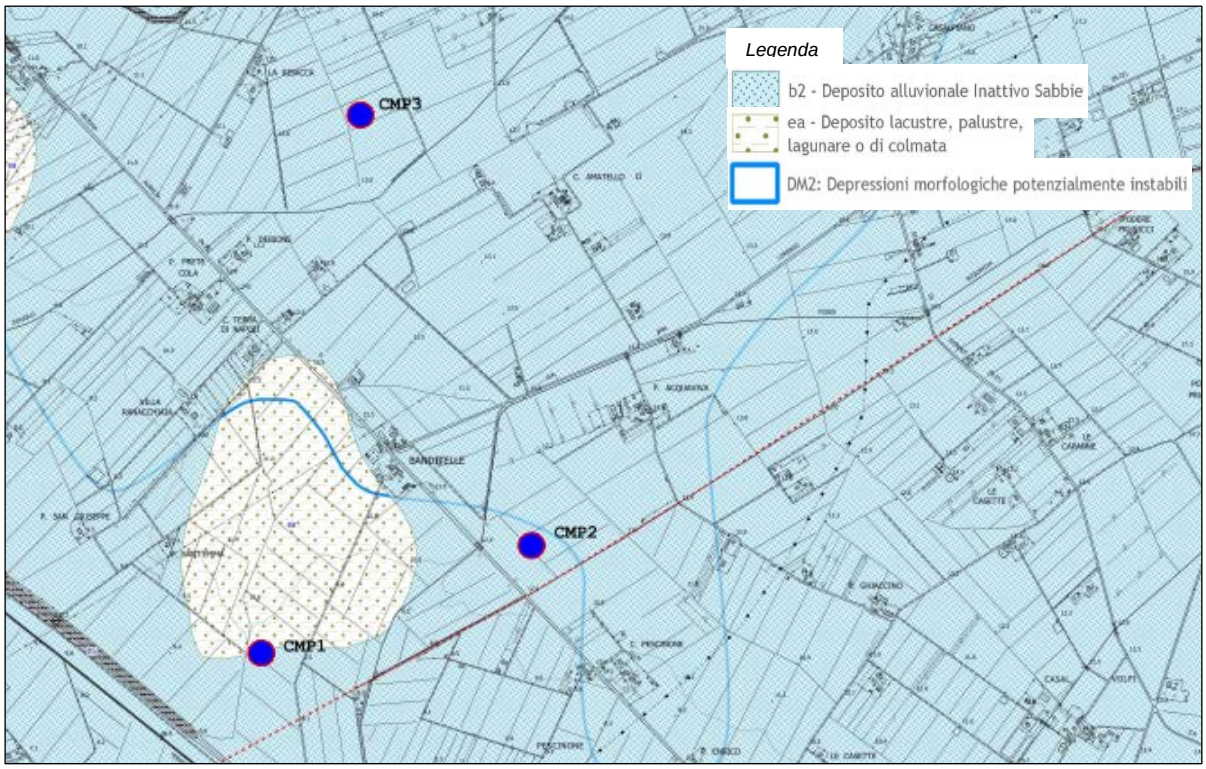


Figura 4: Stralcio Foglio G.03d della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e figure sopracitate, in corrispondenza dell'area d'insistenza di 7 degli 8 aerogeneratori (PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, CMP1 e CMP2) e della Sottostazione Elettrica (SSE)

non sono rilevati elementi morfologici significativi, oltre i depositi superficiali che costituiscono le coperture detritiche identificate quali "*b2 – Deposito alluvionale Inattivo Sabbie"* ed "*ea – Deposito lacustre, palustre, lagunare o di colmata*", ascrivibili al dominio geomorfologico di pertinenza quale pianura fluviale, solcata da un asse drenante principale (Fiume Cornia) e da una serie di corsi minori, che ha dato luogo alla sedimentazione di una spessa coltre alluvionale dalle caratteristiche assai variabili, con frequenti eteropie verticali e laterali.

Come ricostruito attraverso l'analisi dei dati geognostici a disposizione, la zona di pianura presenta caratteristiche diverse tra la zona più interna e quella costiera; la parte alta della valle del Fiume Cornia presenta depositi ghiaioso - sabbiosi, a testimonianza della maggiore energia del corso d'acqua che permette il trasporto di materiale più grossolano, mentre nella zona più distale sono presenti depositi fini (prevalentemente argille scarsamente compattate) e sedimenti palustri, tipici di zone dunali e retrodunali.

Esclusivamente in corrispondenza della zona di insistenza dell'aerogeneratore identificato quale CMP3 è cartografata la presenza di una "*DM2 - Depressione morfologica potenzialmente instabile*" (si veda Figura 4) che identificata una ristretta porzione di territorio caratterizzata da orizzonti di terreno in affioramento con scadenti caratteristiche geomeccaniche che possono dar luogo a cedimenti/abbassamenti nell'ordine di 10/20 mm all'anno. Tale porzione di territorio, notoriamente interessata da tale fenomeno di "subsidenza", è stata nel tempo oggetto di numerosi studi ed approfondimenti da parte di autorevoli Professionisti/Enti specializzati nel settore che hanno individuato come cause concomitanti le scadenti caratteristiche meccaniche dei terreni che subiscono una notevole compattazione in relazione sovraccarichi indotti dalle strutture in relazione anche alla tipologia di fondazione, con entità degli spostamenti rilevante in particolare su strutture/edifici storici con fondazioni superficiali "a sacco".

In conclusione, da punto di vista geomorfologico le porzioni di territorio interessate dalla realizzazione degli interventi previsti non presentano particolari morfologie/indizi di fenomeni dissestuali passati, in atto o prevedibili, eccezion fatta per la porzione di territorio dove è prevista la realizzazione dell'aerogeneratore CMP3; considerando tuttavia che a livello fondazionale gli aerogeneratori andranno ad insistere su plinti di fondazione insistenti ciascuno su 16 pali di fondazione del diametro di 1,2 m e lunghezza 25,00 m, si ritiene che non sussisteranno problematiche dal punto di vista della portanza/cedimenti del terreno.

1.4. Geologia generale dell'area

Dal punto di vista geologico, l'area in studio ricade nel dominio della Val di Cornia, nel contesto della Toscana Centrale e Costiera, caratterizzato dalla presenza di Unità Neogeniche Toscane impostate su un sistema tettonico complesso, in cui le Unità Liguri e Subliguri sormontano la Falda Toscana.

La zona risulta prossima alla Regione Boracifera di Larderello ed alle Colline Metallifere, sfruttate fin dal passato per la produzione di energia elettrica (energia geotermica) e l'estrazione di metalli, con forte condizionamento delle economie locali.

Anche in Val di Cornia sono note manifestazioni idrotermali, concentrate nell'intorno del plutone granodioritico di Botro ai Marmi, che hanno determinato la mineralizzazione della zona di Campiglia Marittima; anche in questa zona le attività estrattive hanno caratterizzato le attività economiche in epoche storiche, con numerosi siti e reperti oggi ripristinati dall'attività museale.

L'assetto strutturale della Toscana Centro-Meridionale è dominato dalle deformazioni legate alla tettonica distensiva del Tirreno, che nel Neogene e nel Quaternario ha determinato il collasso e lo smembramento della catena nord-appenninica.

Studi recenti sul Tirreno settentrionale e sui depositi epiliguri individuano l'inizio delle deformazioni distensive alla fine del Miocene Inferiore; a partire da tale momento sono stati distinti nella Toscana Meridionale due episodi distensivi.

Il primo evento, relativo al periodo tra il Miocene Inferiore ed il Tortoniano Superiore, si è determinato un assottigliamento della crosta superiore, mediante faglie dirette a basso angolo e a geometria complessa: ne è derivata una situazione geometrica molto caratteristica, nota come "serie ridotta", caratterizzata da rilevanti elisioni degli spessori della successione stratigrafica, con diretta sovrapposizione delle Unità Liguri sulla formazione anidritica triassica.

Il secondo evento, riferito all'intervallo tra il Tortoniano Superiore ed il Pleistocene Medio, è stato caratterizzato dallo sviluppo di faglie a geometria listrica, responsabili di un sistema di fosse tettoniche subparallele, allungate in direzione NO-SE, la cui apertura non è stata contemporanea, ma con una progressiva e graduale migrazione da occidente ad oriente.

La configurazione originaria a falde è rappresentabile attraverso l'impilamento di più unità tettoniche sovrapposte, secondo lo schema seguente:

- Unità Liguri
- Unità Subliguri
- Unità della Falda Toscana
- Unità di Monticiano - Roccastrada ("Basamento Cristallino Toscano")
- Unità degli Gneiss ("Basamento Metamorfico").

L'evoluzione sedimentaria neogenica - quaternaria è stata in gran parte condizionata dai movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post - collisionale, mentre mancano specifici riscontri circa gli effetti della ciclicità eustatica, spesso mascherati da quelli indotti dall'attività tettonica.

In particolare è possibile distinguere i seguenti contesti geologici caratteristici del territorio:

- ✓ Il Promontorio di Piombino, caratterizzato da rilevanti affioramenti di membri della Falda Toscana, anch'essi interessati dai movimenti tettonici, e da elementi Subliguri sovrastanti. Nella zona affiorano prevalentemente arenarie oligoceniche, quali il Macigno e le Arenarie di Suvereto, bordate da sedimenti sabbiosi quaternari (Sabbie di Val di Gori);
- ✓ La zona di Campiglia, in cui affiora quello che è genericamente definito il "Massiccio Carbo- natico", che rappresenta una finestra tettonica con rilievi costituiti da membri mesozoici della Serie Toscana. In quest'area affiorano elementi vulcanici intrusivi, quali la Granodiorite di Botro ai Marmi e i vari Filoni Porfirici che interessano le successioni sedimentarie, con at- tuali manifestazioni idrotermali sfruttate per attività ricreative. Al margine della zona car- bonatica si ritrovano gli elementi superiori del Dominio Toscano e, verso Ovest, si osserva l'impilamento delle diverse unità tettoniche, attraverso i contatti tettonici con le Unità Sub-liguri e quindi con quelle Liguri;
- ✓ Sui rilievi a Sud-Ovest della valle del Cornia affiorano generalmente membri delle Unità Li- guri, di natura prevalentemente flyshoide, con piccole finestre tettoniche in cui emergonogli elementi sepolti appartenenti alla Falda Toscana; le porzioni pedecollinari sono spesso costituite da depositi neogenici e quaternari, a loro volta incise ed erose dall'azione delle acque superficiali;
- ✓ L'ampia pianura compresa tra il Promontorio di Piombino ed i rilievi più interni, di specifica pertinenza dell'area in studio, rappresenta il punto di congiunzione tra la valle fluviale del Fiume Cornia e la zona retrodunale e palustre della campagna piombinese, bonificata nel corso del XIX secolo; tutt'oggi sono presenti aree umide ed altre in cui la regimazione idraulica è affidata a sistemi di sollevamento meccanico, poste a quote prossime al livello medio marino.

Per quanto attiene la geologia di superficie, dalla consultazione della Carta Geologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, si rileva che gli interventi previsti sono caratterizzati dall'affioramento degli elementi morfologici individuati nella Tabella 3 di pagina seguente, descritti nel dettaglio nel proseguo della presente sezione; nelle Figure 5, 6, 7 e 8 sono riportati gli stralci dei

n.4 fogli della Carta Geologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

Elemento	Formazione Geologica affiorante
Aerogeneratore PB1	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore PB2	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore PB3	*g2a - Spiaggia Sabbie*
Aerogeneratore PB4	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore PB5	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie*
Aerogeneratore CMP1	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie/ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*
Aerogeneratore CMP2	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie*
Aerogeneratore CMP3	*b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie*
Sottostazione elettrica (SSE)	*ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata*

Tabella 3: Formazioni geologiche in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica

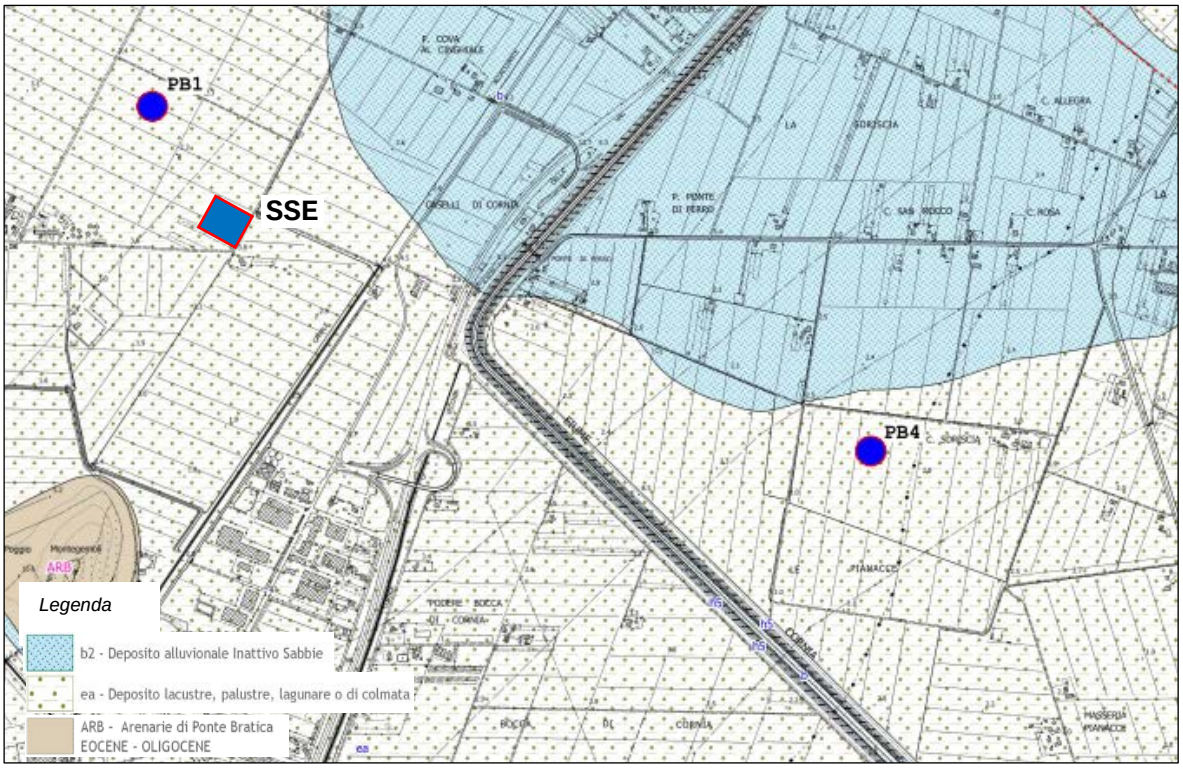


Figura 5: Stralcio Foglio G.01a della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

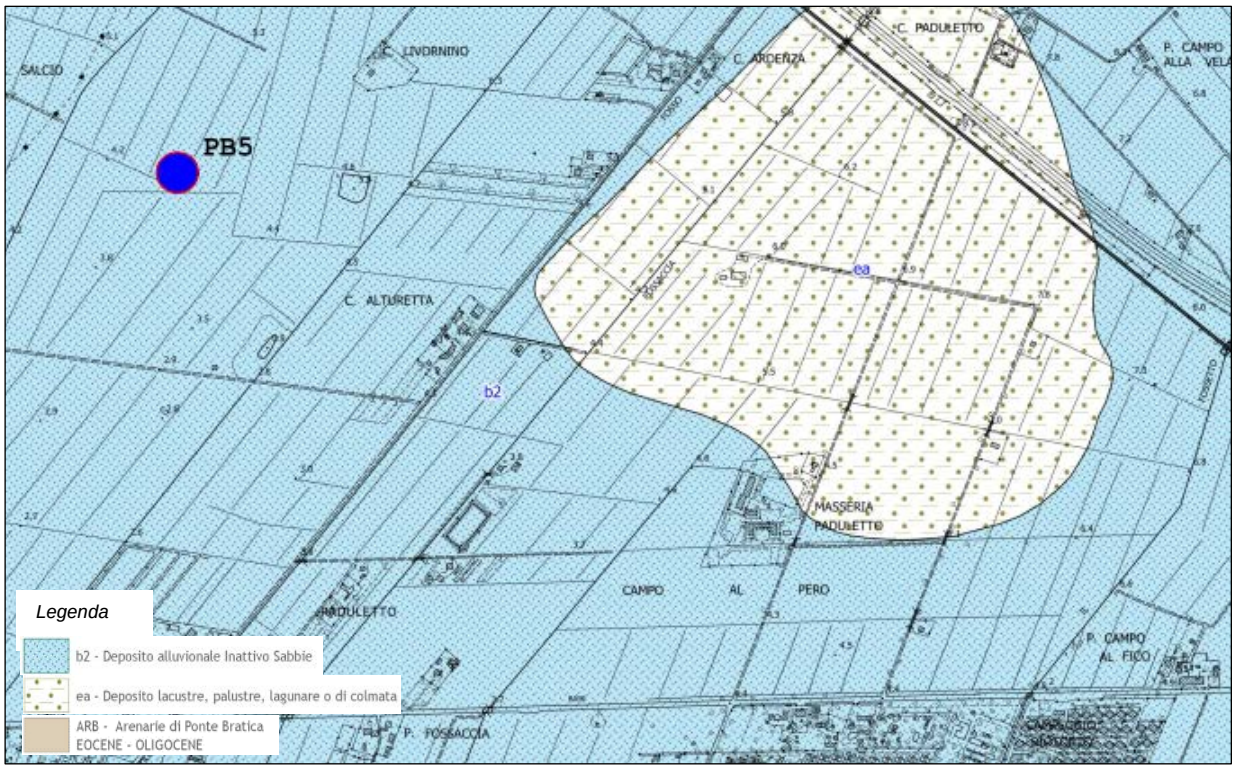


Figura 6: Stralcio Foglio G.01b della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

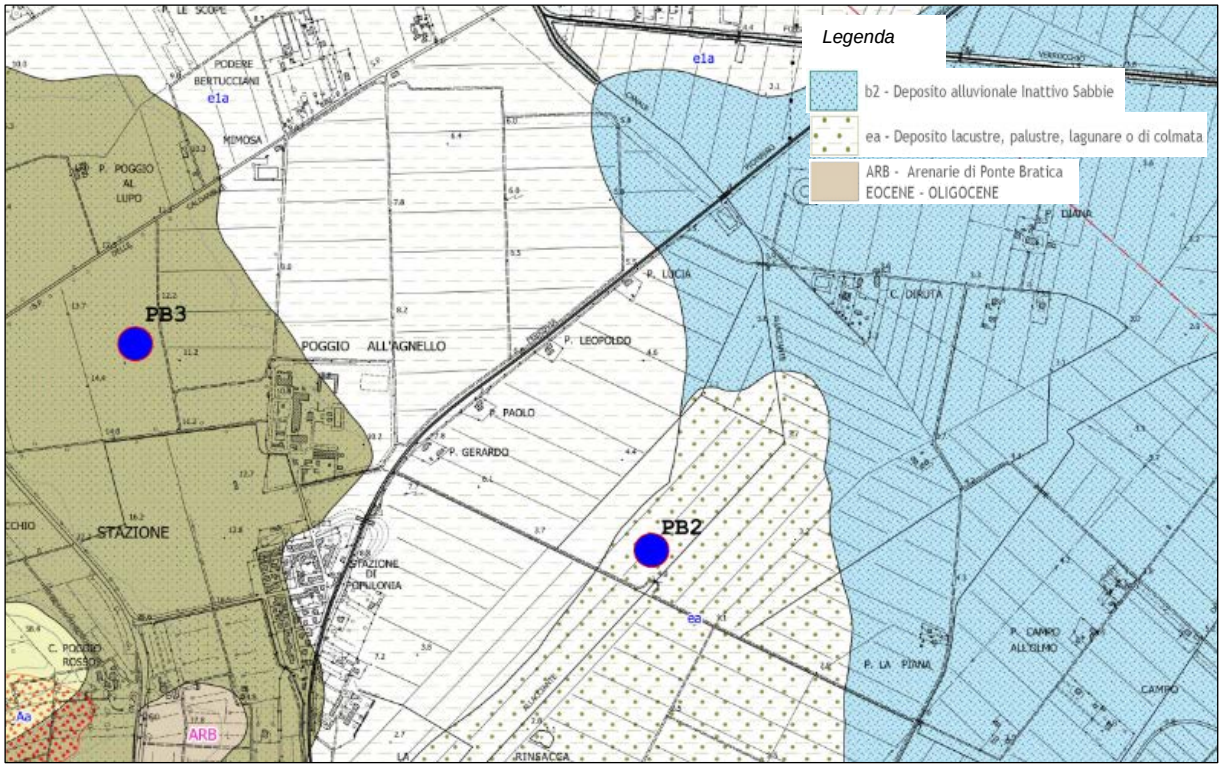


Figura 7: Stralcio Foglio G.01c della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

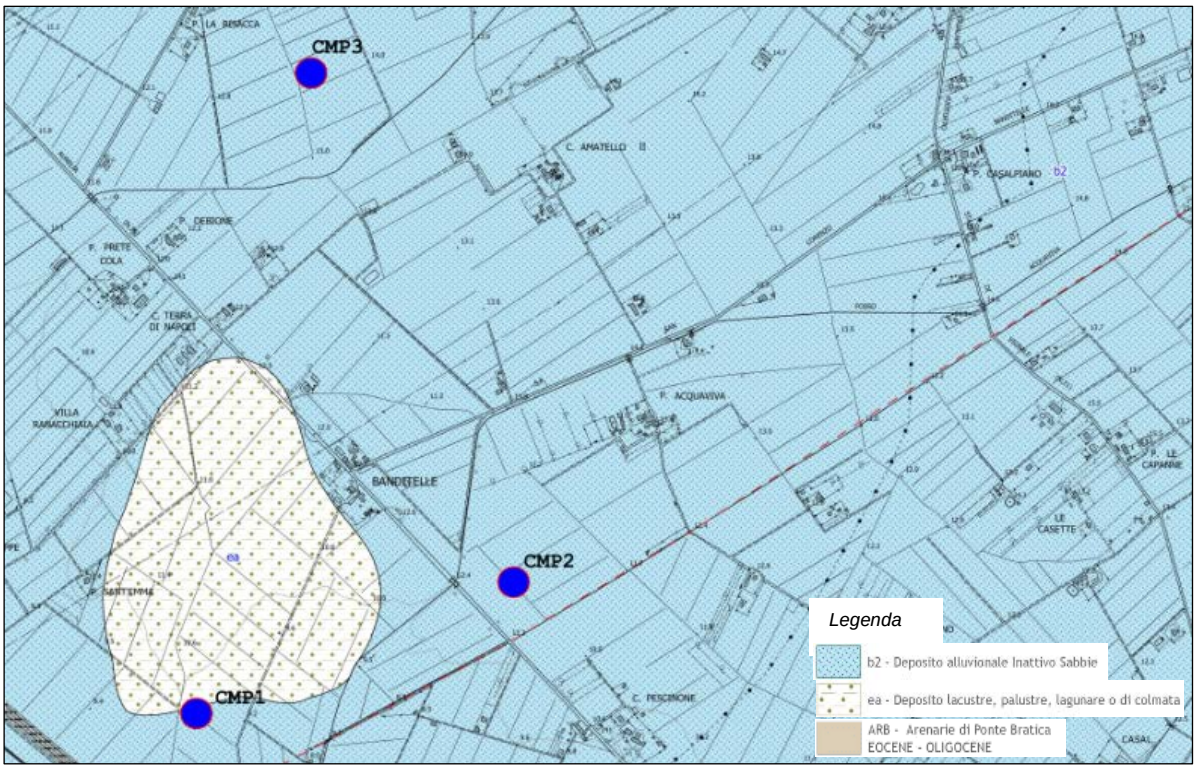


Figura 8: Stralcio Foglio G.01d della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e relative figure sopra riportate, gli interventi previsti da progetto ricadono su porzioni di territorio contraddistinte dall'affioramento delle seguenti formazioni geologiche:

- ✓ in corrispondenza degli aerogeneratori PB1, PB2 e PB4 e della Sottostazione Elettrica (SSE) affiorano depositi superficiali ascrivibili alla formazione "*ea – Deposito lacustre, palustre, lagunare o di colmata*", sostanzialmente costituita da depositi di consistenza variabile in aumento con la profondità, originati dagli episodi di colmata della pianura costiera e presentano una tessitura ad elevata componente limo-argillosa con sporadica presenza di strati a componente sabbiosa dominante (legati agli episodi di elevata energia, come le piene fluviali);
- ✓ in corrispondenza dell'aerogeneratore PB3 sono cartografati depositi superficiali ascrivibili alla formazione "*g2a – Spiaggia sabbie*"; dalla consultazione del precedente Strumento Urbanistico (Piano Strutturale d'Area) risulta che in realtà affiorano sedimenti ascrivibili alla formazione "*VILb - Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi***"** costituita da depositi di natura continentale e di facies ossidanti corrispondono alle fasi epiglaciali di maggior ritiro del livello del mare. Il tipico colore rosso-arancio è probabilmente derivato da quello dei materiali detritici di provenienza in gran parte dallo smantellamento di depositi molto arrossati dovuti a fenomeni pedologici. Sono descritte come sabbie a granulometria molto fine, anche se non è raro ritrovarvi ghiaie e ciottoli di spessore variabile che difficilmente supera i 5 m. I sottostanti;
- ✓ in corrispondenza degli aerogeneratori PB5, CMP2 e CMP3 affiorano depositi superficiali ascrivibili alla formazione "*b2 – Deposito alluvionale inattivo Sabbie*", sedimenti presenti nei fondovalle di tutti i corsi d'acqua e consistenti prevalentemente in argille, limi e sabbie, con presenza di ghiaie nelle aree più interne della valle del Fiume Cornia. La porzione più ampia della pianura alluvionale del Fiume Cornia è caratterizzata da depositi argillosi, con presenza di rilevanti spessori di sedimenti fini e scarsamente compattati;

- ✓ l'aerogeneratore CMP1 ricade in una porzione di territorio contraddistinta dall'affioramento della formazione "*b2 – Deposito alluvionale inattivo Sabbie*" in prossimità del contatto con una "lente" di affioramento della formazione "*ea – Deposito lacustre, palustre, lagunare o di colmata*".

Le coperture detritiche superficiali finora descritte poggiano al di sopra di un substrato costituito da terreni limo-argillosi grigio azzurri (cromatismo relativo ad un ambiente fortemente riducente) legati ad una deposizione prevalentemente marina/lagunare, a loro volta sovrastanti orizzonti litologicamente riconducibili a sabbie fini di color giallo ocra con inclusi frammenti litoidi calcarenitici che, sulla base delle conoscenze oggi a disposizione, sono rilevabili oltre - 15,00/20,00 m dal piano campagna.

Il substrato della successione finora descritta, rinvenibile a profondità superiori a 30,00 m di profondità, è verosimilmente costituito da formazioni arenacee o argillitico-marnose che costituiscono l'ossatura dei promontori di Piombino e Campiglia Marittima.

1.5. Assetto Idrografico superficiale

Per quanto concerne l'aspetto idrologico, la porzione di territorio in esame ricade nel contesto della pianura alluvionale del Fiume Cornia, asse drenante principale della zona in studio. Tale corso d'acqua è stato deviato artificialmente in corrispondenza della località Ponte di Ferro, per favorire la bonifica e lo sviluppo delle attività antropiche nella pianura alluvionale circostante l'abitato di Piombino. L'intervento antropico legato alle attività agricole caratterizzanti da lungo tempo le porzioni di territorio in studio, se da una parte ha profondamente influenzato il deflusso superficiale delle acque attraverso una fitta rete di canali e fossi, dall'altra è chiara testimonianza delle difficoltà che i terreni incontrano per l'assorbimento ed immagazzinamento delle acque superficiali.

Certamente occorre attribuire una certa importanza a queste vere e proprie reti di drenaggio superficiale proprio in ordine alla organizzazione dei deflussi sub-coticali che possono aver mantenuto una "memoria" sotto il profilo idrogeologico e possono costituire assi drenanti preferenziali nei primi spessori di terreno.

1.6. Inquadramento Idrogeologico

Studi autorevoli riguardanti l'idrogeologia della Pianura di Piombino, quali ad esempio quello dell'Università di Siena (G. Ghezzi, R. Ghezzi, A. Muti "Studio idrogeologico della pianura di Piombino" - "La scienza della terra nell'area della Provincia di Livorno a sud del Fiume Cecina" - "Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno – vol 13 (1993) Supplemento 2" - Università di Siena – Cons. Naz. Delle Ricerche – Prov. Di Livorno), i cui esiti sono riportati anche nel contesto della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, registrano come "in atto" l'ingressione salina (la cui azione sarebbe verificata attraverso i valori elevati di conducibilità elettrica delle acque) dovuta al mutamento delle condizioni piezometriche dagli inizi del 1900 (in cui il deflusso era prevalentemente nord-sud).

Secondo tali studi, la situazione piezometrica attuale sarebbe ascrivibile ad emungimenti in corso nella zona dell'entroterra della Val Cornia, che avrebbero causato l'inversione del deflusso e la formazione di un ampio cono di depressione.

Dalla consultazione degli stralci dei n.4 fogli della Carta Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima consultabili nelle seguenti Figure 9, 10, 11, 12 e si rileva che tutti gli aerogeneratori ricadenti nel contesto del territorio comunale di Piombino e la Sottostazione Elettrica (SSE) ricadono in aree caratterizzate dalla presenza del fenomeno dell'ingressione salina.

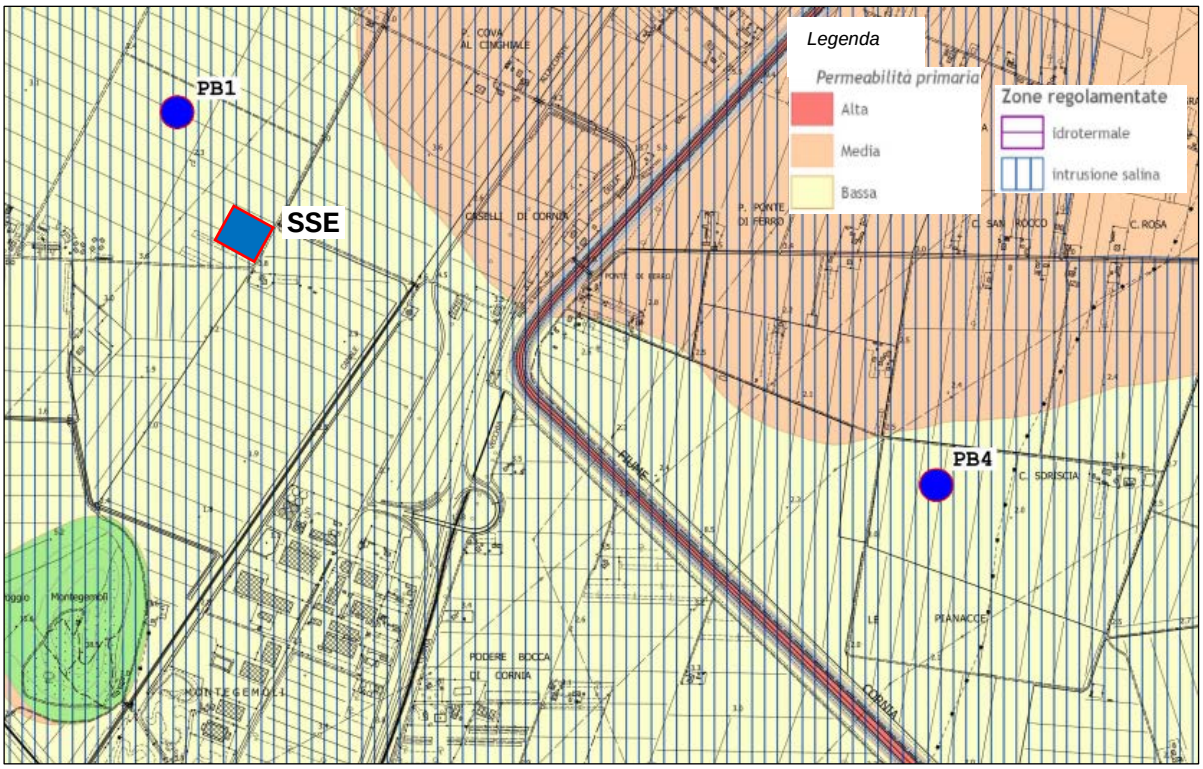


Figura 9: Stralcio Foglio G.05a della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

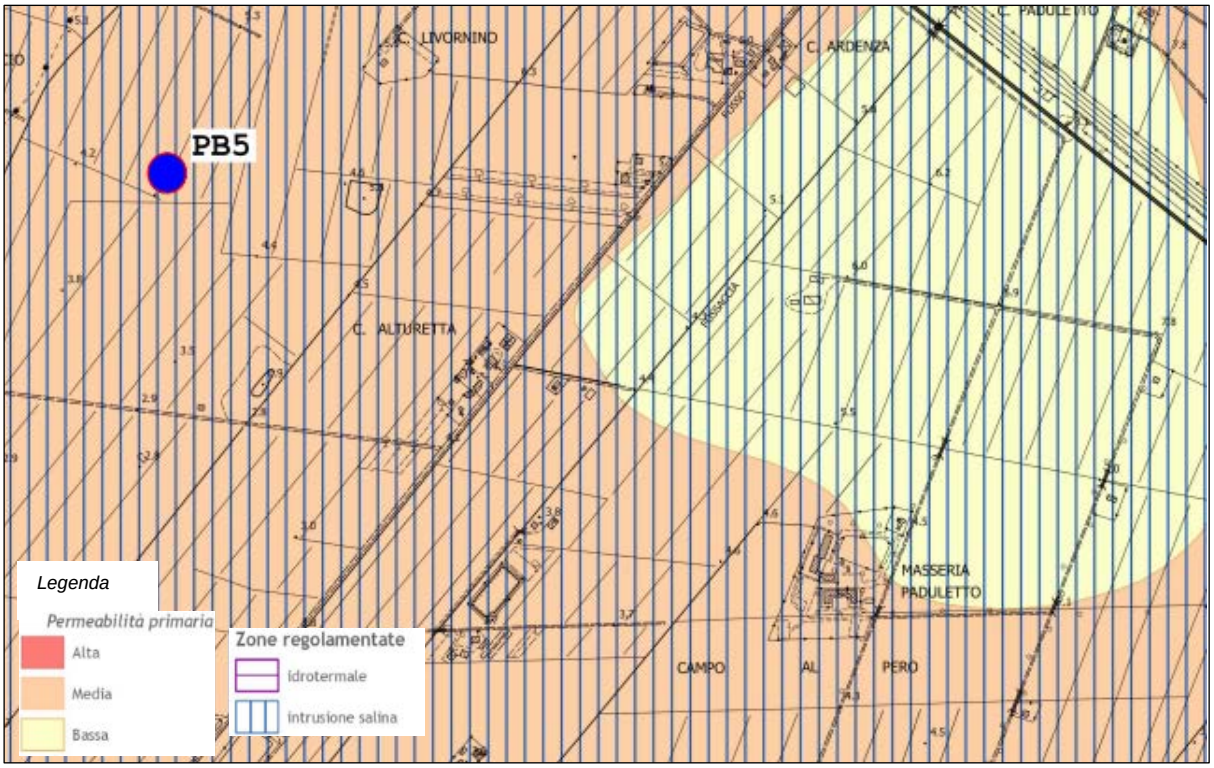


Figura 10: Stralcio Foglio G.05b della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

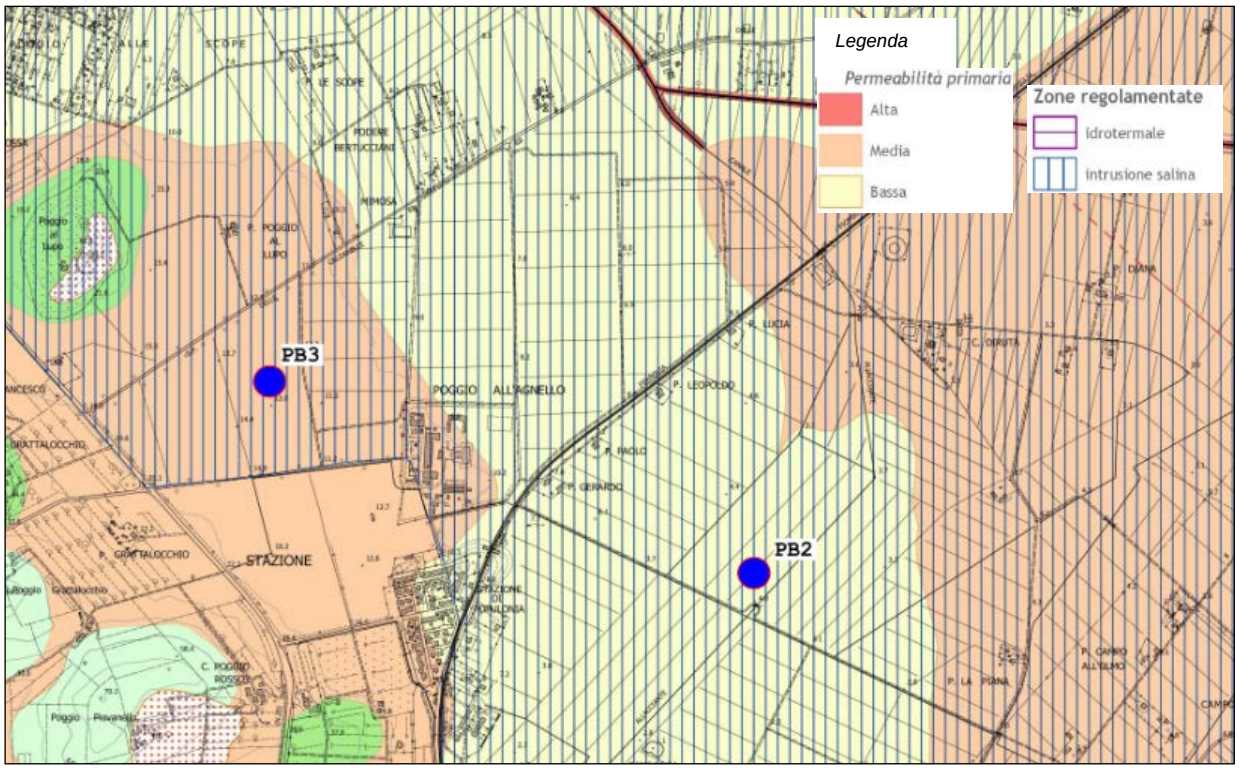


Figura 11: Stralcio Foglio G.05c della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

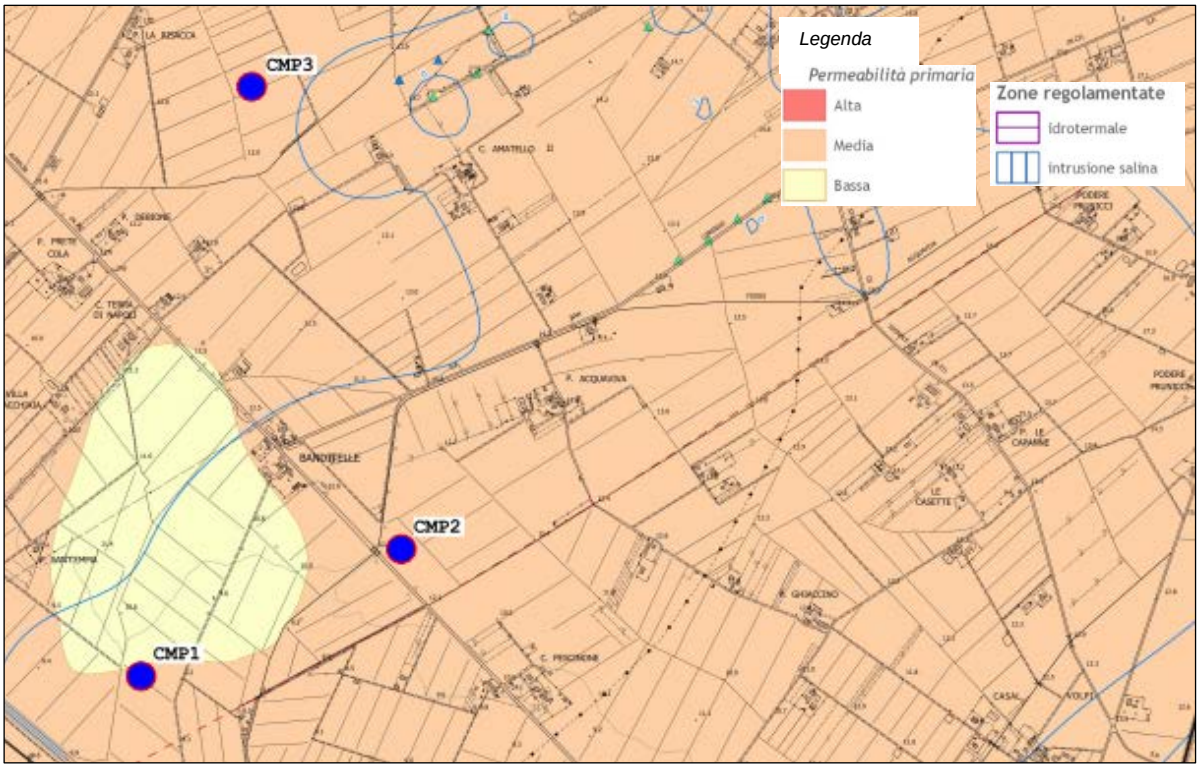


Figura 12: Stralcio Foglio G.05d della Carta Idrogeologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Dalla consultazione della Carta Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, si rileva che i depositi superficiali in affioramento in corrispondenza degli interventi previsti sono caratterizzati da condizioni di permeabilità riassunte nella Tabella 4 seguente, come visibile nelle Figure

9, 10, 11 e 12 riportanti gli stralci dei n.4 fogli della Carta Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

Elemento	Permeabilità primaria
Aerogeneratore PB1	*Bassa*
Aerogeneratore PB2	*Bassa*
Aerogeneratore PB3	*Media*
Aerogeneratore PB4	*Bassa*
Aerogeneratore PB5	*Media*
Aerogeneratore CMP1	*Media*
Aerogeneratore CMP2	*Media*
Aerogeneratore CMP3	*Media*
Sottostazione elettrica (SSE)	*Bassa*

Tabella 4: Classi di Permeabilità attribuite alle formazioni geologiche in affioramento in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica

L'evoluzione paleogeografia ci consegna una zona di interesse caratterizzata da linee di spiaggia in avanzamento, tomboli o alture retro-dunali in continua trasformazione. Le fasi di imbonimento dei secoli scorsi, intercalate ai normali apporti fluviali, ci rendono una situazione con una lama di mare ed una linea di transizione salata-salmastra-dolce in discontinuo avanzamento.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, nel tratto finale della piana del Fiume Cornia nel suo complesso, si rinviene una falda freatica semi-confinata; tale falda ha sede nell'acquifero il cui tetto si trova al di sotto di terreni argillosi o limo-argillosi, caratterizzati da spessori variabili da ridotti o assenti, ove la falda ha caratteristiche schiettamente freatiche, a spessori importanti, oltre i 40 m.

La ricarica di tale acquifero è relegata agli apporti meteorici o per dispersione dal subalveo dei corsi d'acqua nelle zone di assenza della copertura argillosa, presenti principalmente nella parte alta della Val di Cornia.

Dalla consultazione della pubblicazione dell'Università di Siena, in particolare dallo stralcio della carta isopaca della copertura argillosa di Figura 13, si evidenzia come nella zona di interesse, la copertura della falda freatica è continua con spessori passanti dai 10,0 m ad oltre 40,0 m dal p.c..

Tale falda non è più utilizzata per uso potabile da parecchi decenni; solo in epoche passate, fine 800 inizio 900, in alcuni pozzi a sterro che talvolta si rintracciano ancora nelle aree agricole limitrofe, in larga parte ormai profondamente trasformate, poterono essere sfruttate acque di dubbia qualità.

Al di sotto dell'acquifero freatico si rinvengono acquiferi confinati, quindi in pressione, a profondità mai inferiori ai 35/40 m dal p.c..

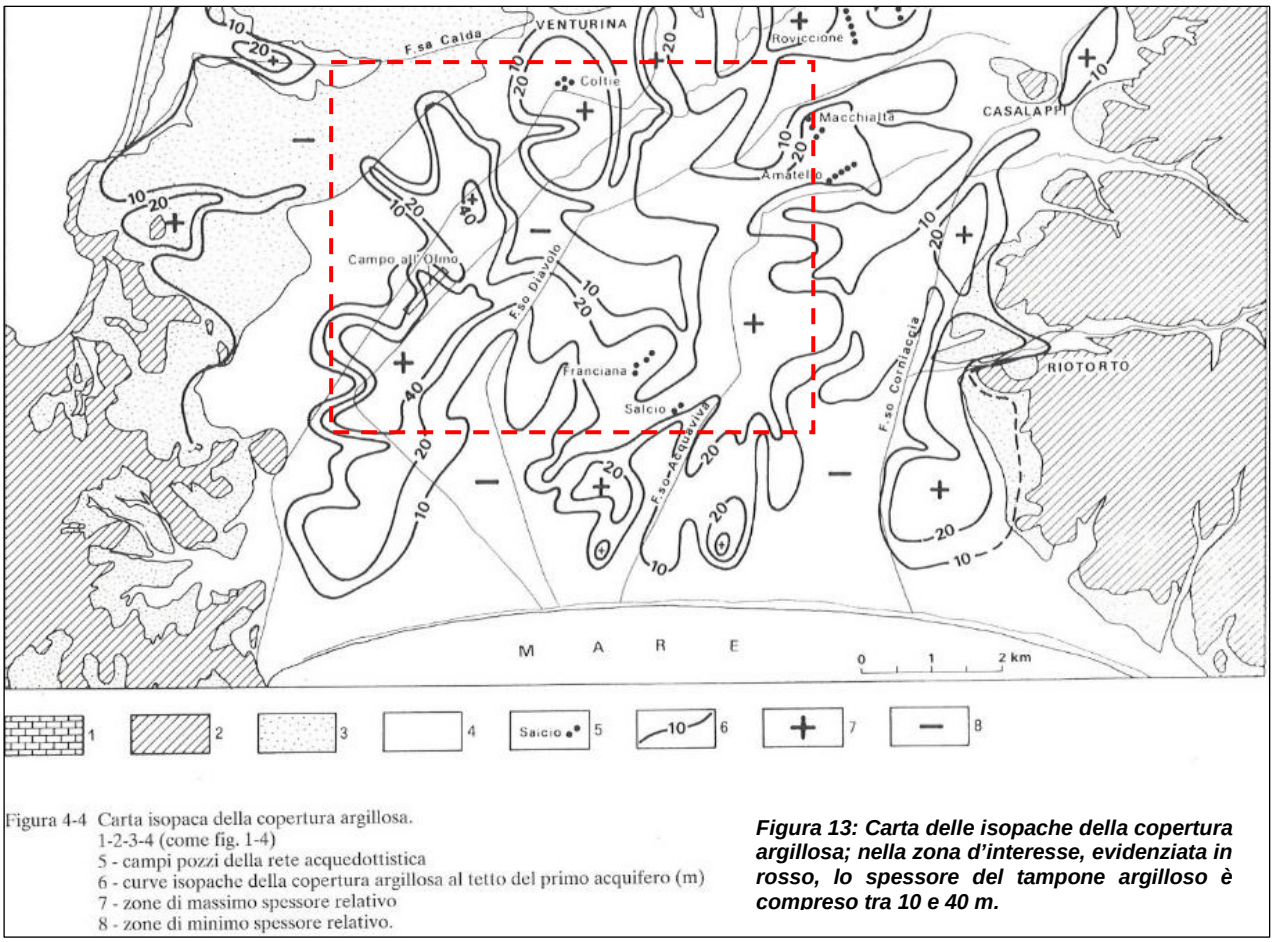


Figura 4-4 Carta isopaca della copertura argillosa.
1-2-3-4 (come fig. 1-4)
5 - campi pozzi della rete acquedottistica
6 - curve isopache della copertura argillosa al tetto del primo acquifero (m)
7 - zone di massimo spessore relativo
8 - zone di minimo spessore relativo.

Figura 13: Carta delle isopache della copertura argillosa; nella zona d'interesse, evidenziata in rosso, lo spessore del tampone argilloso è compreso tra 10 e 40 m.

Nell'area in studio è possibile individuare sostanzialmente 2 diverse unità idrogeologiche, procedendo da piano campagna:

- *depositi lagunari e di colmata*: la natura prevalentemente argilloso-limosa permette di identificare questo orizzonte come un tampone impermeabile nei confronti delle infiltrazioni idriche superficiali ("Acquicludo"); prove in situ ed in laboratorio per la determinazione del coefficiente di permeabilità K hanno restituito valori compresi tra 10^{-7} e 10^{-9} cm/sec che caratterizzano tale orizzonte sicuramente fino a -7,00 m di profondità dal piano campagna attuale;
- *sabbie pleistoceniche*: risultano nella zona circostante sede di un acquifero freatico semi-confinato, protetto dalle infiltrazioni superficiali dalla copertura argillosa, localmente priva di continuità.

A profondità maggiori, la presenza di sporadiche e isolate passate a maggior componente sabbiosa, produce un aumento locale della conducibilità idraulica (peraltro non basata su esiti di prove di permeabilità ma sull'analisi dei dati stratigrafici a disposizione), tale da identificare questa successione come "Acquitardo".

Come risulta dalla sezione idrogeologica ricavata dallo "Studio idrogeologico della Pianura di Piombino" - Supplemento n°2 ai Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno 13 (1993): 213-275 proposta in Figura 14, l'acquifero in questione non affiora nell'area in studio dove risulta isolato e confinato da formazioni idrogeologicamente impermeabili sia alla base (fino a profondità superiori ai 30,0 m da piano campagna) che al tetto.

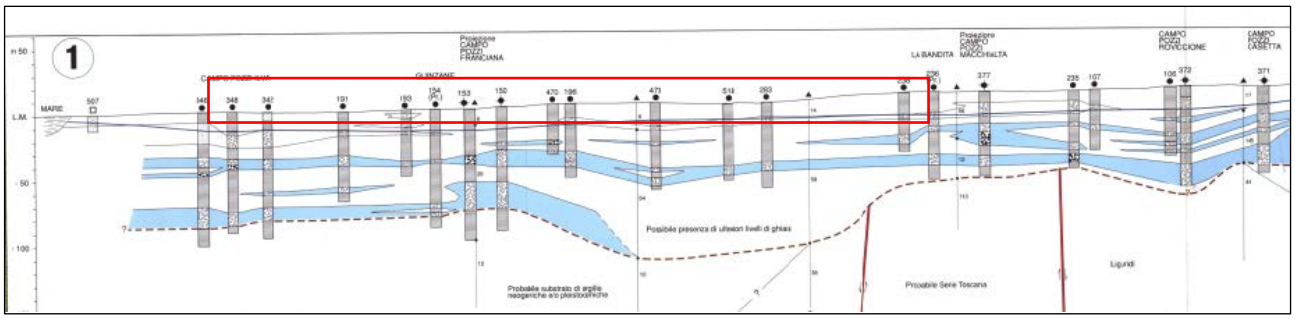


Figura 14: Stralcio della sezione idrogeologica con individuazione (in rosso) del dominio di competenza dell'area in studio.

Tutte le informazioni e dati finora esposti in ordine all'assetto idrogeologico sito specifico ed in particolare alle condizioni di protezione della circolazione idrica sotterranea sono esplicate nel contesto della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima; nella Tabella 4 di pagina seguente e nelle Figure 9, 10, 11 e 12 riportanti gli stralci dei n.4 fogli della Carta delle Problematiche Idrogeologiche Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima sono visibili le classi di Vulnerabilità Idrogeologica attribuite alle porzioni di territorio nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

Elemento	**Classe di Vulnerabilità idrogeologica**
Aerogeneratore PB1	*1 - Bassa*
Aerogeneratore PB2	*1 - Bassa*
Aerogeneratore PB3	*2 - Media*
Aerogeneratore PB4	*1 - Bassa*
Aerogeneratore PB5	*2 - Media*
Aerogeneratore CMP1	*2 - Media*
Aerogeneratore CMP2	*2 - Media*
Aerogeneratore CMP3	*2 - Media*
Sottostazione elettrica (SSE)	*1 - Bassa*

Tabella 5: Classi di Vulnerabilità Idrogeologica in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica

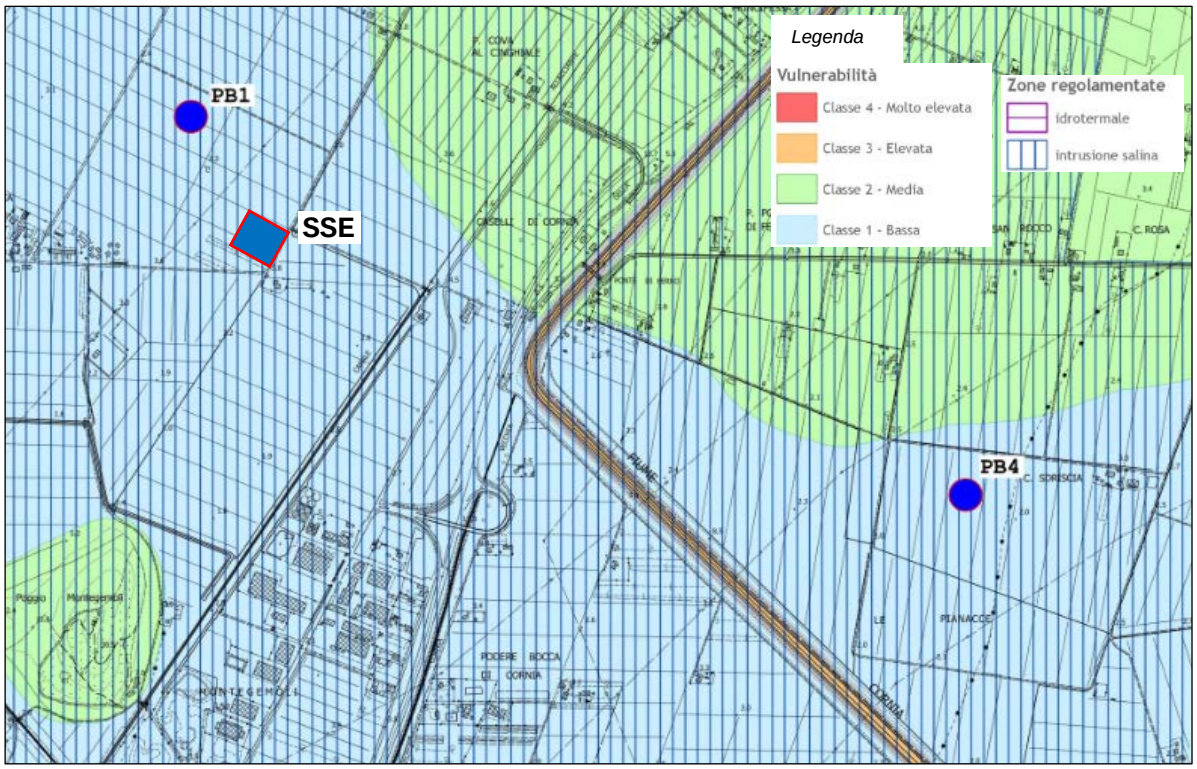


Figura 15: Stralcio Foglio G.07a della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Figura 16: Stralcio Foglio G.07b della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

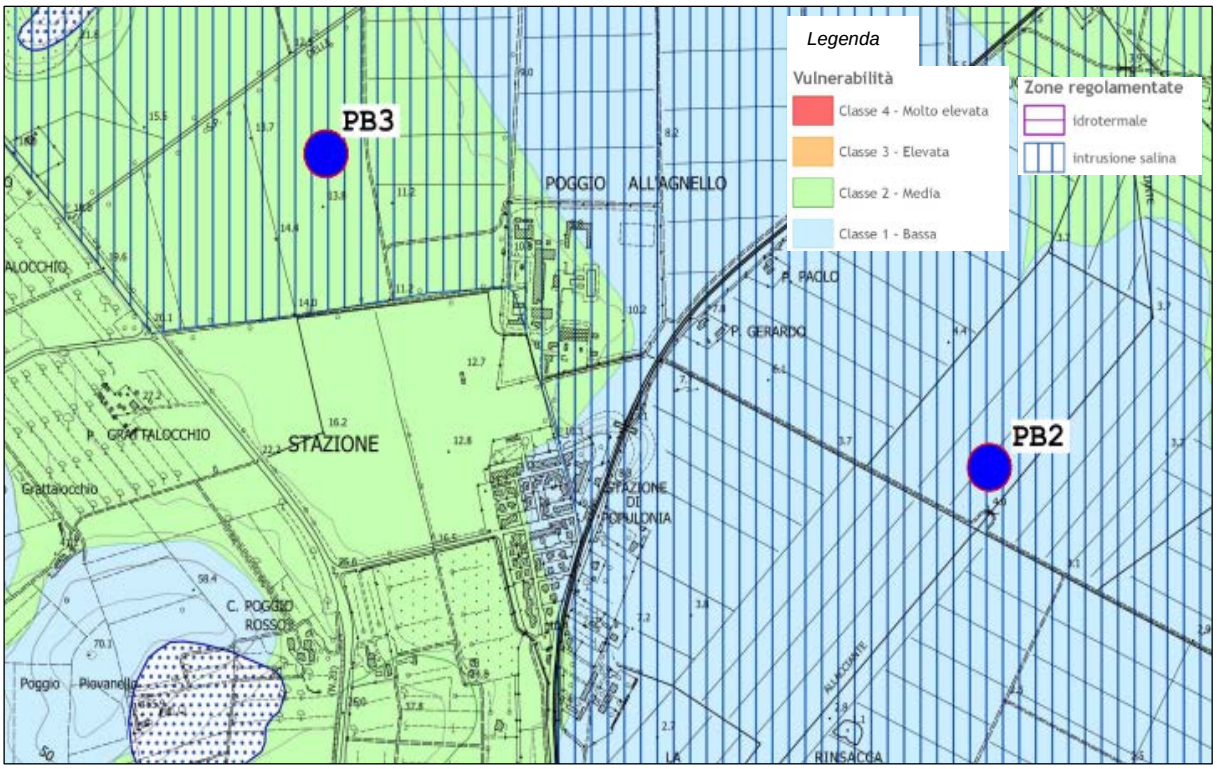


Figura 17: Stralcio Foglio G.07c della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

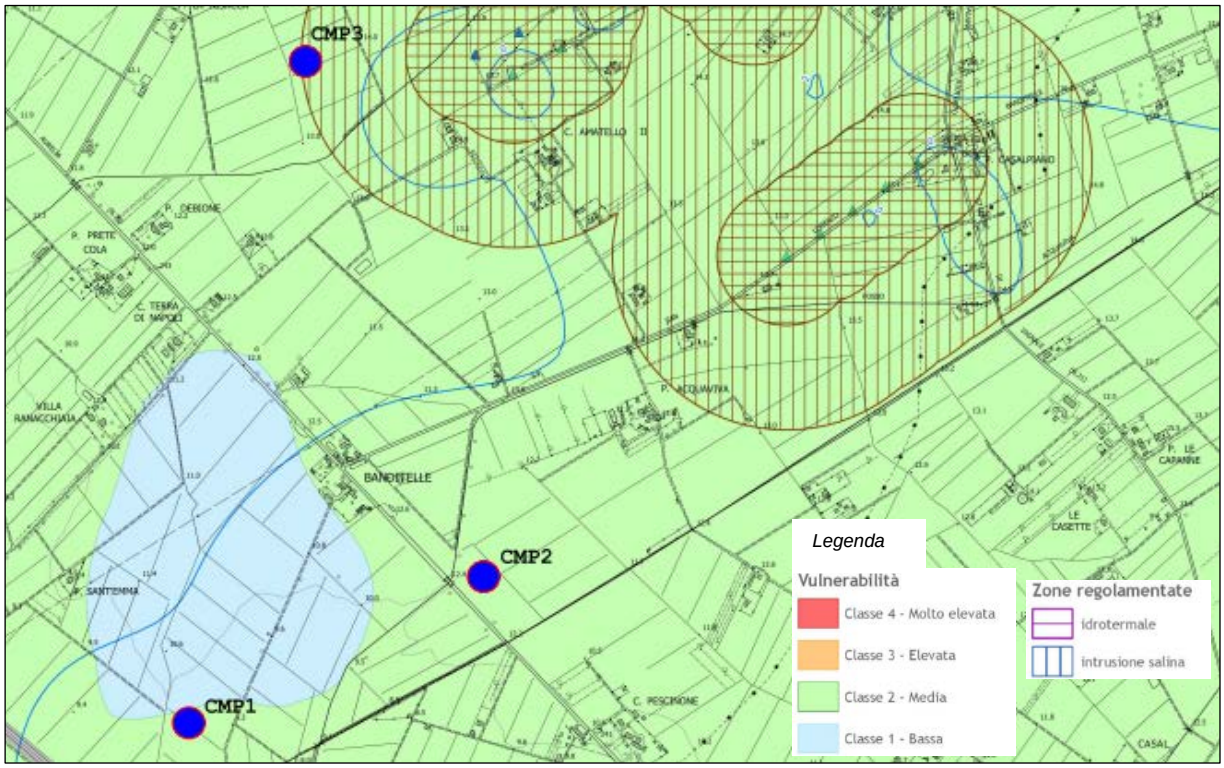


Figura 18: Stralcio Foglio G.07d della Carta delle Problematiche Idrogeologiche del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e figure sopracitate, gli interventi previsti da progetto ricadono su porzioni di territorio contraddistinte dalle seguenti classi di Vulnerabilità idrogeologica:

- in corrispondenza degli aerogeneratori PB1, PB2, PB4 e della Sottostazione Elettrica (SSE)

è rilevabile la classe di vulnerabilità idrogeologica "*1 – Bassa*", che identifica aree in cui la probabilità di contaminazione dell'acquifero soggiacente da parte di un inquinante idrotrasportato è bassa in relazioni a terreni caratterizzati da permeabilità bassa o media e con situazioni morfologiche non di ristagno.

- in corrispondenza degli aerogeneratori PB3, PB5, CMP1, CMP2 e CMP3 è rilevabile la classe di vulnerabilità idrogeologica "*2 – Media*", che identifica aree con terreni a permeabilità medio-alta in contesti morfologici di pianura o pedecollinari;
- esclusivamente l'aerogeneratore CMP3 ricade al margine della fascia di rispetto dei 500 m dai pozzi idropotabili per la quale valgono le limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici ai sensi dell'art. 94 del D.L.gs 152/2006. Tuttavia in relazione alla natura dell'intervento previsto non si ritengono rilevano limitazioni in quanto l'attività prevista non rientra tra quelle elencate al comma 4 dell'art. 94 del D.L.gs 152/2006.

2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

2.1. Indagini a disposizione

Precisiamo in primo luogo che, come riportato nel contesto degli ulteriori Elaborati ai quali la presente si riferisce, gli aerogeneratori con relative strutture fondazioni saranno progettati sulla base di puntuali indagini geotecniche e sismiche per ciascuna torre tenendo in conto di carichi e sollecitazioni in riferimento al sistema fondazione-suolo ed al regime di vento misurato sul sito.

La caratterizzazione geologico-geotecnica/idrogeologica e sismica di supporto alle lavorazioni oggetto di valutazione si avvale dei dati bibliografici ad oggi a disposizione, derivanti dal compendio dei Dati di Base dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, da indagini sismiche già eseguite in prossimità degli aerogeneratori PB3, PB4 e CMP1 e da ulteriori dati di archivio a disposizione degli scriventi.

Dati di Base

Di seguito si riportano le informazioni stratigrafiche significative derivanti dall'analisi dei Dati di Base a disposizione, corrispondenti alle stratigrafie di sondaggi e pozzi ubicati nel contesto del territorio del Comune di Campiglia Marittima; i relativi elaborati vengono in questa sede omessi, risultando comunque nella disponibilità dello scrivente ed agli Atti delle competenti Amministrazioni, quindi consultabili qualora necessario.

L'analisi delle numerose colonne stratigrafiche a disposizione in corrispondenza in particolare degli aerogeneratori CMP1, CMP2 e CMP3 rivelano la presenza, al di sotto del terreno vegetale, di orizzonti a componente argillosa dominante/quasi esclusiva che con ottima continuità risultano estesi fino a profondità comprese tra 20 m e 30 m dal piano campagna; al di sotto si rilevano orizzonti a composizione granulare grossolana dominante (ghiaie in variabile matrice sabbiosa) sede del primo vero e proprio acquifero.

In relazione alla buona corrispondenza delle stratigrafie analizzate, riteniamo che gli ulteriori approfondimenti d'indagine funzionali alla caratterizzazione geologico-geotecnica delle aree di insistenza degli aerogeneratori previsti da progetto porteranno a confermare il modello geologico finora descritto, naturalmente correlate dalle necessarie prove in sito (quali ad esempio SPT, prove con penetrometro tascabile, prove penetrometriche statiche/dinamiche) e di laboratorio, funzionali alla determinazione dei necessari parametri geotecnici per una corretta progettazione che risponda ai requisiti delle norme di specifico settore (NTC 2018 e Regolamento Regionale 1/R/2022).

Indagini sismiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di pertinenza degli aerogeneratori PB3, PB4 e CMP1, nel mese di maggio 2023 sono stati eseguiti n.3 stendimenti sismici con tecniche di acquisizione MASW ed a rifrazione che hanno permesso di definire la categoria di sottosuolo in funzione della classificazione adottata nelle vigenti NTC 2018 nonché ricostruire n.3 sezioni sismostratigrafiche mediante rilevamento della velocità delle onde primarie (onde P).

Di seguito si riportano le informazioni significative derivanti dalle suddette indagini sismiche, in termini di categoria di sottosuolo come ricavate dalle indagini sismiche MASW e sezioni sismostratigrafiche derivanti dalle indagini sismiche a rifrazione; i relativi elaborati vengono in questa sede omessi, risultando comunque nella disponibilità degli scriventi, quindi consultabili qualora necessario.

Amplificazione sismica locale

Il sistema di classificazione attualmente in vigore, secondo le "Norme Tecniche per le Costruzioni" (2018), prevede la suddivisione in diverse categorie di sottosuolo sulla base della velocità di propagazione delle onde di taglio (onde S) nel terreno per i primi 30 m di profondità ($V_{s,30}$).

Le categorie di sottosuolo, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sono di seguito riportate:

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo di 3 m;

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/sec;

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/sec;

Categoria D: Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/sec;

Categoria E: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Come già indicato nel *Paragrafo 2.1* ad sono state complessivamente eseguite n.3 indagini sismiche MASW. L'andamento della velocità delle onde di taglio derivante dalle n.3 indagini sismiche MASW rivelano che il substrato con Vs > 800 m/sec è ubicato ad una profondità maggiore di 30 m; pertanto per l'attribuzione della categoria di sottosuolo di considera il valore $\boldsymbol{V_{s30}}$ che risulta compreso tra ***circa 280 m/sec e 330 m/sec***, tale da attribuire ai terreni oggetto di studio la ***Categoria C*** secondo la classificazione adottata nelle NTC 2018.

Data l'ottima corrispondenza tra i dati rilevati, riferiti ad una porzione di territorio piuttosto estesa, riteniamo che anche eventuali successivi approfondimenti d'indagine ritenuti necessari in accordo con i Tecnici Progettisti ai fini della conferma delle categorie di sottosuolo anche in corrispondenza degli ulteriori aerogeneratori, porteranno verosimilmente ad attribuire la medesima categoria di sottosuolo.

Sezioni sismostratigrafiche

Di seguito si riportano le n.3 sezioni sismostratigrafiche ricavate dai relativi profili sismici a rifrazione con rilevamento della velocità delle onde P.

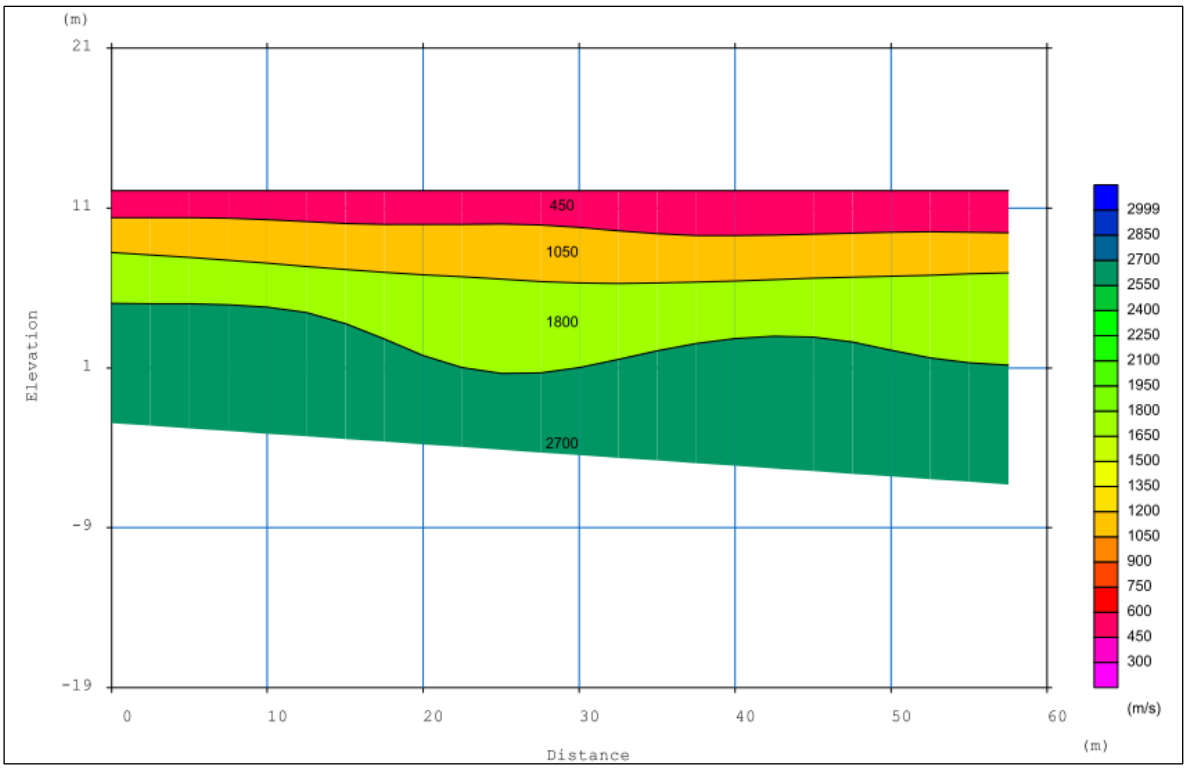


Figura 19: Sezione sismostratigrafica profilo PRSE733 – I1 – PB (aerogeneratore PB3)

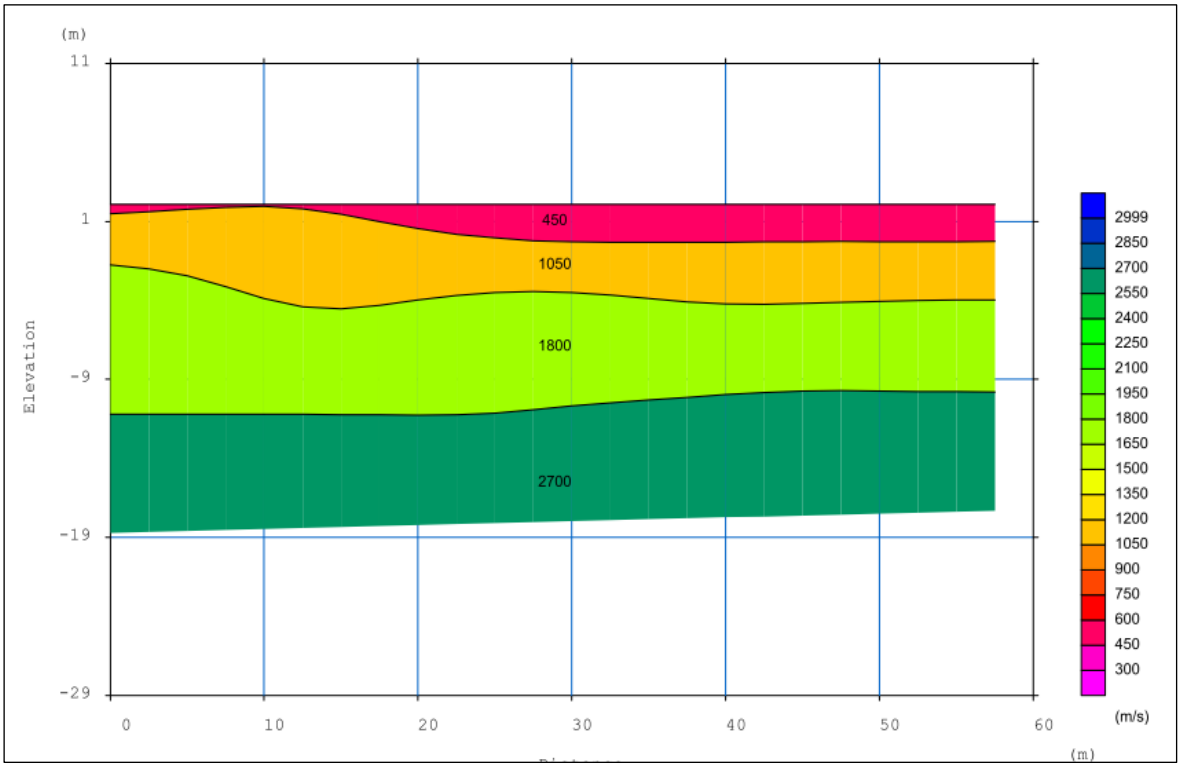


Figura 20: Sezione sismostratigrafica profilo PRSE733 – I2 – PB (aerogeneratore PB4)

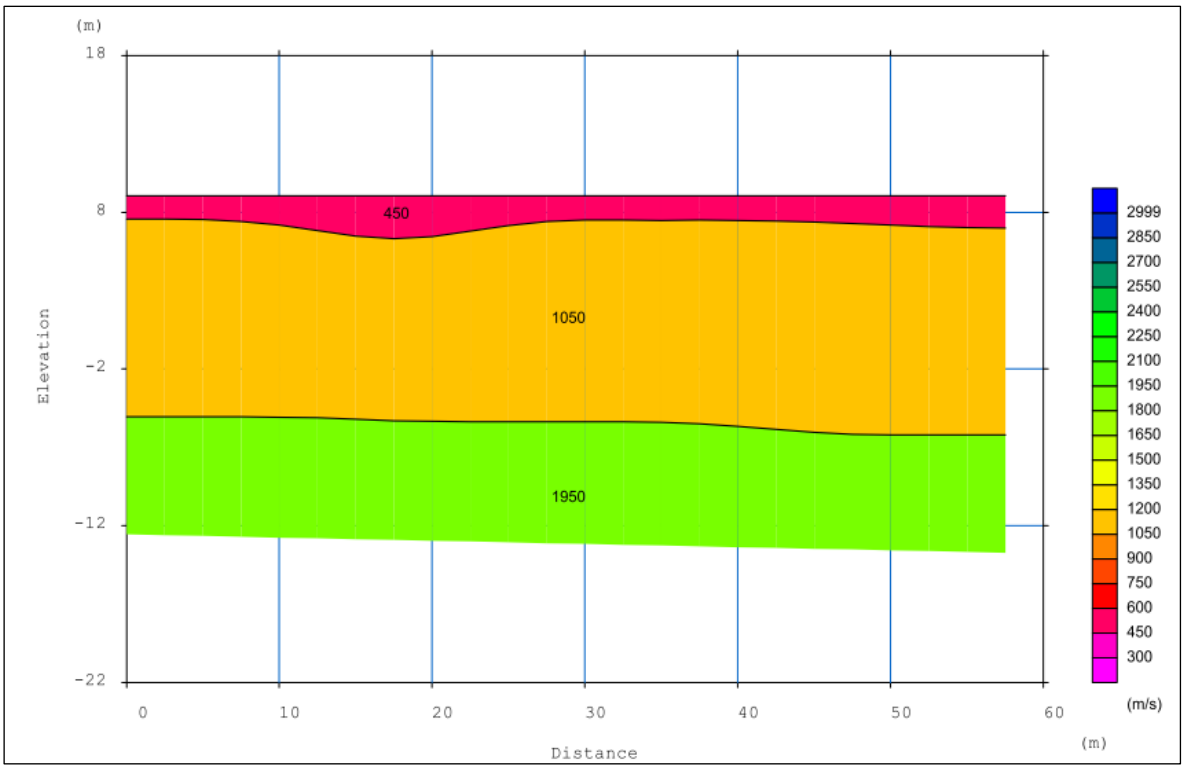


Figura 21: Sezione sismostratigrafica profilo PRSE733 – I3 – PB (aerogeneratore CMP1)

Le n.3 sezioni sismostratigrafiche mostrano un andamento piuttosto regolare nella distribuzione della velocità, a verifica e conferma dell'omogeneità dell'andamento degli orizzonti di terreno ed assenza di particolari morfologie sepolte/condizioni che possano dar luogo a fenomeni di amplificazione sismica del moto delle onde.

Anche in questo caso, data l'ottima corrispondenza tra i dati rilevati, riferiti ad una porzione di territorio piuttosto estesa, riteniamo che anche eventuali successivi approfondimenti d'indagine ritenuti necessari in accordo con i Tecnici Progettisti ai fini della correlazione delle indagini dirette per la verifica dell'andamento degli orizzonti di terreno ed assenza di morfologie sepolte che possano determinare particolari contrasti di rigidità/amplificazione sismica del moto delle onde, permetteranno di confermare le informazioni oggi a disposizione.

Dati di archivio

Le informazioni bibliografiche a disposizione degli scriventi derivano da pregresse campagne geognostiche con finalità di caratterizzazione geotecnica ed ambientale nel contesto del Sito di Interesse Nazionale di Piombino; anche in questo caso, i relativi elaborati vengono in questa sede omessi, risultando comunque nella disponibilità degli scriventi ed agli Atti delle competenti Amministrazioni, quindi consultabili qualora necessario.

L'analisi delle numerose colonne stratigrafiche a disposizione rivelano la presenza, al di sotto del terreno di riporto antropico, di orizzonti a componente argillosa dominante/quasi esclusiva che con ottima continuità risultano estesi fino a profondità comprese tra 20 m e 30 m dal piano campagna; al di sotto si rilevano orizzonti a composizione granulare grossolana dominante (ghiaie in variabile matrice sabbiosa) sede del primo vero e proprio acquifero.

In relazione alla buona corrispondenza delle stratigrafie analizzate, riteniamo che gli ulteriori approfondimenti d'indagine funzionali alla caratterizzazione geologico-geotecnica delle aree di insistenza degli aerogeneratori previsti da progetto porteranno a confermare il modello geologico finora descritto, naturalmente correlate dalle necessarie prove in sito (quali ad esempio SPT, prove con penetrometro tascabile, prove penetrometriche

statiche/dinamiche) ed in laboratorio funzionali alla determinazione dei necessari parametri geotecnici per una corretta progettazione che risponda ai requisiti delle norme di specifico settore (NTC 2018 e Regolamento Regionale 1/R/2022).

3 PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ GEOLOGICO-TECNICA

3.1. Valutazione delle Pericolosità

3.1.1. Pericolosità geologica

Dalla consultazione della Carta di Pericolosità Geologica del Piano Strutturale Intercomunale di Piombino e Campiglia M.ma, le porzioni di territorio dove è prevista la realizzazione degli interventi previsti sono contraddistinte dalle classi di pericolosità geomorfologica come indicate nella seguente Tabella 6 e come graficamente visibile nelle Figure 19, 20, 21 e 22 riportanti gli stralci dei n.4 fogli della Carta di Pericolosità Geologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

Elemento	Classe di Pericolosità Geologica
Aerogeneratore PB1	*G.3 - Elevata*
Aerogeneratore PB2	*G.3 - Elevata*
Aerogeneratore PB3	*G.2 - Media*
Aerogeneratore PB4	*G.3 - Elevata*
Aerogeneratore PB5	*G.3 - Elevata*
Aerogeneratore CMP1	*G.3 - Elevata*
Aerogeneratore CMP2	*G.3 - Elevata*
Aerogeneratore CMP3	*G.3 - Elevata e P3a (PAI)*
Sottostazione elettrica (SSE)	*G.3 - Elevata*

Tabella 6: Classi di Pericolosità geologica in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica

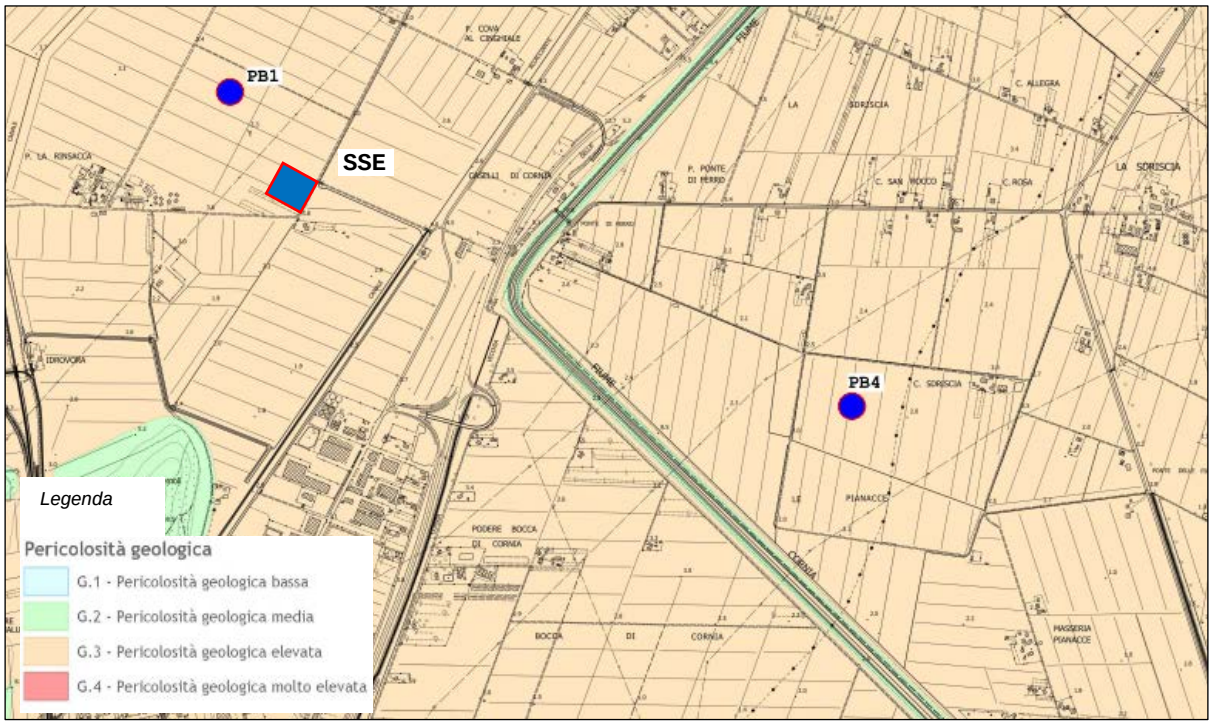


Figura 22: Stralcio Foglio G.06a della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

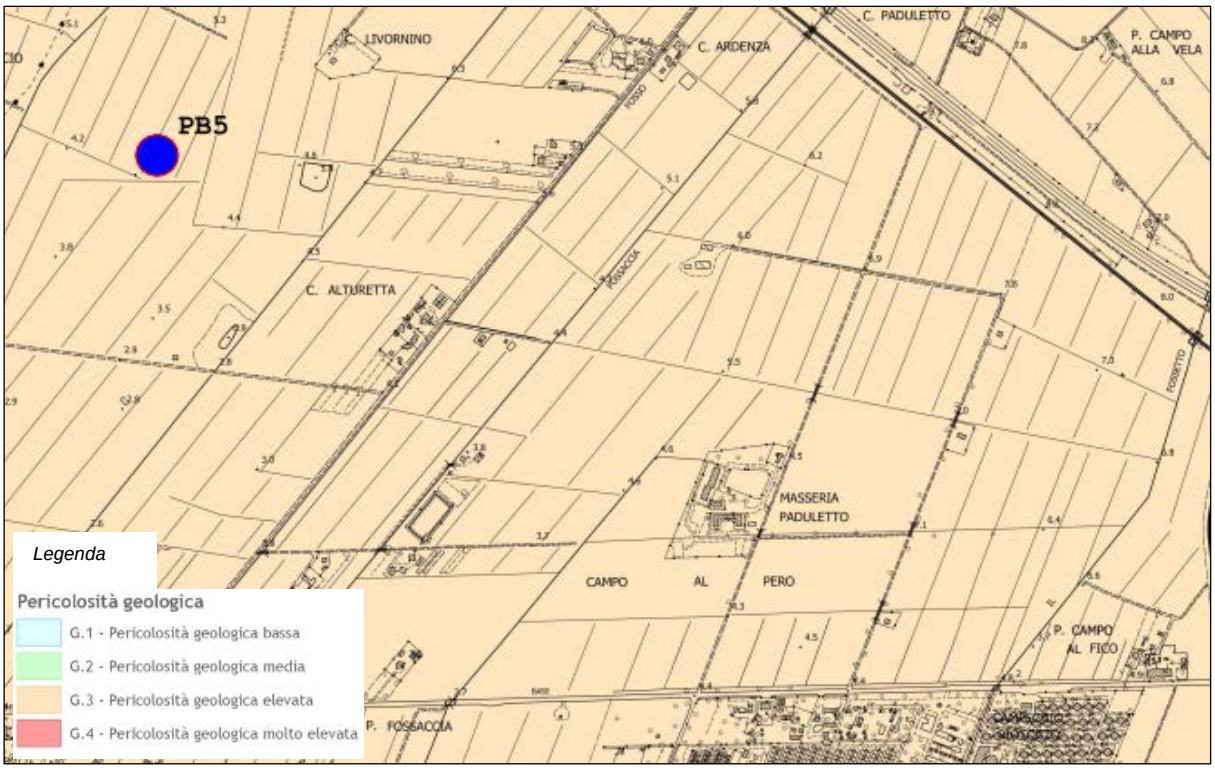


Figura 23: Stralcio Foglio G.06b della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

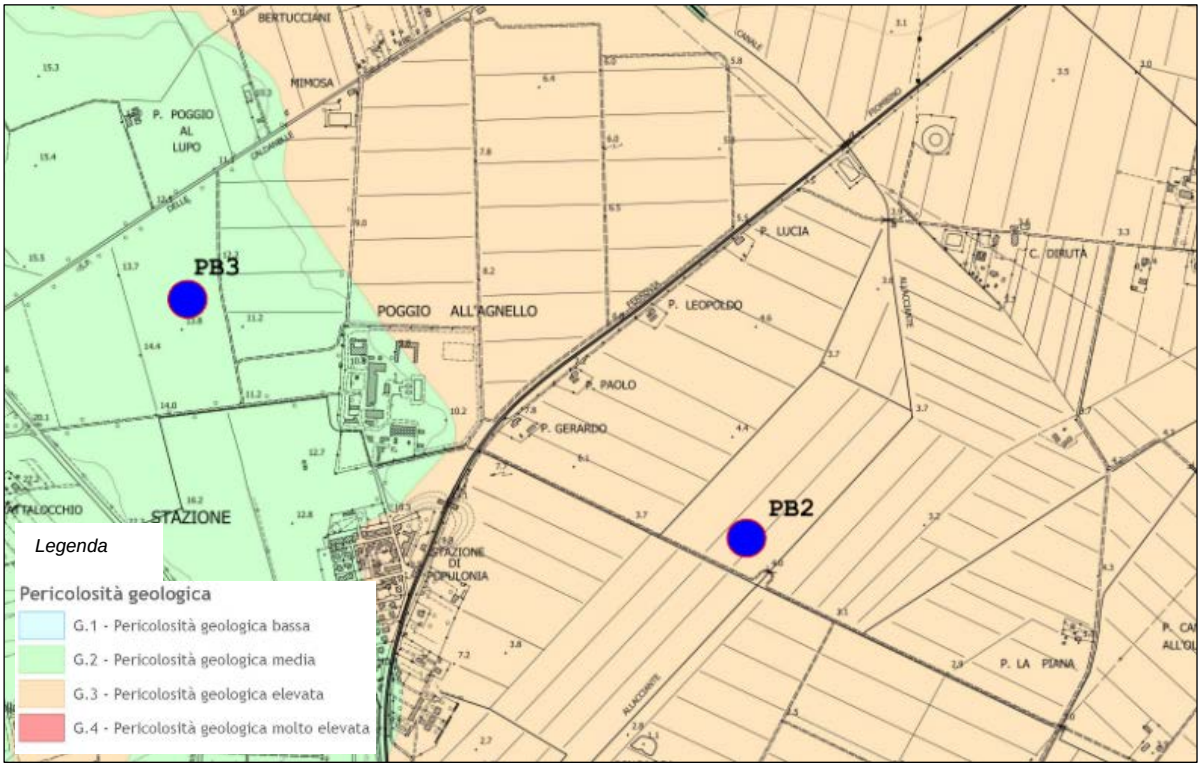


Figura 24: Stralcio Foglio G.06c della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

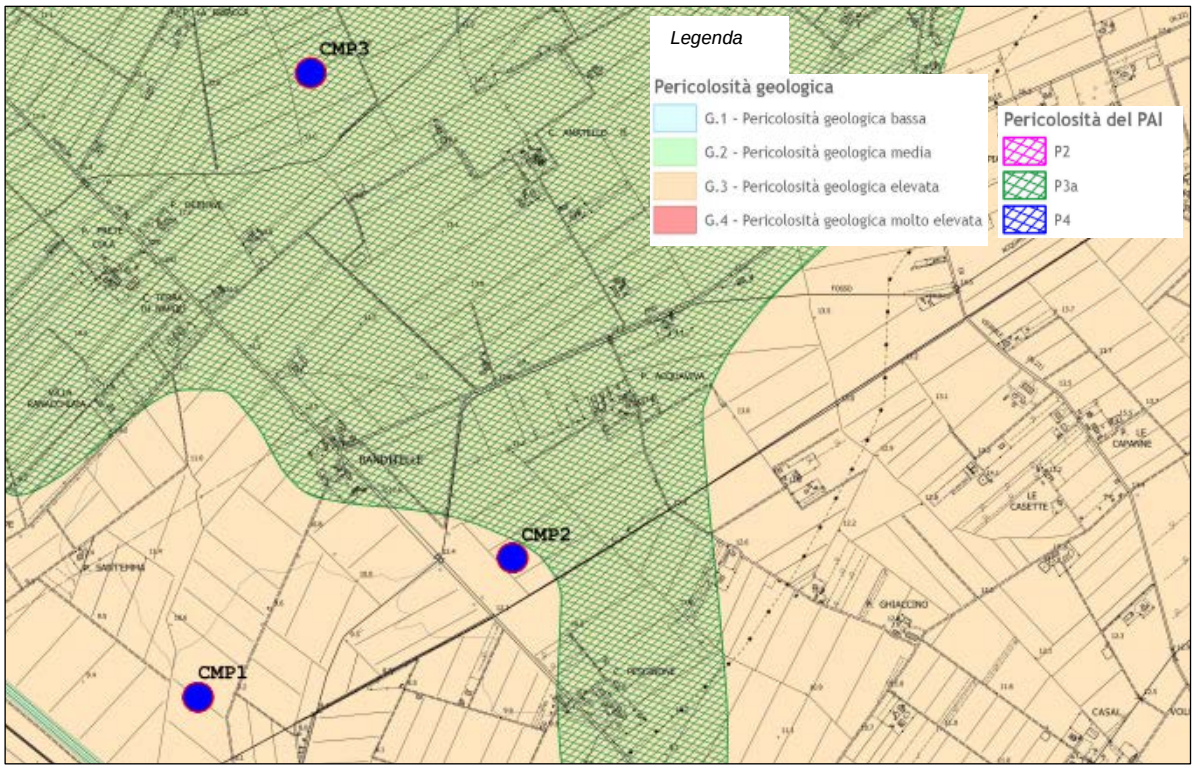


Figura 25: Stralcio Foglio G.06b della Carta di Pericolosità Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e figure sopracitate, gli interventi previsti da progetto ricadono su porzioni di territorio contraddistinte dalle seguenti classi di Pericolosità geologica:

- in corrispondenza degli aerogeneratori PB1, PB3, PB4, PB5; CMP1, CMP2, CMP3 e della Sottostazione Elettrica (SSE) è rilevabile la classe di Pericolosità Geologica "G.3 – *Elevata*" che, nel caso specifico, identifica aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche;
- in corrispondenza dell'aerogeneratore PB2 è rilevabile la classe di Pericolosità Geologica "G.*2* – *Media*" che, nel caso specifico, identifica aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.
- in corrispondenza esclusivamente dell'aerogeneratore CM3 è rilevabile la classe di Pericolosità Geologica "*P3a – Aree a pericolosità da dissesti di natura geomorfologica elevata*" ai sensi del Piano Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale Toscana. Dalla consultazione della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Intercomunale di Piombino e Campiglia M.ma, si rileva che tale classe di pericolosità deriva dalla presenza di una "*DM2 - Depressione morfologica potenzialmente instabile*" (si veda Figura 4) che identificata una ristretta porzione di territorio caratterizzata da orizzonti di terreno in affioramento con scadenti caratteristiche geomeccaniche che possono dar luogo a fenomeni di "subsidenza" con cedimenti/abbassamenti del terreno nell'ordine di 10/20 mm annui.

3.1.2. Pericolosità sismica

Allo stato attuale i Comuni di Piombino e Campiglia Marittima sono azzonati in classe **4** ai sensi del D.G.R.T. n.878 del 08/10/2012, classificazione approvata ufficialmente dal D.G.R.T. n. 421 del 26/05/2014.

Stante tale azzonamento e quindi la conseguente bassa pericolosità, secondo quanto ammesso dalla normativa nazionale e regionale, non sono state redatte carte tematiche riferite allo specifico aspetto.

3.1.3. Pericolosità idraulica

Secondo la carta di pericolosità del vigente Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale (approvato con D.C.P.M. 27 ottobre 2016), le porzioni di territorio dove è prevista la realizzazione degli interventi previsti sono contraddistinte dalle classi di pericolosità idraulica come indicate nella seguente Tabella 7 e come graficamente visibile nelle Figure 23, 24, 25 e 26 riportanti stralci della Mappa di Pericolosità da alluvione fluviale e costiera del PGRA disponibile sul sito internet dell'Autorità di Bacino del Distretto Appennino Settentrionale nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

Elemento	Pericolosità Idraulica
Aerogeneratore PB1	*P3 - Elevata - Alluvioni frequenti*
Aerogeneratore PB2	*P2 - Media - Alluvioni poco frequenti*
Aerogeneratore PB3	*P1 - Bassa*
Aerogeneratore PB4	*P2 - Media - Alluvioni poco frequenti*
Aerogeneratore PB5	*P2 - Media - Alluvioni poco frequenti*
Aerogeneratore CMP1	*P1 - Bassa*
Aerogeneratore CMP2	*P3 - Elevata - Alluvioni frequenti*
Aerogeneratore CMP3	*P2 - Media - Alluvioni poco frequenti*
Sottostazione elettrica (SSE)	*P2 - Media - Alluvioni poco frequenti*

Tabella 7: Classi di Pericolosità idraulica in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica

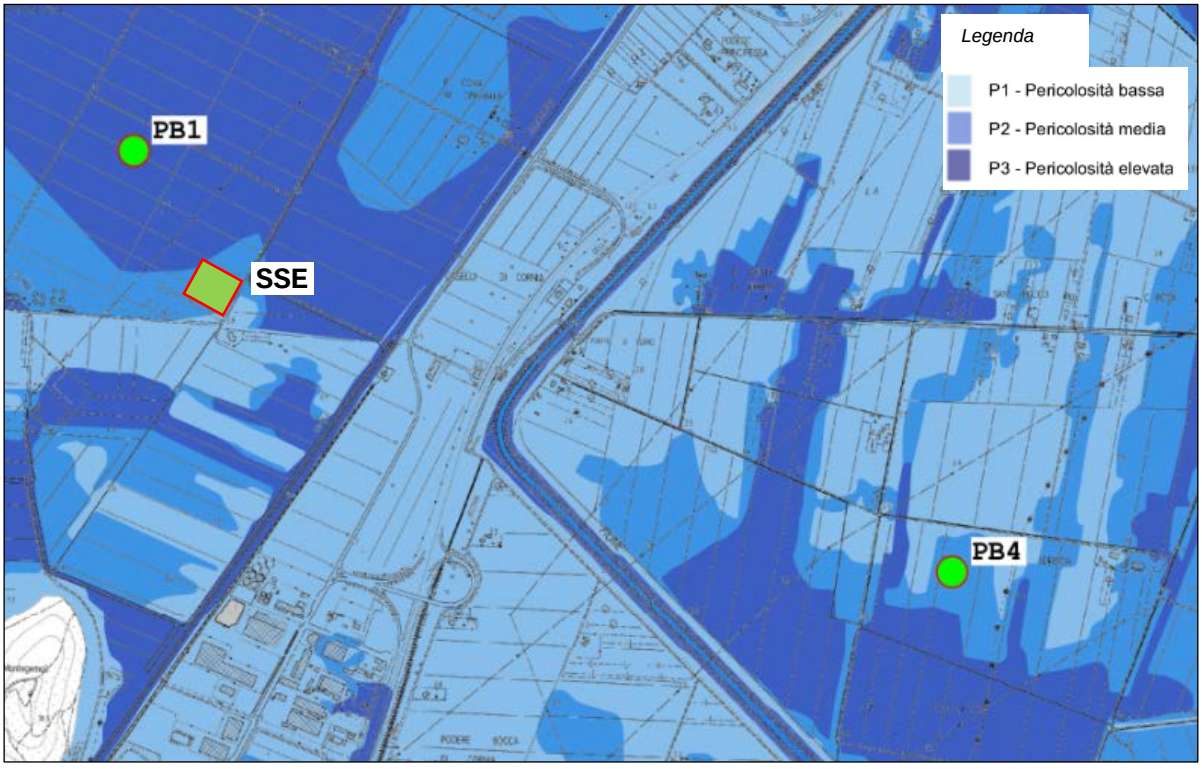


Figura 26: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo

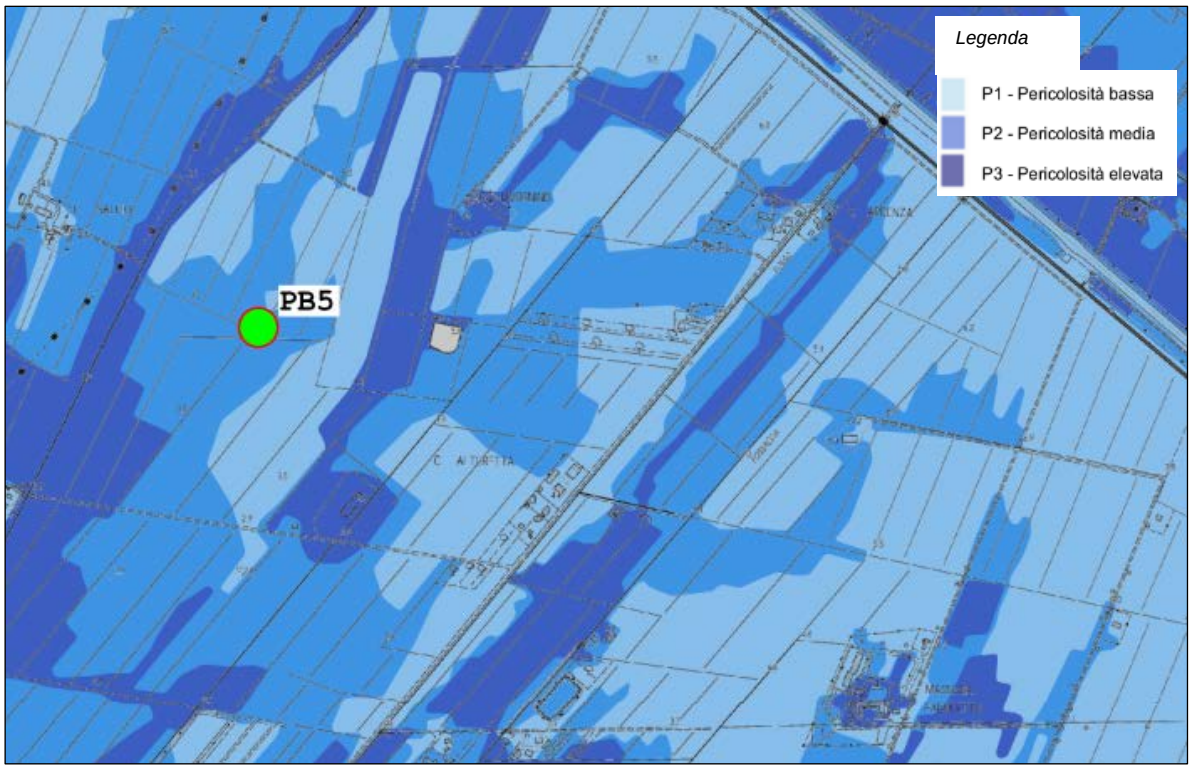


Figura 27: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo

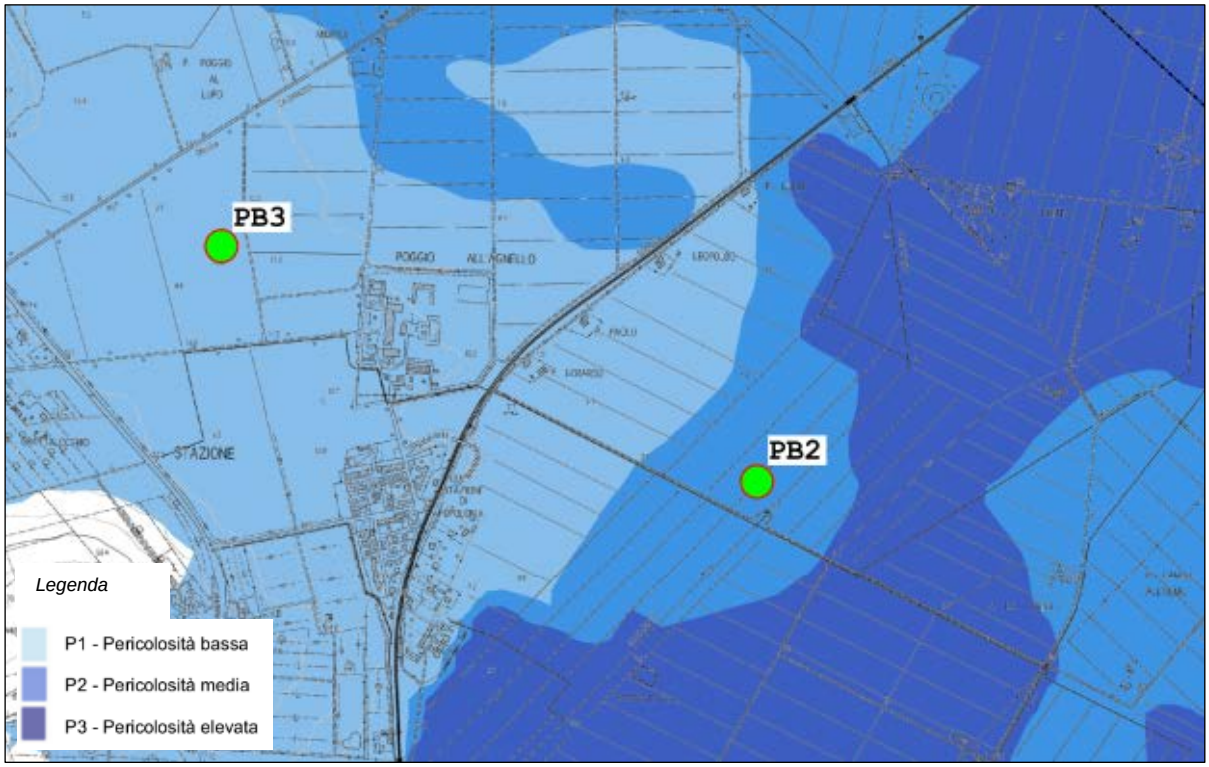


Figura 28: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo

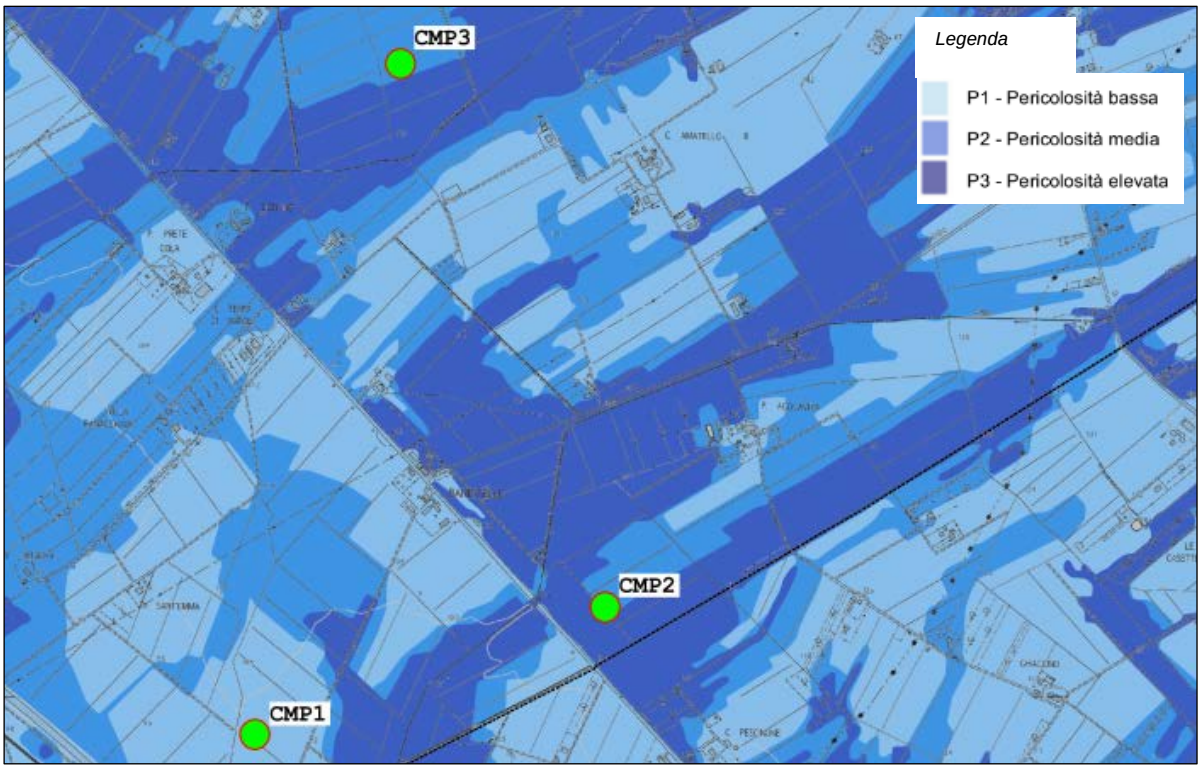


Figura 29: Stralcio della Carta di Pericolosità da Alluvione del PGRA con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e figure sopracitate, gli interventi previsti da progetto ricadono su porzioni di territorio contraddistinte dalle seguenti classi di Pericolosità geologica:

- in corrispondenza degli aerogeneratori PB1 e CMP2 è rilevabile la classe di Pericolosità idraulica *"P.3 – Elevata – Alluvioni frequenti*" che comprende le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
- in corrispondenza degli aerogeneratori PB2, PB4, PB5, CMP3 e della Sottostazione Elettrica (SSE) è rilevabile la classe di Pericolosità idraulica *"P.2 – Media – Alluvioni poco frequenti*" che comprende le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- in corrispondenza degli aerogeneratori PB3 e CMP1 è rilevabile la classe di Pericolosità idraulica *"P.1 – Bassa*" che comprende corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

3.2. Fattibilità Geologico - Tecnica ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020

3.2.1. Fattibilità geologica

Come risulta dalla consultazione della Tabella 6, n.7 (PB1, PB2, PB4, PB5, CMP1, CMP2 e CMP3) dei n.8 aerogeneratori previsti e la Sottostazione Elettrica (SSE) ricadono in porzioni di territorio contraddistinte dalla classe *Pericolosità Geomorfologica G.3 "Elevata*", azzonamento dove, secondo quanto previsto dal vigente D.P.G.R. 5/R/2020 *"la fattibilità degli interventi di nuova edificazione o nuove strutture a sviluppo lineare e a*

rete è subordinata all'esito di studi, rilievi e indagini geognostiche finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità".

I condizionamenti indotti da tale azzonamento saranno superati mediante una caratterizzazione geologico-geotecnica dei terreni basata su una campagna geognostica sito specifica per la definizione delle caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell''intervento nel suo complesso, con particolare riferimento alle porzioni di territorio interessate dalla realizzazione degli aerogeneratori e degli apparati che costituiranno la Sottostazione Elettrica (sistema di accumulo, cabine elettriche e recinzione perimetrale) con relative strutture fondazionali (fondazioni superficiali insistenti su pali di fondazione per gli aerogeneratori, fondazioni superficiali per apparati Sottostazione Elettrica).

Agli esiti della caratterizzazione, sarà possibile definire il modello geologico-geotecnico di dettaglio sulla base del quale progettare l'intervento in modo tale da rispondere ai requisiti richiesti dalla normativa vigente in riferimento ai necessari dimensionamenti e verifiche strutturali/geotecniche previsti dalla vigente normativa (D.M. 17-01-2018).

Esclusivamente per quanto riguarda la realizzazione della pala eolica identificata con CMP3 ricadente in classe di *Pericolosità P3a* del Piano di Assetto Idrogeologico, oltre ad i condizionamenti finora esposti dovrà essere richiesto specifico parere alla competente Autorità di Bacino ai sensi dell'art. 14 delle NTA del Piano di Assetto Idrogeologico medesimo in quanto trattasi di una nuova costruzione.

Pertanto, si attribuiscono al progetto in esame condizioni di ***Fattibilità geomorfologica F.G.2 "con normali vincoli"***, legata al rispetto dei condizionamenti finora esposti, ovvero esecuzione di una campagna geognostica sito-specifica e richiesta di parere alla competente Autorità di Bacino.

3.2.2. Fattibilità sismica

Per quanto attiene l'aspetto sismico considerando le condizioni di bassa sismicità che caratterizzano l'intera area in studio, ricadente nei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima (azzonati in classe 4 ai sensi del D.G.R.T. n.878 del 08/10/2012, classificazione approvata ufficialmente dal D.G.R.T. n. 421 del 26/05/2014) si ritiene di poter proporre condizioni di ***Fattibilità sismica F.S.2 "con normali vincoli"***, legati, come per l'aspetto geologico-geomorfologico, ai dimensionamenti e alle verifiche strutturali/geotecniche che saranno eseguite secondo azioni proporzionali ai dati già a disposizione derivanti dalle indagini sismiche eseguite ed ad eventuali successivi approfondimenti che saranno eseguiti in fase più avanzata di progetto.

3.2.3. Fattibilità idraulica

Dal punto di vista idraulico, analizzando la Tabella 7, n.2 aerogeneratori (PB1 e CMP2) ricadono in porzioni di territorio contraddistinte dalla classe di Pericolosità Idraulica *"P.3 – Elevata – Alluvioni frequenti*", mentre n.4 aerogeneratori (PB2, PB4, PB5 e CMP3) e la Sottostazione Elettrica (SSE) ricadono in aree caratterizzate dalla classe di Pericolosità Idraulica *"P.2 – Media– Alluvioni poco frequenti*".

Si riportano di seguito alcune considerazioni circa la tipologia dell'intervento e le conseguenti condizioni di fattibilità con riferimento alle condizioni imposte dalla vigente Legge Regionale 41/2018 e s.m.i. ("*Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n.49*"), riferimento normativo Regionale di specifica pertinenza per interventi ricadenti in aree a Pericolosità idraulica.

L'intervento in progetto consiste nelle seguenti lavorazioni:

- nuova costruzione di aerogeneratori con strutture in elevazione a tenuta stagna e con apparati tecnologici ubicati in corrispondenza del "mozzo" ad un'altezza di circa 150 m dal piano campagna;

- nuova costruzione di una Sottostazione di Trasformazione e connessione (SSE) delimitata perimetralmente da una recinzione a pettine aperta in elementi prefabbricati insistente su un cordolo di fondazione di altezza circa 0,60 m rispetto al piano campagna.

Per quanto attiene gli interventi ricadenti in classe di *Pericolosità Idraulica P.2 (Media – Pericolosità per alluvioni frequenti ai sensi della L.R. 41/2018) e P.3 (Elevata - Pericolosità per alluvioni molto frequenti ai sensi della L.R. 41/2018),* considerando l'intervento riconducibile ad *Infrastrutture lineari o a rete* si ritiene il progetto fattibile secondo quanto previsto al comma 4 dell'art. 13 della L.R. 41/2018 e s.m.i. che riporta letteralmente: *"Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite: […]*

d) impianti e relative opere per la produzione di energia da fonti rinnovabili, nonché l'adeguamento e l'ampliamento di quelli esistenti, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1 lettere a), b), c) o d); […]".

Preme altresì ricordare che l'obiettivo della Norma, sia per le nuove costruzioni che per interventi sul patrimonio edilizio esistente, è il "*raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2"* (comma 1 articolo 8); ricordando la definizione di "*rischio medio*" così come definita alla lettera m del comma 1 art. 2 della L.R. 41/2018 e s.m.i., ovvero "*il rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche*".

Per quanto finora esposto, riteniamo che le caratteristiche degli aerogeneratori e della Sottostazione di Trasformazione e connessione (SSE), secondo le modalità rappresentate nel presente documento e dettagliatamente descritte nel Progetto al quale la presente si allega, costituiscano soluzioni tecniche tali da rappresentare adeguate opere di "*difesa locale*" riconducibili pertanto a quanto definito ed ammesso all'art. 8 comma 1 lettera d) della L.R. 41/2018 e s.m.i.e che permettano di pertanto attribuire al progetto in esame condizioni di rischio medio ("R2").

Stante quanto finora esposto, non si rilevano condizioni ostative alla realizzazione dell'intervento previsto, attribuendo al progetto oggetto di valutazione condizioni di ***Fattibilità idraulica F.I.2 "con normali vincoli".***

4 CONCLUSIONI

In base ai risultati ottenuti dallo studio eseguito per la valutazione degli aspetti geologici, idrogeologici, idraulici e sismici, si ritiene di poter affermare che le lavorazioni del "*Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento nel territorio* comunale *di Piombino e Campiglia Marittima (LI) loc. Campo all'Olmo, potenza nominale 57,6 MW*"." oggetto di valutazione nel presente documento tecnico e negli Elaborati Progettuali ai quali la presente si riferisce risultino fattibili in ordine agli aspetti geomorfologici, idraulici e sismici, non riscontrando alcuna condizione inibente.

In ultima analisi, si raccomanda di eseguire le lavorazioni previste adottando gli accorgimenti della buona pratica costruttiva e rispettando i criteri imposti dalla normativa vigente (Norme Tecniche Costruzioni, D.M. 17-01-2018) in riferimento alle necessarie verifiche geotecniche e strutturali.

Dott. Geol. Giorgio Bianchi
n.1776 Ord. Reg. Toscana

Dott. Geol. Carlo Rafanelli
n.1309 Ord. Reg. Toscana

Firmato digitalmente da

Carlo Rafanelli

CN = Rafanelli Carlo
T = Geologo OGT
SerialNumber = TINIT-RFNCRL72A27E625X
C = IT

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cl
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 - MASW - I1-PB

OGGETTO: PARCO EOLICO - PIOMBINO (LI)
COMMITTENZA: SAN NICOLA ENERGY S.R.L.

PRSE 733 - MASW - I1-PB

MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi, ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P e S), considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidezza.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno e si comportano in modo indipendente, non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato, dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali; si osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità-frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle onde P, la curva di dispersione teorica, la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = f \times l$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - I1-PB

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria,, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

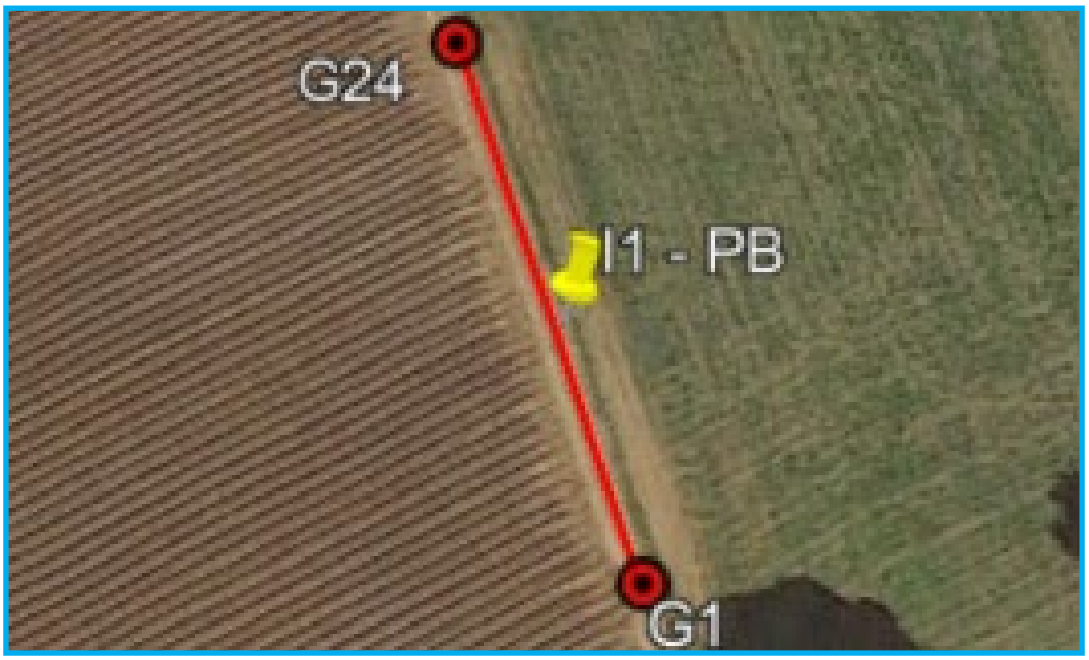
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine	**MASW-I1-PB**
LOCALITA'	**PIOMBINO (LI)**
DATA E ORA	**03/05/23**

Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +3m.

Coordinate WGS 84 :

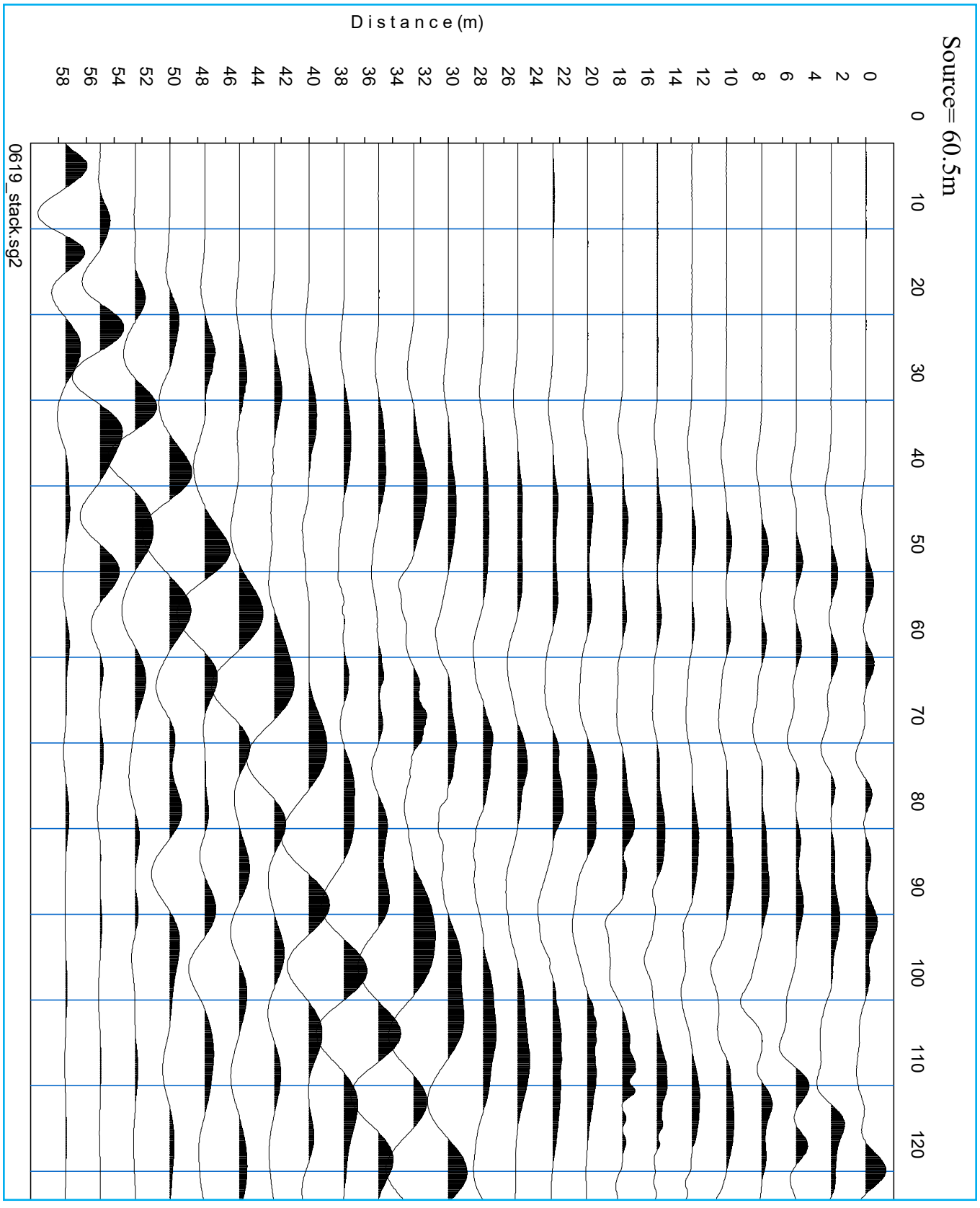
Geofono 1:	**0624938-4762482**
Geofono 12-13:	**0624929-4762511**
Geofono 24:	**0624918-4762540**



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

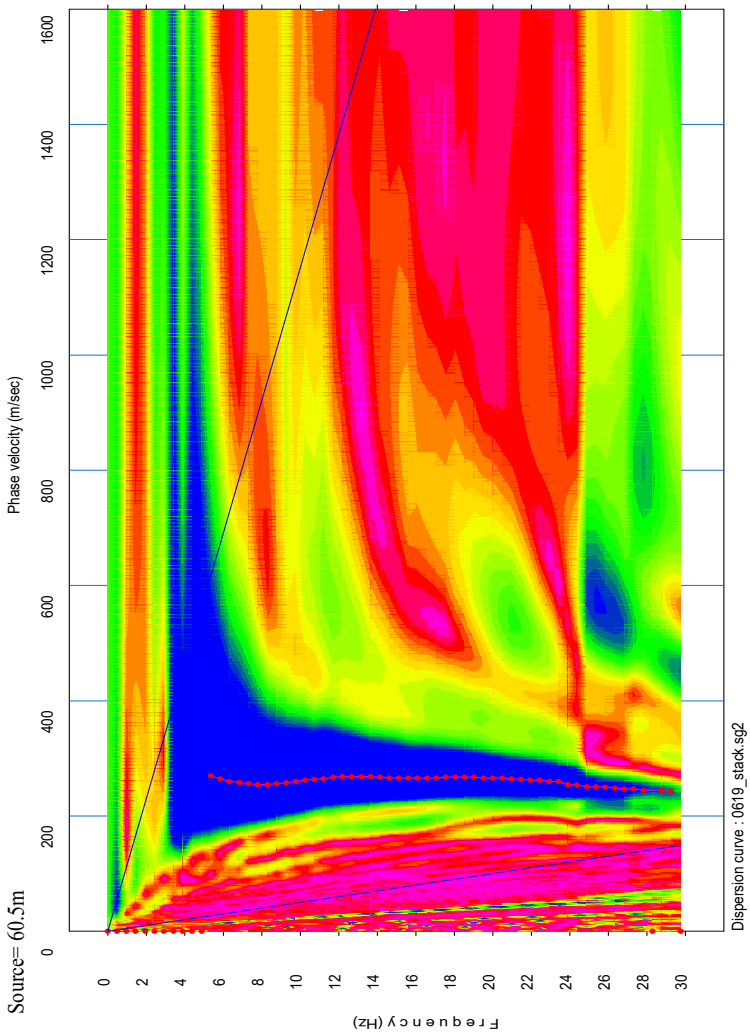
PRSE 733 - MASW - 11-PB



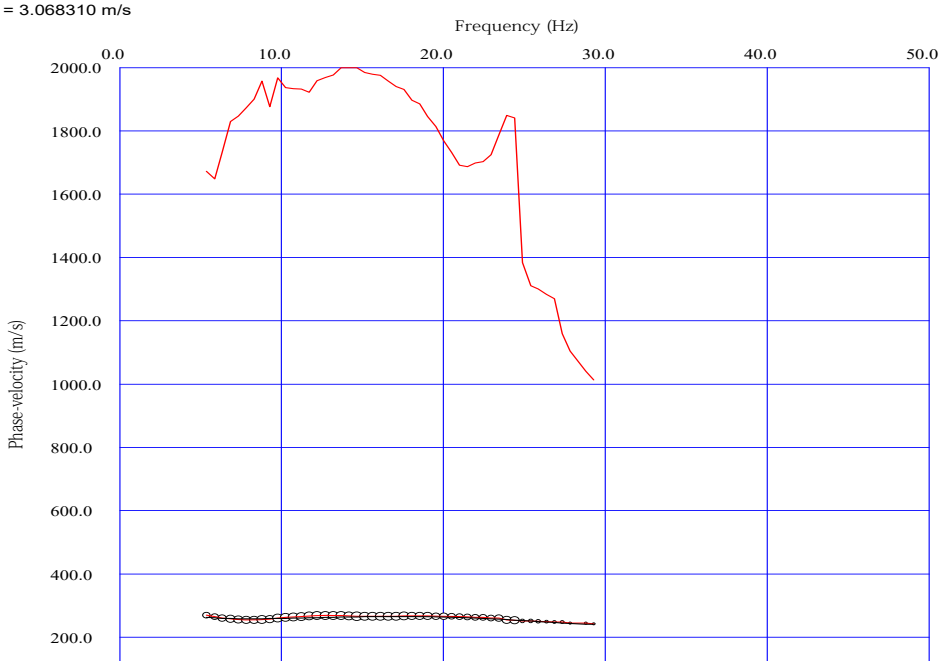
GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - 11-PB



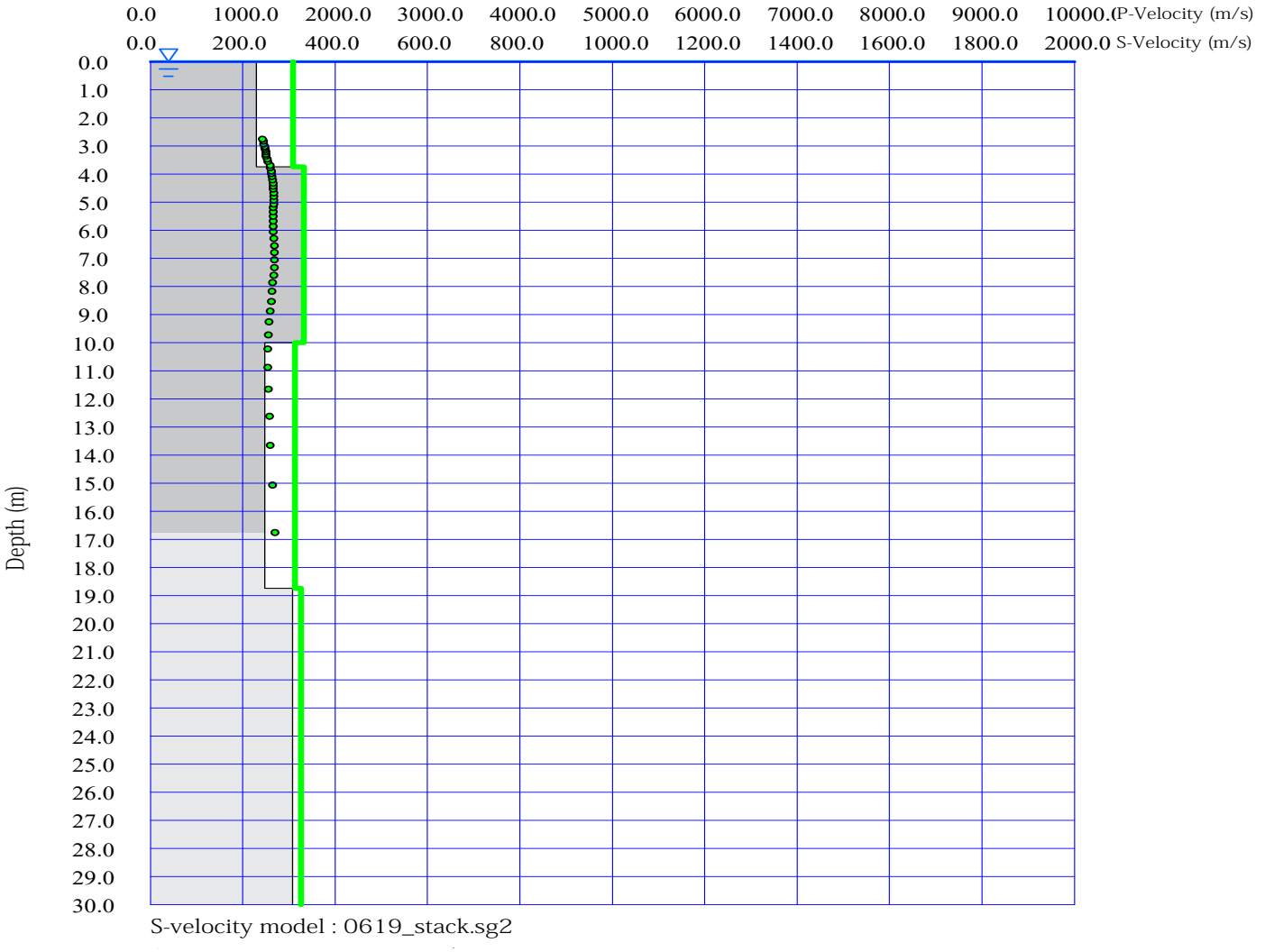
RMSE = 3.068310 m/s



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - 11-PB



S-velocity model : 0619_stack.sg2

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 – MASW – I1-PB

PRSE 733 - I1-PB

	Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m^3]	ν (–)	Vp/Vs (–)	G [Mpa]	Edin [Mpa]
1	0.0	3.8	229.89	1545.18	18.02	0.49	6.72	97	289
2	3.8	6.3	336.84	1663.89	18.40	0.48	4.94	213	630
3	10.0	8.8	248.05	1565.33	18.09	0.49	6.31	113	338
4	18.8	11.2	308.58	1632.53	18.30	0.48	5.29	178	527
5	30.0	-	336.84	1663.89	18.40	0.48	4.94	213	630
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 281.4 (m/s)

Categoria suolo : **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e

Legenda:
ν: Coefficiente di Poisson (-)
Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
Ed: Mudulo dinamico (Mpa)

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Socio AI.Ge

Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 - MASW - I1-PB

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Ge
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 – MASW – I2-PB

OGGETTO: PARCO EOLICO – PIOMBINO (LI)
COMMITTENZA: SAN NICOLA ENERGY S.R.L.

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - I2-PB

Modi di vibrazione
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria,, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine	**MASW-I2-PB**
LOCALITA'	**PIOMBINO (LI)**
DATA E ORA	**03/05/23**

Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +3m.

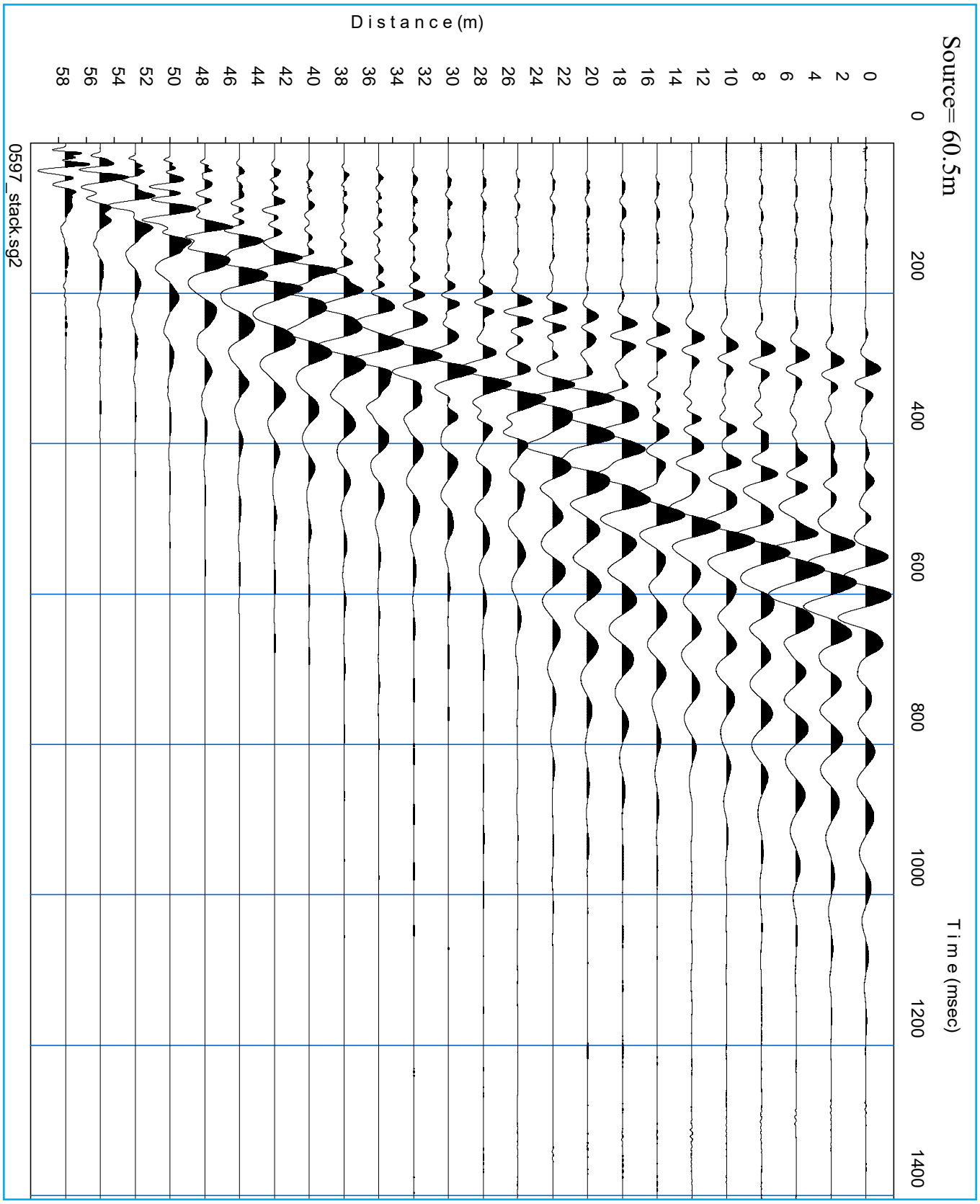
Coordinate WGS 84 :

Geofono 1:	**0628532-4759817**
Geofono 12-13:	**0628567-4759812**
Geofono 24:	**0628592-4769809**

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesano 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - 12-PB

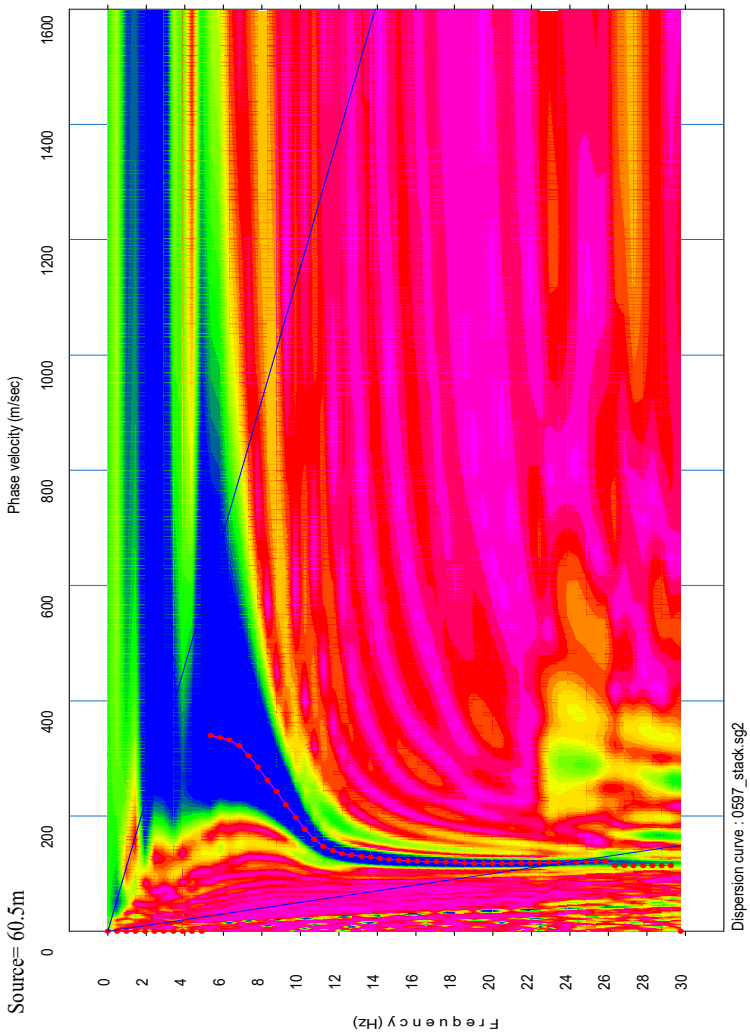


GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

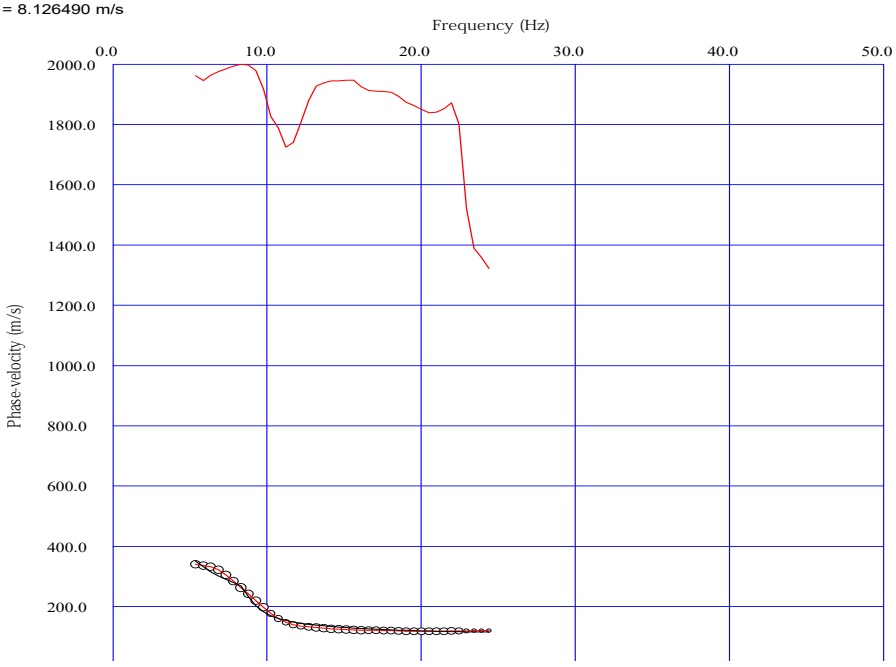
GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Ge
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 - MASW - 12-PB



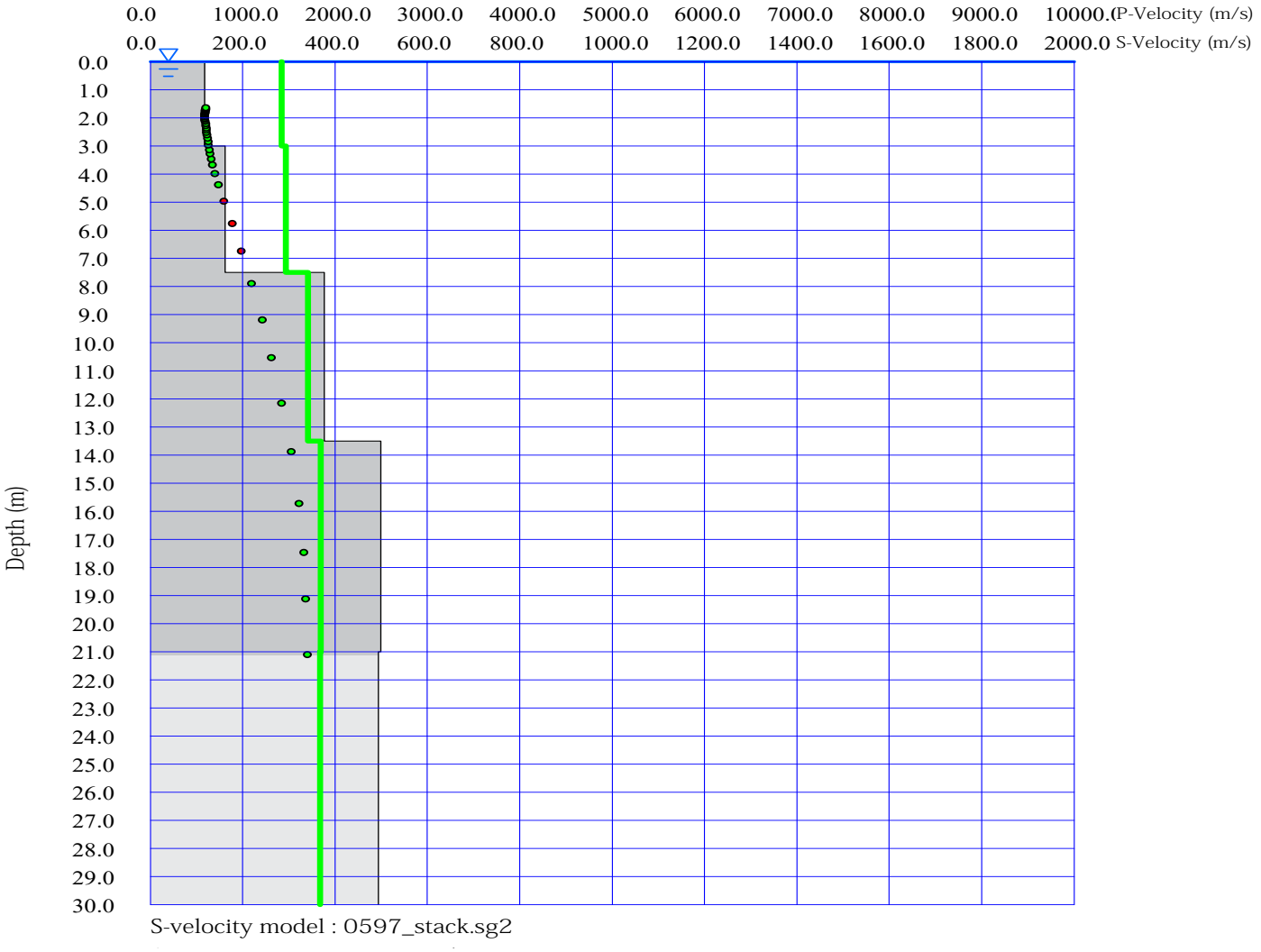
RMSE = 8.126490 m/s



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - 12-PB



S-velocity model : 0597_stack.sg2

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
P.IVA 03 06 20 20 718
C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - I2-PB

PRSE 733 - I2-PB

	Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m^3]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]
1	0.0	3.0	118.35	1421.37	17.62	0.50	12.01	25	75
2	3.0	4.5	161.91	1469.73	17.78	0.49	9.08	48	142
3	7.5	6.0	377.19	1708.68	18.54	0.47	4.53	269	793
4	13.5	7.5	499.47	1844.41	18.95	0.46	3.69	482	1408
5	21.0	9.0	494.05	1838.39	18.94	0.46	3.72	471	1377
6	30.0 -		499.47	1844.41	18.95	0.46	3.69	482	1408
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 293.3 (m/s)

Categoria suolo : **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e

Legenda:
ν: Coefficiente di Poisson (-)
Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
Ed: Mudulo dinamico (Mpa)

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cil
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 - MASW - 12-PB

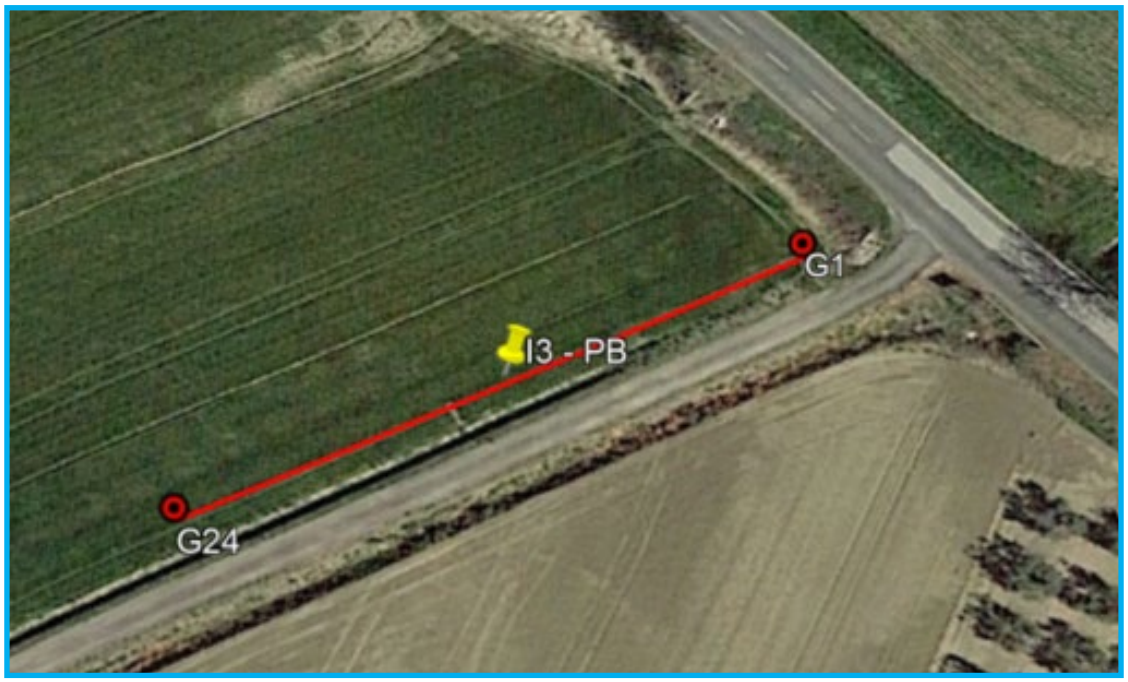
GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Ge
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 – MASW – I3-PB

OGGETTO: PARCO EOLICO – PIOMBINO (LI)
COMMITTENZA: SAN NICOLA ENERGY S.R.L.



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cl
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 - MASW - I3-PB

Modi di vibrazione
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria,, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine	**MASW-I3-PB**
LOCALITA'	**PIOMBINO (LI)**
DATA E ORA	**03/05/23**

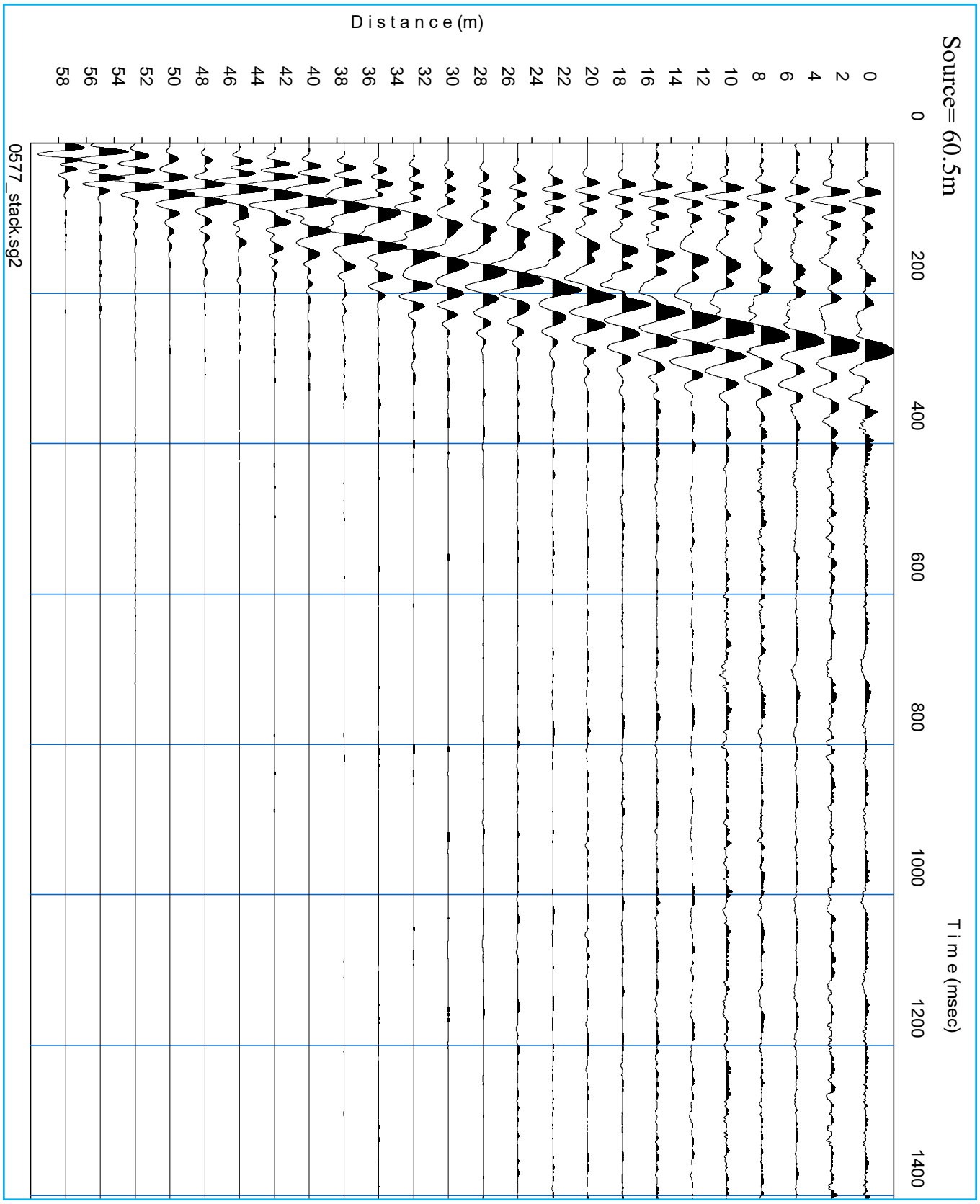
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +3m.

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1:	**0633462-4762087**
Geofono 12-13:	**0633435-4762074**
Geofono 24:	**0633407-4762059**

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

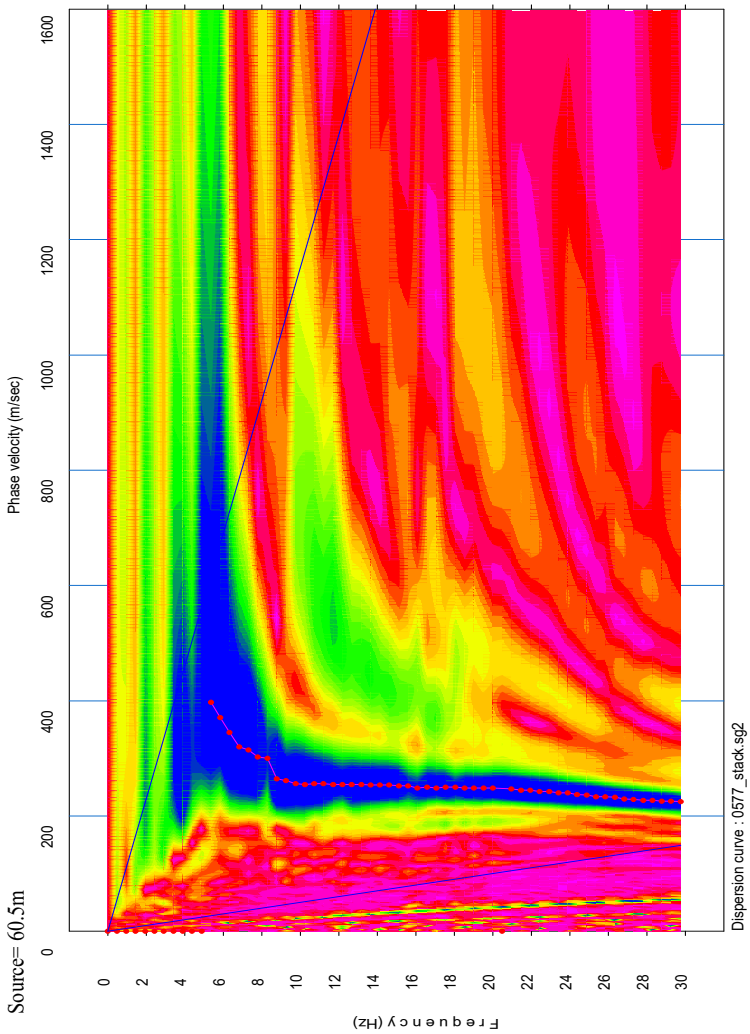
PRSE 733 - MASW - 13-PB



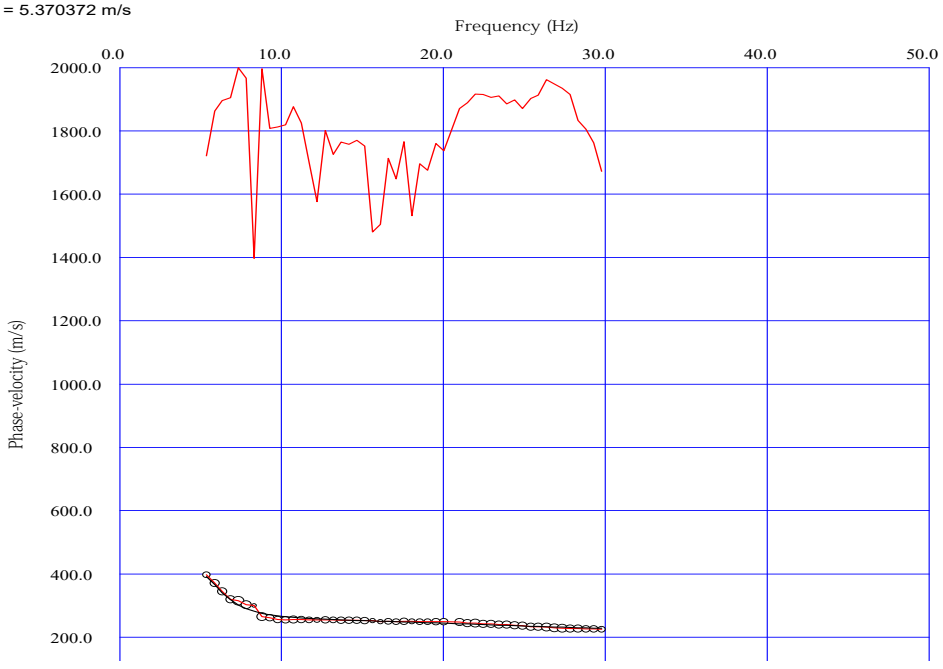
GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - 13-PB



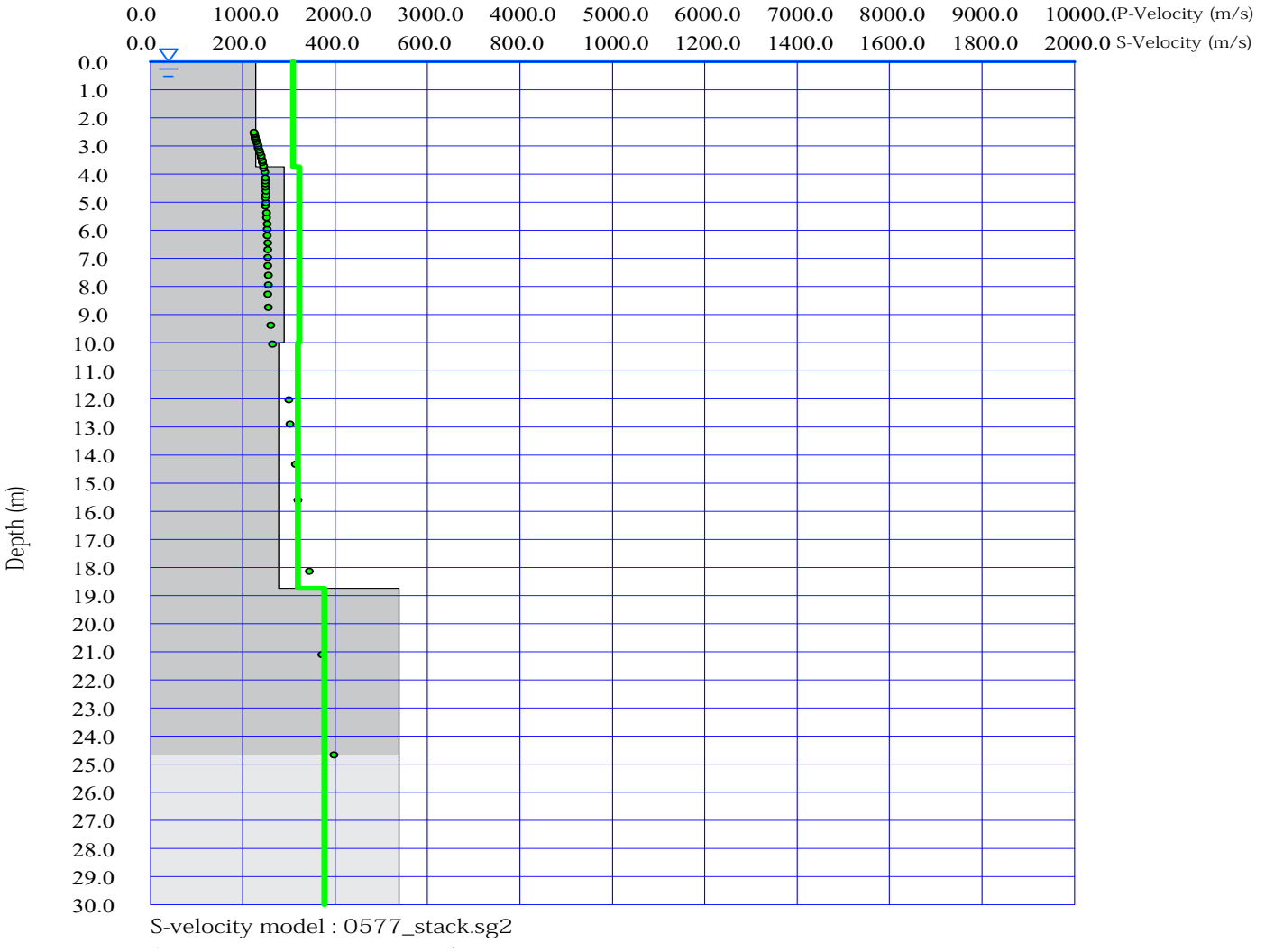
RMSE = 5.370372 m/s



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 - MASW - 13-PB



S-velocity model : 0577_stack.sg2

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

PRSE 733 – MASW – I3-PB

PRSE 733 - I3-PB

	Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m^3]	ν (–)	Vp/Vs (–)	G [Mpa]	Edin [Mpa]
1	0.0	3.8	228.89	458.26	18.10	0.33	2.00	97	258
2	3.8	6.3	289.71	578.88	18.17	0.33	2.00	156	415
3	10.0	8.8	278.30	557.26	18.38	0.33	2.00	145	387
4	18.8	11.2	538.28	1068.04	18.61	0.33	1.98	550	1462
5	30.0 -		538.28	1068.04	18.61	0.33	1.98	550	1462
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 332.2 (m/s)

Categoria suolo : **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e

Legenda:
ν: Coefficiente di Poisson (-)
Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
Ed: Mudulo dinamico (Mpa)

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cil
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

PRSE 733 - MASW - I3-PB

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Ge
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

OGGETTO: PARCO EOLICO – PIOMBINO (LI)
COMMITTENZA: SAN NICOLA ENERGY S.R.L.

LA SISMICA A RIFRAZIONE

Come noto, la sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi, ricorrendo per l'energizzazione ad un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva.
Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione. Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V1) e lo strato ad esso sottostante (V2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità (V1 < V2). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura.
L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.
Attraverso lo studio dei tempi di percorso e, quindi, delle velocità si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine. È buona norma commisurare l'intensità dell'energizzazione alla lunghezza dello stendimento e, quando possibile, utilizzare le opzioni di controllo automatico del guadagno. Diversamente i primi arrivi potrebbero essere difficili da riconoscere sia per l'eccessiva debolezza del segnale (geofoni lontani dal punto di scoppio) sia per la possibile saturazione dei geofoni più vicini.

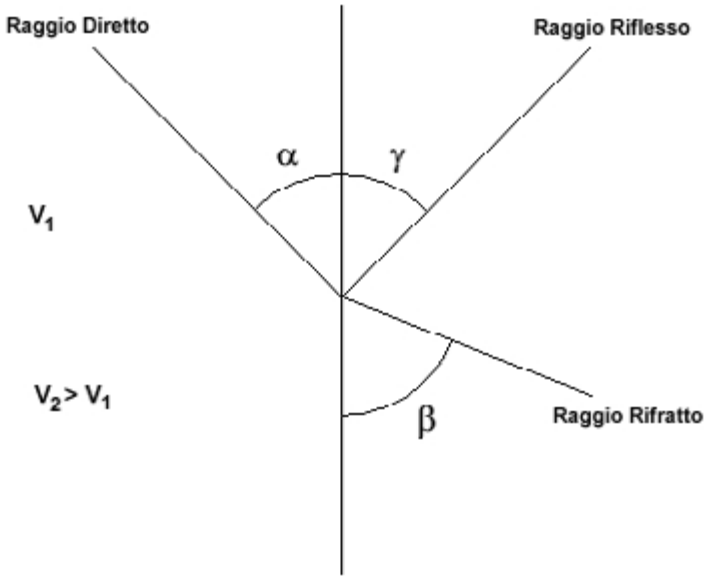
IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE ONDE P

Le onde P sono anche chiamate Onde “Primarie” in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda: in questo caso in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda.

Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria e la velocità con la quale si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma".

I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce però che "in ogni istante, qualsiasi punto di un fronte d'onda di forma qualsiasi può essere considerato come sorgente puntiforme d'onde circolari (oppure sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)".
La propagazione di onde può, quindi, essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che, interferendo fra loro, danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.
Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.
Per l’analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d’onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase.
Quando un raggio incontra un’eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come “leggi di SNELL”.
Le leggi di Snell affermano che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre valgono le seguenti relazioni tra gli angoli:

per la riflessione: $\alpha = \gamma$
per la rifrazione: $V1 \cdot \sin a = V2 \cdot \sin b$
Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (ic) particolarmente significativo per la sismologia di rifrazione. Si definisce infatti angolo critico l'angolo d'incidenza che rende $\beta=90°$.
Se l'angolo di incidenza è uguale α 90° l'onda rifratta, secondo la teoria di Huygen, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato. Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.



APPLICAZIONI

Le indagini di sismica a rifrazione vengono normalmente impiegate per le seguenti problematiche:

- Mappatura delle zone formate da materiale disgregato
- Ricerca della profondità della falda freatica
- Determinazione della resistenza allo scavo
- Mappatura della permeabilità di strati ghiaiosi
- Mappatura degli strati composti da materiale sciolto
- Localizzazione delle zone di frattura
- Mappatura del substrato roccioso

PROBLEMI E LIMITAZIONI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE

- Le velocità sismiche dei terreni interessati dall'indagine devono crescere con la profondità
- Gli strati debbono possedere uno spessore sufficiente per essere rilevati
- Rilievi eseguiti su terreni di riporto o in aree adibite a discariche e in presenza di forte rumore antropico conducono spesso a risultati non affidabili
- Fratture singole e strette spesso non possono essere identificate.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Gli strumenti capaci di registrare movimenti nel terreno sono detti sismometri o geofoni. Essi saranno necessariamente posti sulla superficie del terreno.
Solitamente, si hanno sismogrammi di diversi geofoni, posti a diversa distanza dalla sorgente: questi possono essere stampati in funzione del tempo e della distanza, in quelle che vengono definite "registrazioni di scoppio" (shot records) e la variazione Tempo/Distanza è detta "scostamento" (moveout). Arrivi con ampio scostamento sono fortemente inclinati nella registrazione di scoppio e viceversa; dalle registrazioni di scoppio è quindi possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, riflesse, rifratte).

A piccole distanze (offset) il primo arrivo è delle onde dirette: questo arrivo ha grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze. A maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello dell'onda rifratta. Questo arrivo è caratterizzato da piccola ampiezza d'onda e da scostamento costante ma minore di quello dell' onda diretta. L' ultimo arrivo ad ogni geofono è quello dell' onda riflessa: il suo scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica.

Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si definisce "curva di propagazione" o "dromocrona" ("travel time curve"). Definirne l' andamento è compito primario nell'interpretazione della sismica a rifrazione.
Ciò che essenzialmente conta, per il metodo a rifrazione, è identificare il tempo di arrivo della prima onda in ogni geofono ("first break picking"). Questa distinzione non è sempre agevole.

I due segmenti relativi all'arrivo delle onde dirette, prima, e delle rifratte frontali poi, non sono sempre facilmente distinguibili. Il punto di ginocchio, il punto cioè a partire dal quale si verifica la variazione di inclinazione, è detto distanza critica ("cross-over distance"). E' quindi importante osservare che la scelta dei primi arrivi deve essere considerata già come parte dell'interpretazione dei dati più che della raccolta; l' operatore dovrà perciò aver cura di verificare direttamente sul sito che il rapporto segnale/rumore sia accettabile, ed eventualmente ripetere l'acquisizione.

METODI DI INTERPRETAZIONE

I metodi di interpretazione per la sismica a rifrazione possono essere raggruppati in tre classi principali:
(1) Metodi dei Tempi di intercetta (ITM - Intercept-Time Methods)
(2) Metodi dei Tempi di ritardo o Reciproci (DTM - Delay Time Method)
(3) Metodi di Ray tracing
Il livello di calcoli richiesto è progressivamente maggiore da metodo a metodo. I metodi ITM richiedono essenzialmente una calcolatrice. I metodi DTM variano dalla versione più semplice a quella generalizzata, e richiedono l'uso di un personal computer. I metodi basati sul Ray Tracing richiedono risorse di calcolo decisamente più elevate e non saranno presi in esame in questo contesto.
I metodi ITM - Time-Intercept Methods.
La dromocrona, o curva distanza-tempo, nel caso di un rilevamento sismico per rifrazione è espressa su un grafico dall'equazione di una retta.
In presenza di stratificazioni piane ed orizzontali l'inclinazione delle rette dei primi arrivi è uguale al reciproco della velocità di propagazione nel mezzo 1 (V1) o nella discontinuità o secondo mezzo (V2). Dai diagrammi di queste rette possiamo determinare lo spessore dello strato superiore.

In base alla potenza dello strato superiore, infatti, si avrà una retta con uguale inclinazione (essendo questa legata solo alle velocità) ma con un punto di ginocchio diversamente posizionato: più è potente lo strato superiore, maggiore sarà il tempo impiegato dall'onda frontale rifratta per generarsi e tornare in superficie, dunque varierà la distanza di ricezione delle onde dirette e delle rifratte frontali. Lo spessore può essere calcolato considerando l'ascissa del punto di ginocchio (Xc) oppure considerando il tempo di intercetta t_0 cioè il valore del tempo di arrivo dell'onda rifratta a distanza 0, ottenuto proiettando sull'asse dei tempi la retta relativa alla velocità di propagazione nel secondo mezzo.

$$h = \frac{x_c}{2}\sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

$$h = \frac{t_0}{2}\frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Caso di un singolo strato non orizzontale
Prendendo in considerazione la pendenza dello strato i calcoli si complicano:
• le velocità osservate per il secondo strato risultano essere velocità apparenti, che variano significativamente con la pendenza (maggiore alla velocità reale in direzione up-dip e minore in direzione down-dip);
• le profondità determinate mediante i tempi di intercetta sono le profondità inclinate e non le profondità reali sotto il punto di scoppio;
• sono richiesti stendimenti coniugati, in quanto i sismogrammi ottenuti in un'unica direzione forniscono unicamente una velocità apparente per il secondo strato.
Le equazioni per il calcolo delle profondità inclinate sono le seguenti:

$$\text{Profondità}_{(\text{down-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_{i(down-dip)}}{2\cos\alpha}$$

$$\text{Profondità}_{(\text{up-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_{i(up-dip)}}{2\cos\alpha}$$

Dove:
Profondità (down-dip) = il rifrattore immerge dal punto di sparo verso i geofoni
Profondità (up-dip) = il rifrattore risale verso il punto di sparo
V1 = velocità del terreno
Ti (up-dip) = tempo di intercetta up-dip
Ti (down-dip) = tempo di intercetta down-dip

$$\cos\alpha = \frac{\sqrt{(V_2^2 - V_1^2)}}{V_2}$$

Un' approssimazione utile per V2 (che non può essere misurato direttamente dalla curva dei tempi di percorso) è data dalla seguente equazione:

$$V_2 = \frac{2 \cdot V_{2(up-dip)} \cdot V_{2(down-dip)}}{V_{2(up-dip)} + V_{2(down-dip)}} \cos\delta$$

Dove:
V2 = velocità approssimata dello strato sottostante
V2(up-dip) = velocità apparente dello strato sottostante misurata up-dip
V2(down-dip) = velocità apparente dello strato sottostante misurata down-dip
J = valore stimato della pendenza
Il valore dell'angolo d è calcolabile utilizzando la seguente formula:

$$\delta = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{down-dip})}}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{up-dip})}}\right)}{2}$$

Poiché il coseno dell'angolo d è approssimativamente 1.0, è necessario che le pendenze siano basse.
E' necessario sottolineare che il presupposto primario nell' uso dei metodi ITM è che la geometria della superficie di contatto sia piana. Questo presupposto permette di usare le informazioni derivate dalle osservazioni (arrivi) oltre la distanza del punto di ginocchio per derivare una profondità che è determinata nell'intorno del punto di energizzazione.
Tuttavia, questi metodi sono utili per una valutazione di massima delle profondità e per eseguire un semplice controllo dei risultati ottenuti con tecniche di interpretazione più sofisticate.
Caso di terreno multistrato
Il caso di terreni multistrato non comporta particolari variazioni. I principi di calcolo rimangono gli stessi, con la sovrapposizione (arrivi da entrambe le direzioni) per tutti gli strati necessari. Per gli strati orizzontali possono essere utilizzate le seguenti equazioni:

$$h_2 = \frac{t_{i3} V_2 V_3}{2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - h_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\sqrt{\frac{V_3^2 - V_1^2}{V_3^2 - V_2^2}}$$

Lo spessore h1 del primo strato è determinata usando il caso di un terreno con due strati ed il tempo di intercetta ti2 del secondo segmento di linea o la distanza critica Xc2 determinata dai primi due segmenti di linea. Questo spessore è usato nel calcolo dello spessore dello strato seguente h2.
In termini di distanza critica l'equazione può essere così riscritta:

$$h_2 = \frac{x_{c3}}{2}\sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} + \frac{h_1}{V_1}\left(\frac{V_3\sqrt{V_2^2 - V_1^2} - V_2\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}\right)$$

Il calcolo può essere esteso agli strati più profondi usando estensioni di queste equazioni generali. Poiché le equazioni in questa forma contengono gli spessori degli strati meno profondi, il calcolo comincia con il primo strato e progredisce verso il basso. Si noti che queste equazioni non comprendono la pendenza.
Le equazioni per gli strati piani inclinati sono utilizzate nel metodo GRM (Palmer - 1980).

Metodi del Reciproco (Reciprocal methods)
I metodi reciproci includono più di 20 metodi di interpretazione, compresi i metodi basati sui tempi di ritardo, i quali possono o non possono richiedere la misura di un tempo reciproco.
Il tempo reciproco è il tempo di corsa lungo il rifrattore da una sorgente di energizzazione ad un'altra.
Esistono diverse versioni di questi metodi che si differenziano per alcuni fattori di correzione. In generale si ipotizza una superficie di contatto non eccessivamente inclinata ed una velocità del rifrattore costante.
Conoscendo il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G ed il tempo di percorso

coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G ed il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G1 (possibilmente distante dal primo) ed il tempo di percorso coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G1 è possibile calcolare la velocità V2 del rifrattore utilizzando la seguente formulazione:

$$V_2 = \frac{2|\Delta x|}{|\Delta t| + |\Delta t'|}$$

Dove:
Δx = distanza in superficie compresa tra il geofono G ed il geofono G1
Δt = differenza dei tempi di percorso diretti
Δt'= differenza dei tempi di percorso coniugato
Il tempo t di percorso diretto per il geofono G può essere espresso dalla seguente formulazione:

$$t = \frac{h_g + h_s}{V_1}\cos i_c + \frac{x_g}{V_2}$$

Dove:
hg = minima profondità in corrispondenza del geofono
hs = minima profondità in corrispondenza della sorgente
xg = distanza fra il geofono e lo sparo
Analogamente potrà essere scritta una equazione equivalente per il tempo impiegato dall' onda sismica a raggiungere il geofono G partendo dalla sorgente coniugata.
I tempi calcolati saranno ovviamente differenti; ciò che invece deve essere uguale è il tempo del percorso totale, fra le sorgenti dirette e coniugate. Questo tempo è chiamato tempo di estremità:

$$t = \frac{h_s + h_{s'}}{V_1}\cos i_c + \frac{x_0}{V_2}$$

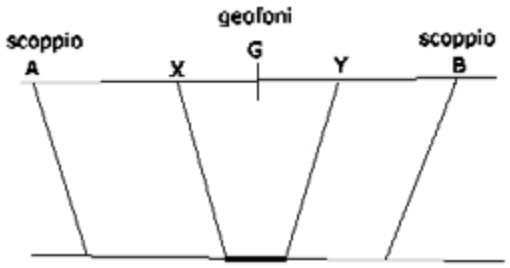
dove x0 è uguale alla somma della distanza del geofono dal punto di sparo del percorso diretto e della distanza del geofono dal punto di sparo nel percorso coniugato.
Sottraendo al tempo di estremità la somma dei tempi precedentemente calcolati, è possibile risolvere l'equazione rispetto ad h ed ottenere la profondità minima. Tale procedimento dovrà essere eseguito per ogni geofono.
La profondità h rappresenta il raggio di un arco di circonferenza con centro nella posizione del relativo geofono: il contorno del rifrattore toccherà almeno in un punto ciascuno di questi archi e quindi potrà essere determinato graficamente come inviluppo degli archi.

Metodo del Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method - GRM)
Il metodo reciproco generalizzato è stato sviluppato per sormontare alcune imperfezioni dei metodi più semplici, i quali sono messi in difficoltà dalla presenza di superfici, topografiche o del sottosuolo, particolarmente accidentate. Il metodo di Palmer utilizza due funzioni: la funzione di analisi-velocità e la funzione tempo-profondità.

La funzione Analisi Velocità

La particolarità del metodo è l'uso degli arrivi diretti ed inversi a due geofoni, posti ad una distanza XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto di emersione dal rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

TOMOGRAFIA
PRSE733 - 11 - PB



La funzione analisi-velocità, riferendosi alla figura sottostante, è definita dall'equazione:

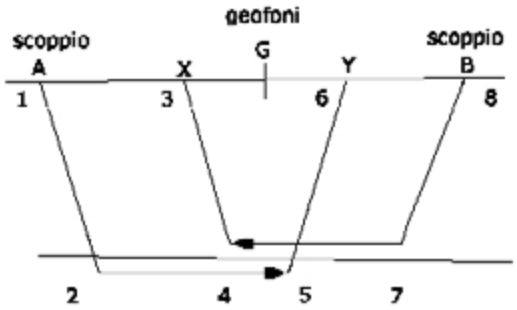
$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

$$t_{AY} = (12) + (34) + (45) + (56)$$

$$t_{BX} = (78) + (57) + (45) + (34)$$

$$t_{AB} = (12) + (24) + (45) + (57) + (78)$$

$$t = \frac{2(12) + 2(24) + (45)}{2}$$



Il valore di questa funzione è riferito al punto mediano G fra X ed Y.
Producendo i grafici dei tempi di percorso in relazione alla posizione dei geofoni è possibile derivare la velocità V2 del rifrattore, indipendentemente dall'inclinazione e dalla topografia. Ciò che influenza il calcolo è dunque la scelta dei geofoni XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto d'uscita sul rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

La funzione Tempo-Profondità

Il metodo GRM prevede ora la creazione di funzioni tempo-profondità per ciascun geofono.
Facendo riferimento alla figura precedente la funzione generalizzata tempo-profondità è definita Calcolo del valore di XY ottimale dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY / V_2)}{2}$$

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

Calcolo del valore di XY ottimale
La valutazione della distanza XY ottimale può essere ottenuta utilizzando le velocità e gli spessori di strato precedentemente determinati: se sono noti gli spessori e le velocità di ciascuno strato, il valore XY per ogni strato può essere calcolato direttamente, quindi applicando un procedimento iterativo è possibile determinare tali valori automaticamente e con notevole precisione.
Metodo del Ray Tracing
I programmi basati su questa metodologia partono solitamente da una prima interpretazione effettuata con uno dei metodi precedentemente descritti, quindi viene calcolato il tempo di arrivo previsto ad un geofono in base ad un modello iniziale.
La complessità del calcolo aumenta in funzione del modello utilizzato. Il calcolo è eseguito in forma iterativa fino a convergenza, che nei modelli più complessi deve a volte essere forzata.
Dopo aver determinato i tempi di arrivo ai geofoni occorre correggere il modello così da far coincidere, per quanto possibile, i tempi calcolati ed i tempi osservati, quindi si procede nuovamente con il calcolo dei tempi di percorso basati sul modello corretto.

Onde P-Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito.
Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un' opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un' onda elastica diretta e da una rifratta. L' onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità. I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismo stratigrafiche.

Onde P-Elaborazione dei dati
L 'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:
-Inserimento delle geometrie mediante il software Pickwin (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- Applicazione dei i filtri "lowpass" e "highpass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- Picking dei primi arrivi;
-Export delle dromocrone;
-Inversione tomografica dei dati attraverso l'applicativo Plotrefa;
-Definizione del modello sismostratigrafico.

Onde P-Rappresentazione dei dati
I dati elaborati sono stati esportati e restituiti come di seguito riportato:
- sismogrammi relativi agli scoppi;
- dromocrone relative rispettivamente alle onde P;
- sezioni tomografiche
- modelli sismo stratigrafici.
In particolare l'elaborazione tomografica rappresenta l'andamento dei sismo strati, lungo la sezione corrispondente al profilo in superfice, ottenuta dalla elaborazione ed inversione dei dati sismici; il modello sismo stratigrafico rappresenta invece l'interpretazione degli stessi sismo strati.

Onde P-Interpretazione dei risultati

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell' indagine sismica è importante precisare che generalmente:
a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h<0.25*z$.
c) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

Id indagine PRSE733 - I1 - PB
LOCALITA' PIOMBINO (LI)
DATA E ORA 03/05/2023

Coordinate WGS 84 :

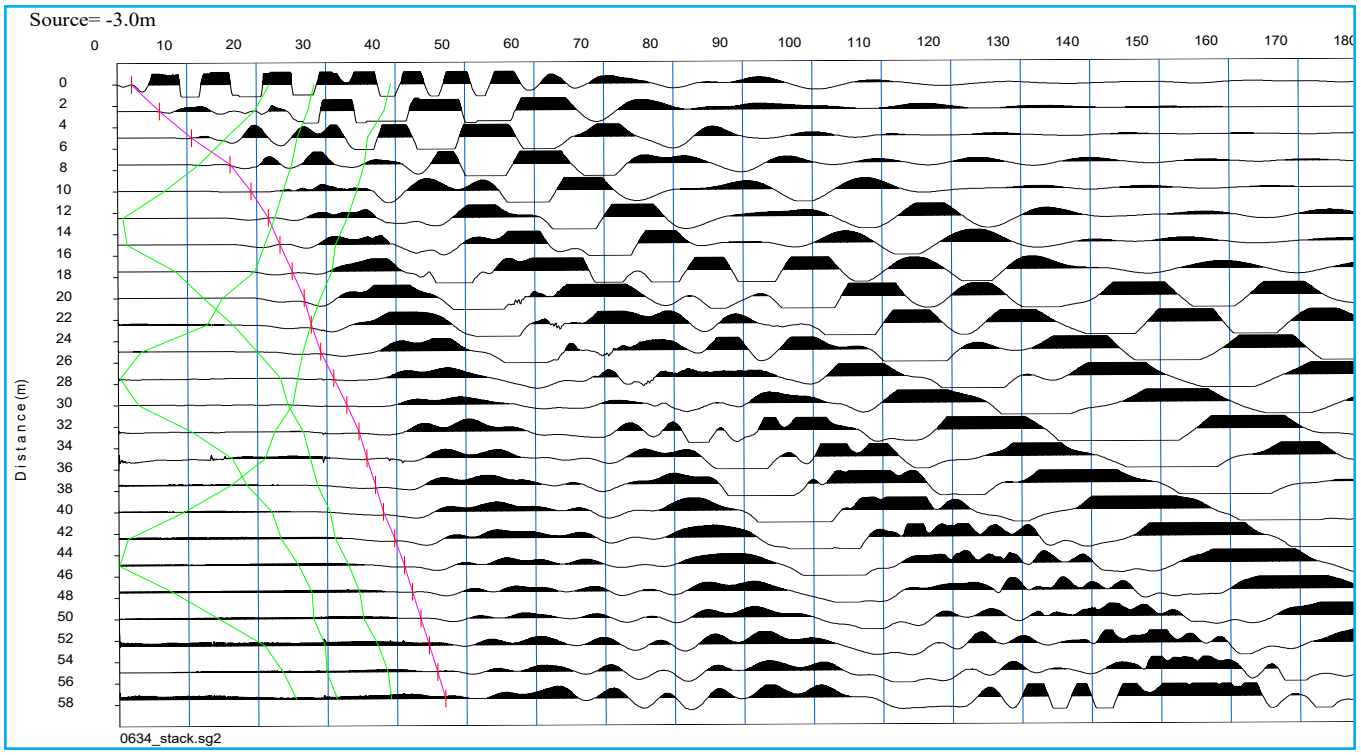
Geofono 1: 624938;4762482
Geofono 12: 624929;4762511
Geofono 24: 624918;4762540

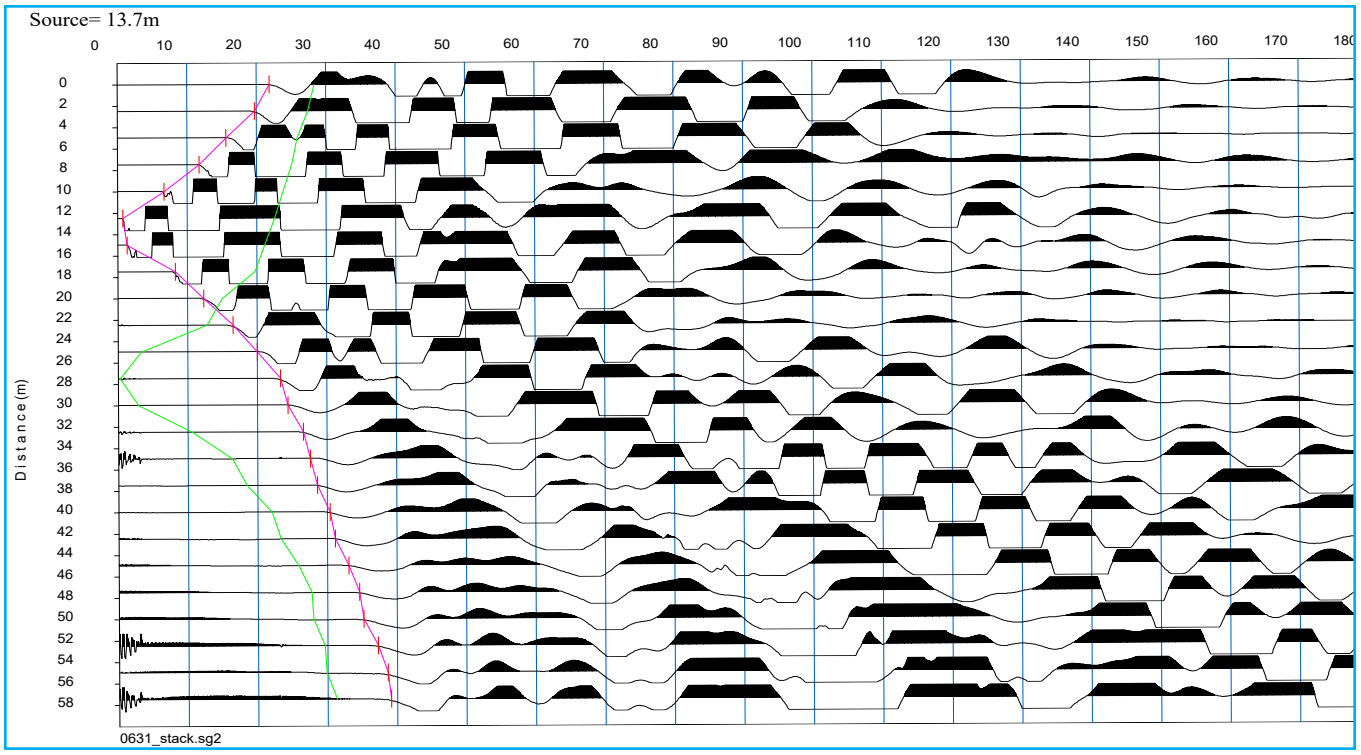
Onde P-Acquisizione dei dati
Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:
Scoppio 1: -3.00 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75 m;
Scoppio 5: 60.50 m;

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

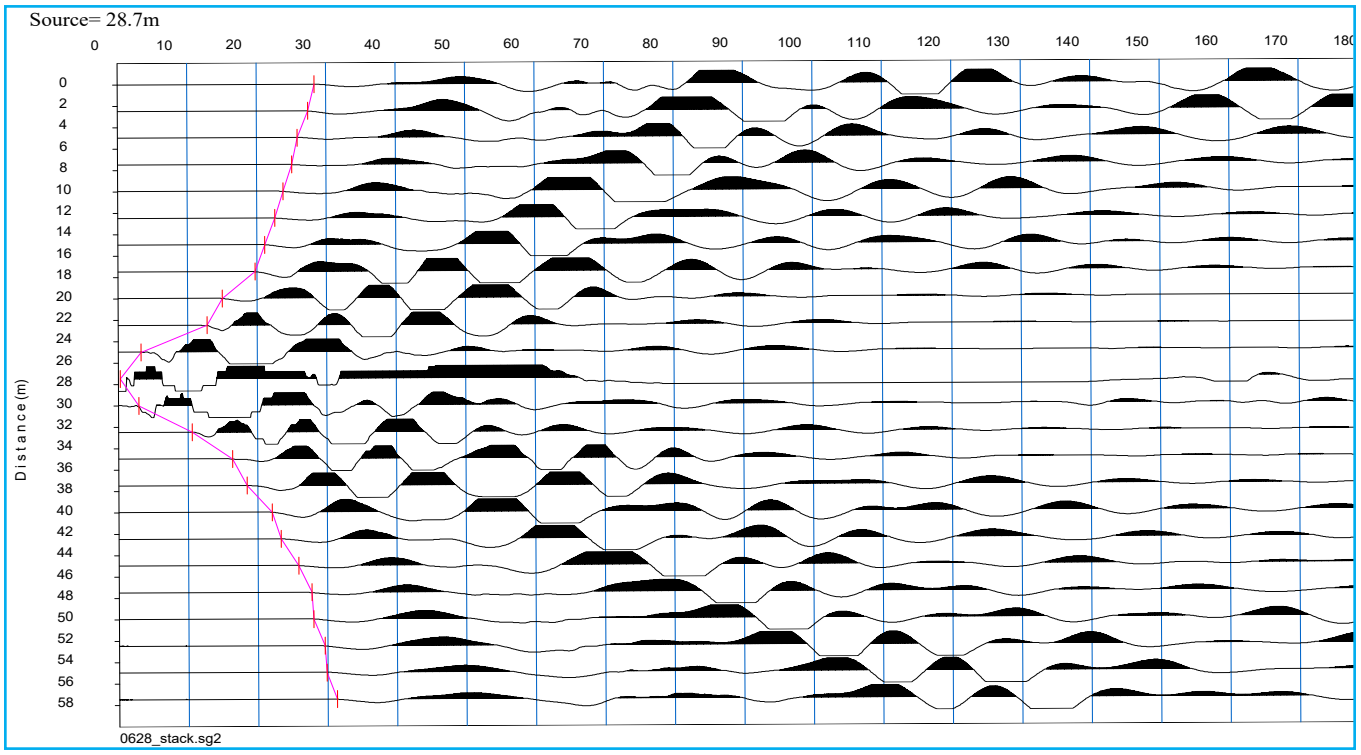


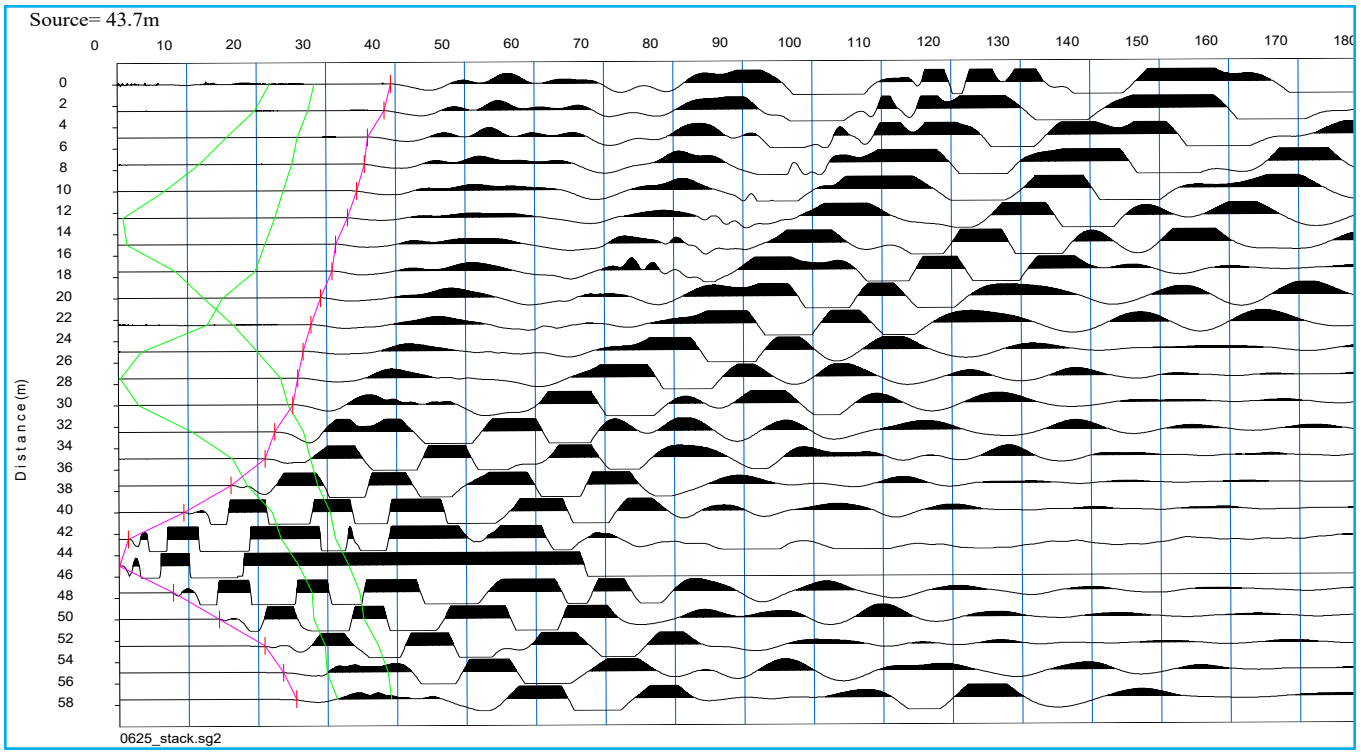


GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

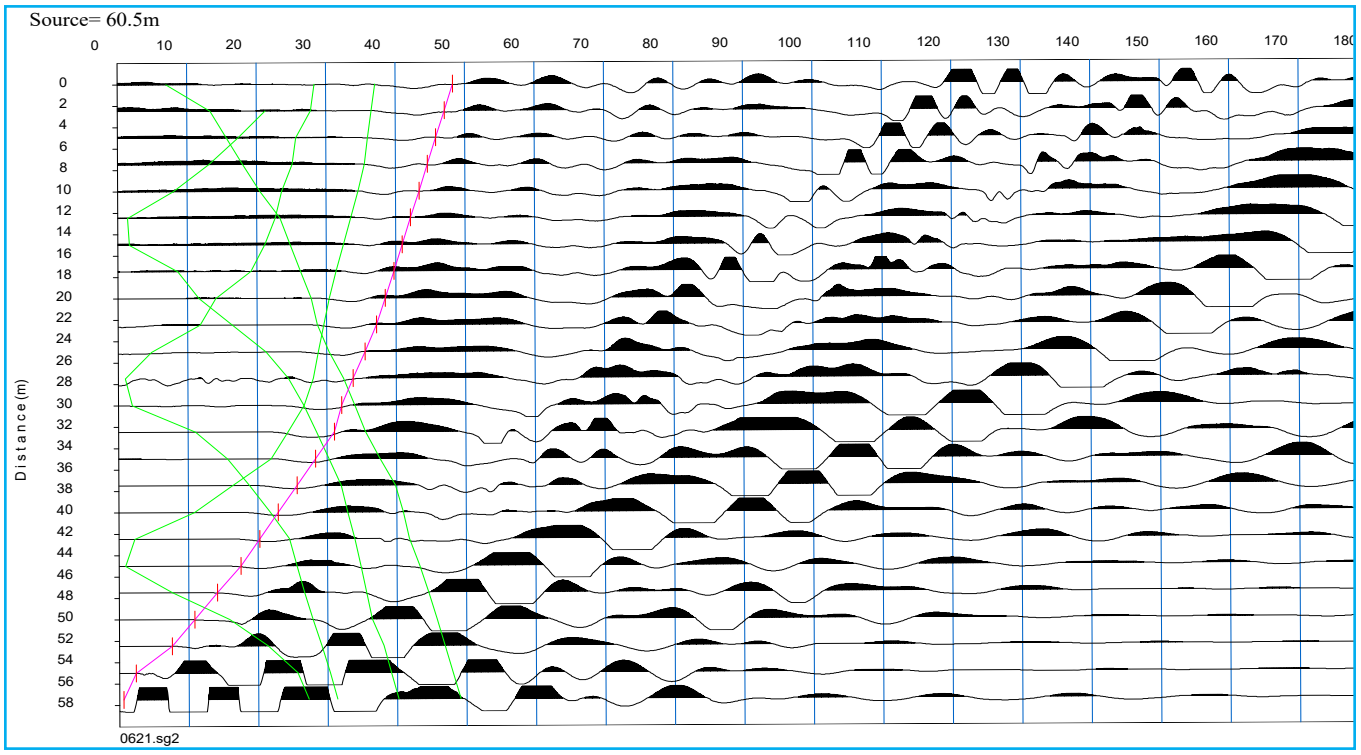


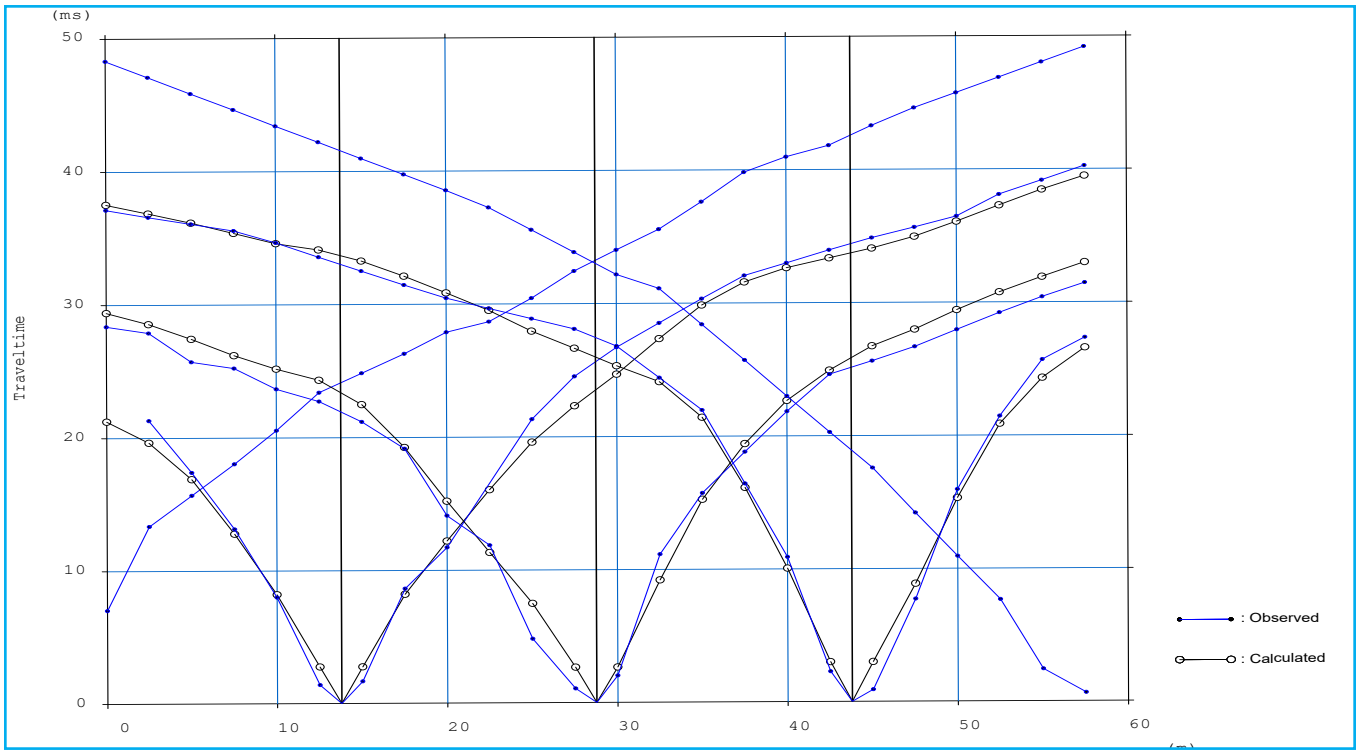


GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesano 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

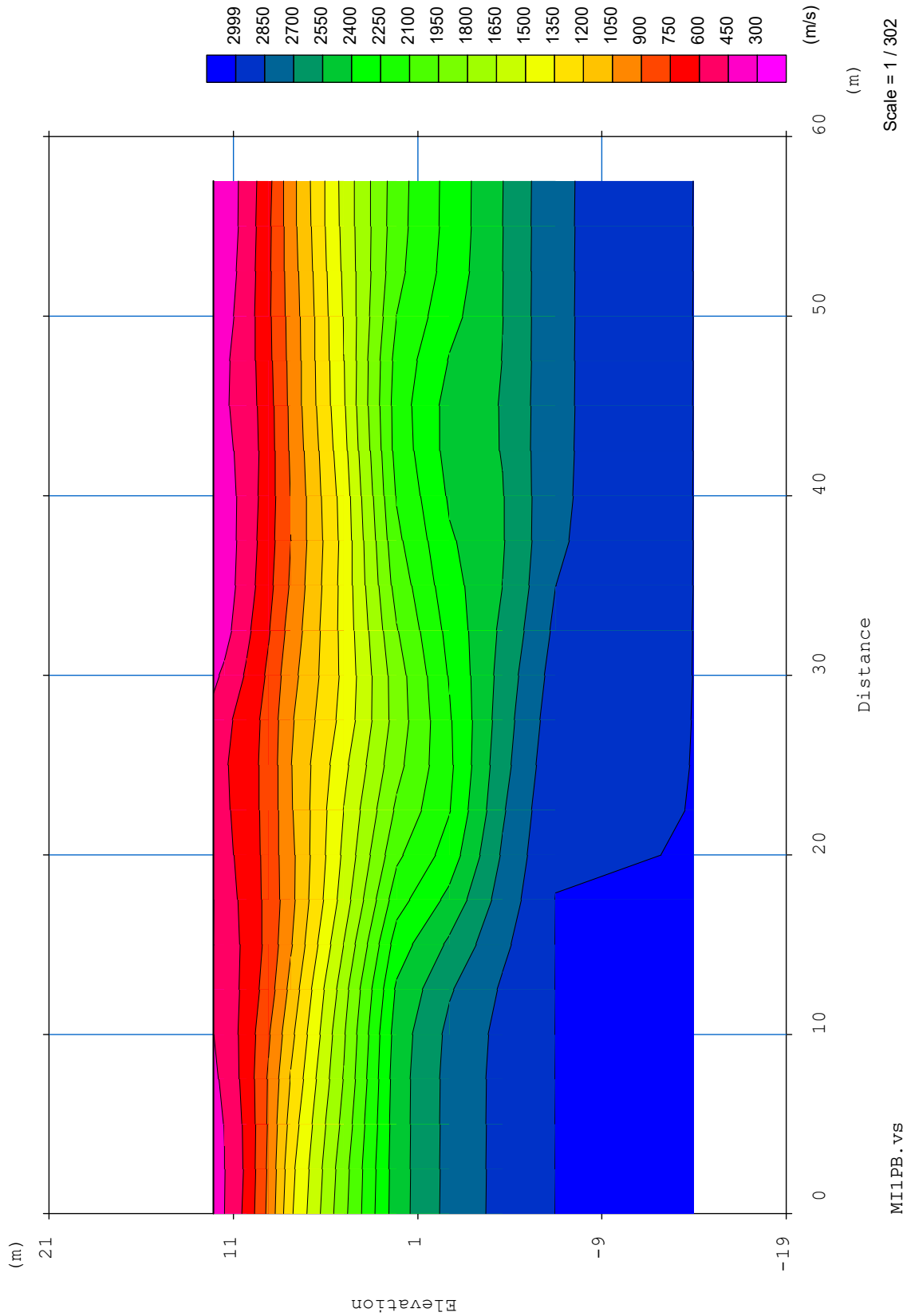




GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesano 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

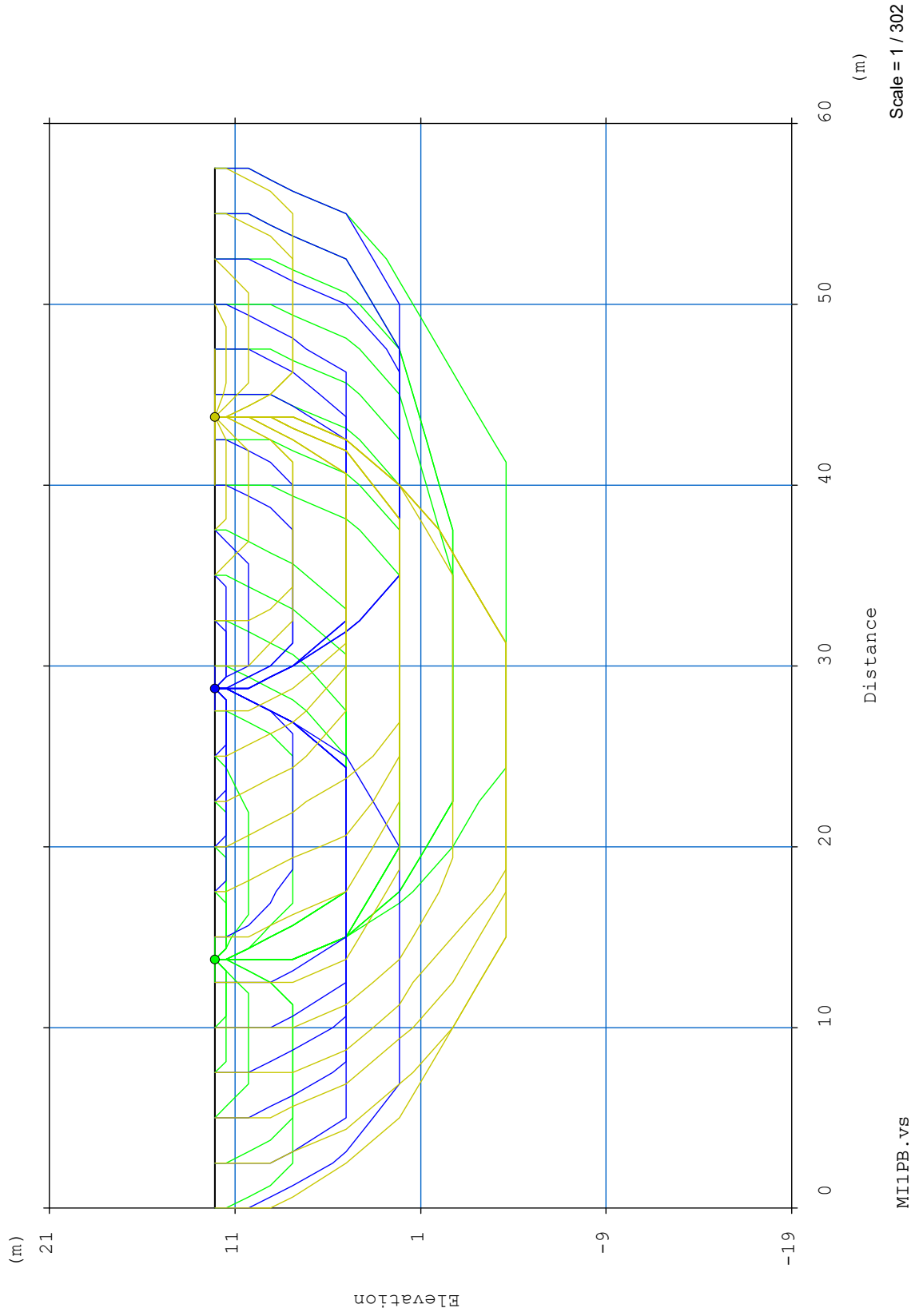
TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

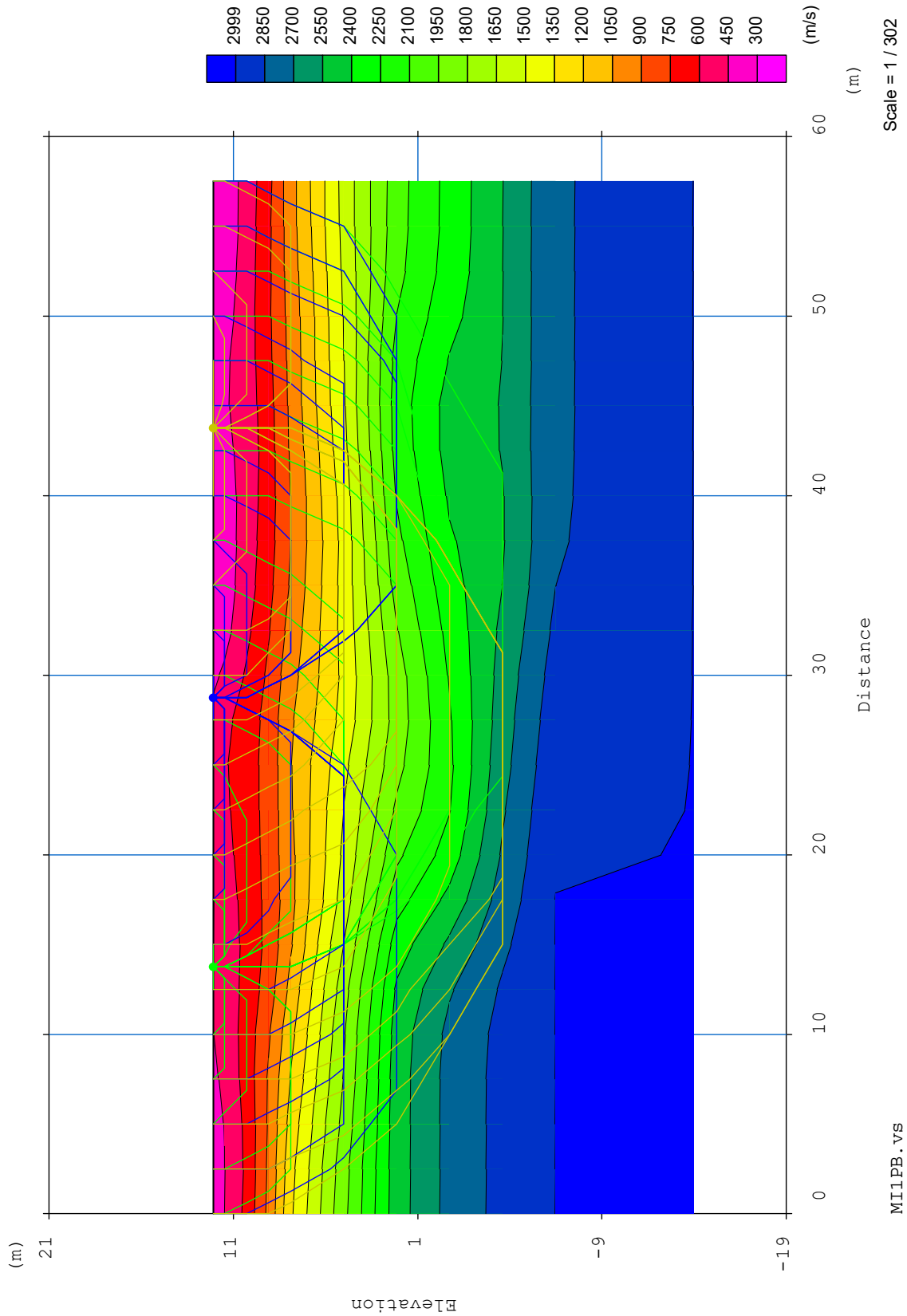


GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesano 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

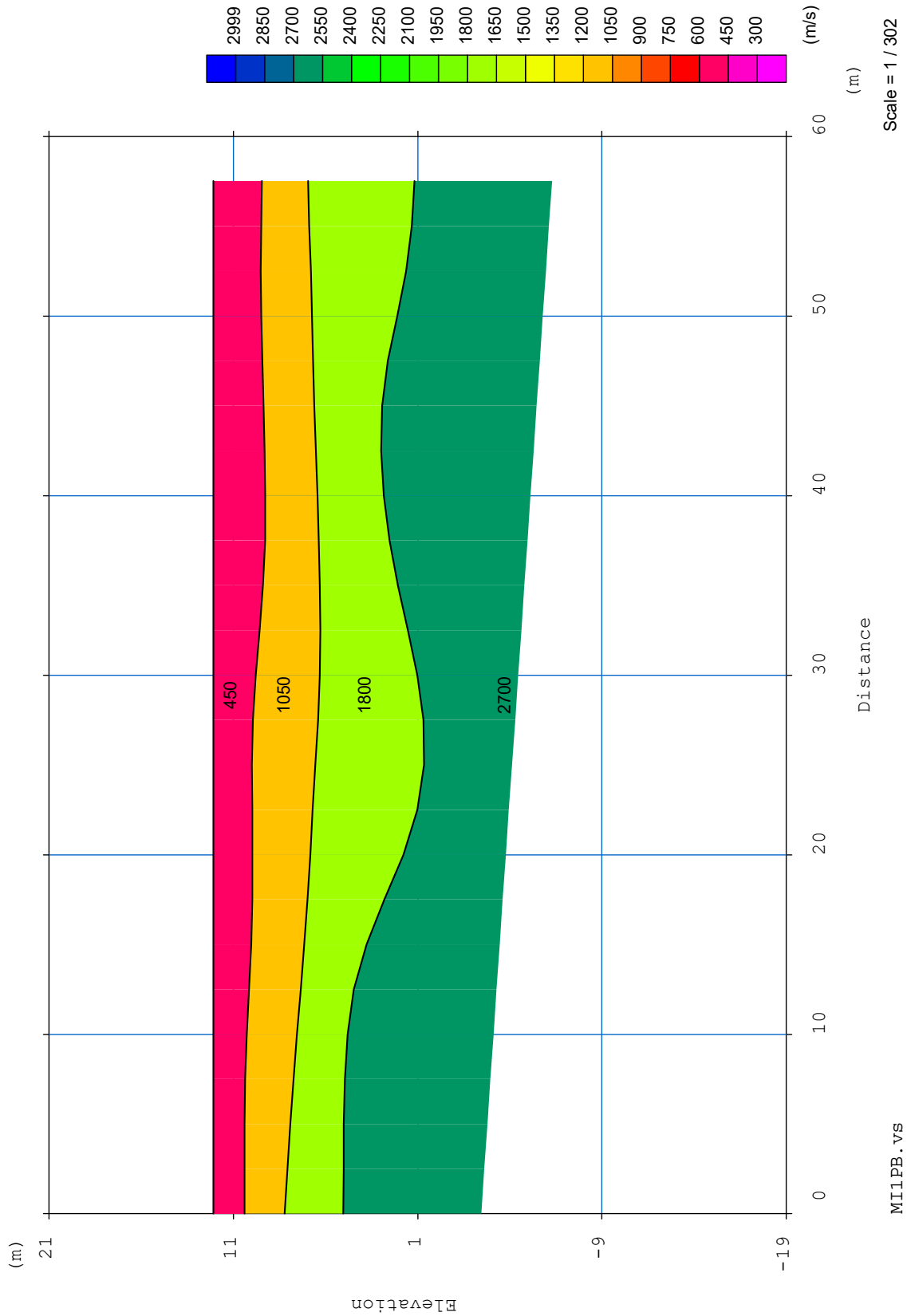
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cil
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB



GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cil
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I1 - PB

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Ge
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB

OGGETTO: PARCO EOLICO - PIOMBINO (LI)
COMMITTENZA: SAN NICOLA ENERGY S.R.L.

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
P.IVA 03 06 20 20 718
C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB

Id indagine PRSE733 - I2 - PB
LOCALITA' PIOMBINO (LI)
DATA E ORA 03/05/2023

Coordinate WGS 84 :

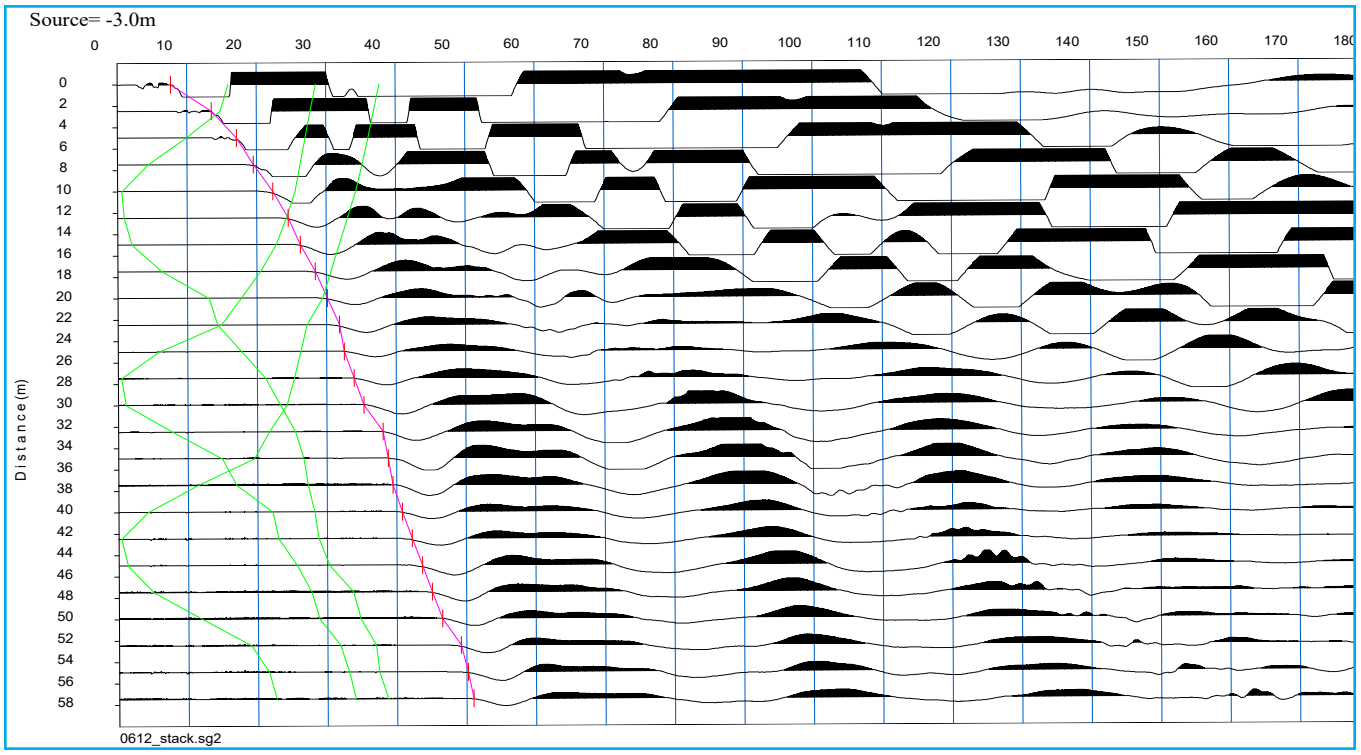
Geofono 1: 628532;4759817
Geofono 12: 628567;4759812
Geofono 24: 628592;4759809

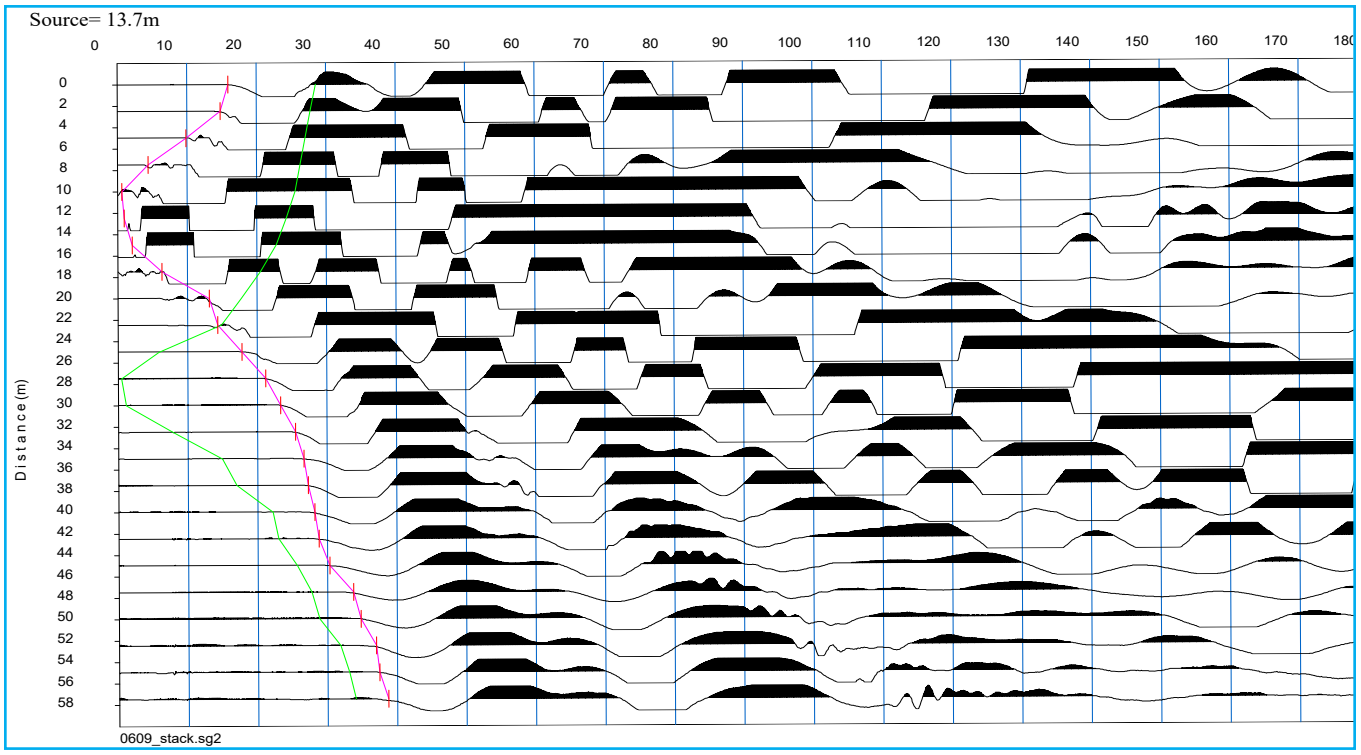
Onde P-Acquisizione dei dati
Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:
Scoppio 1: -3.00 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75 m;
Scoppio 5: 60.50 m;

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB

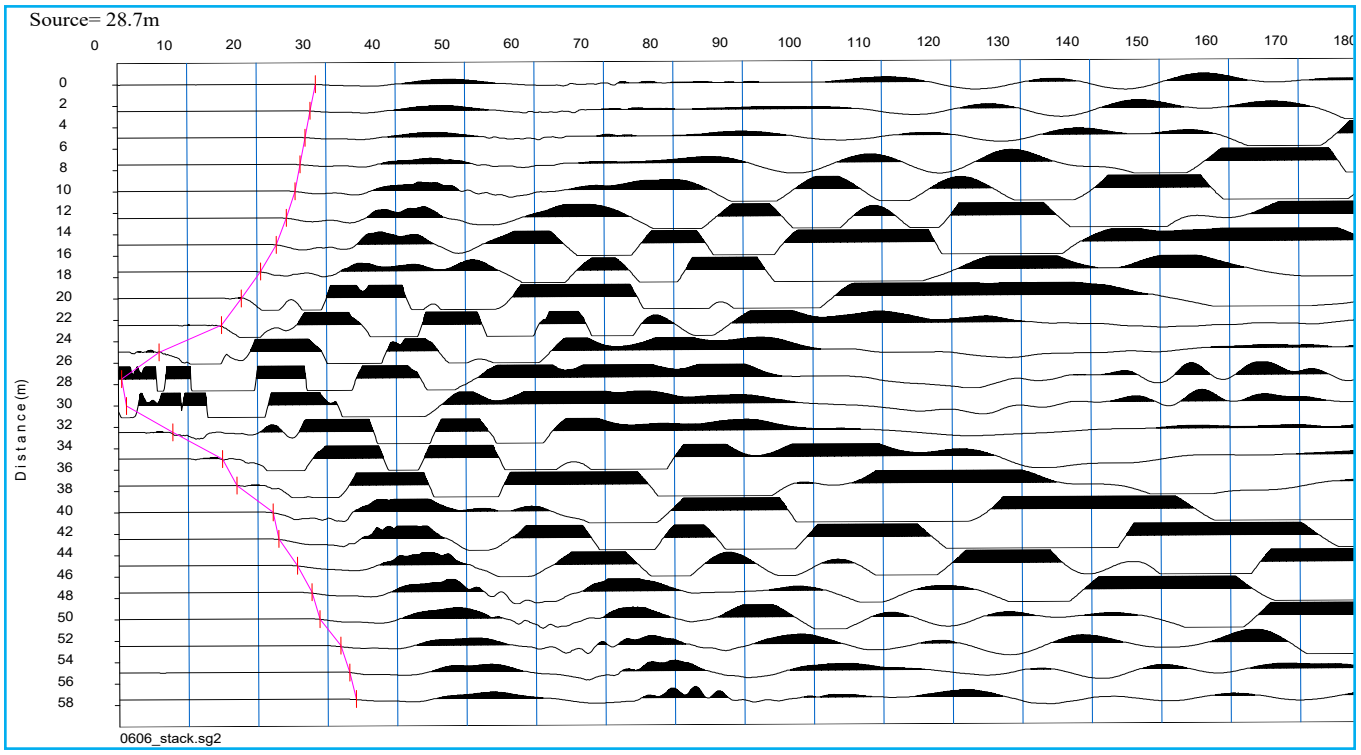


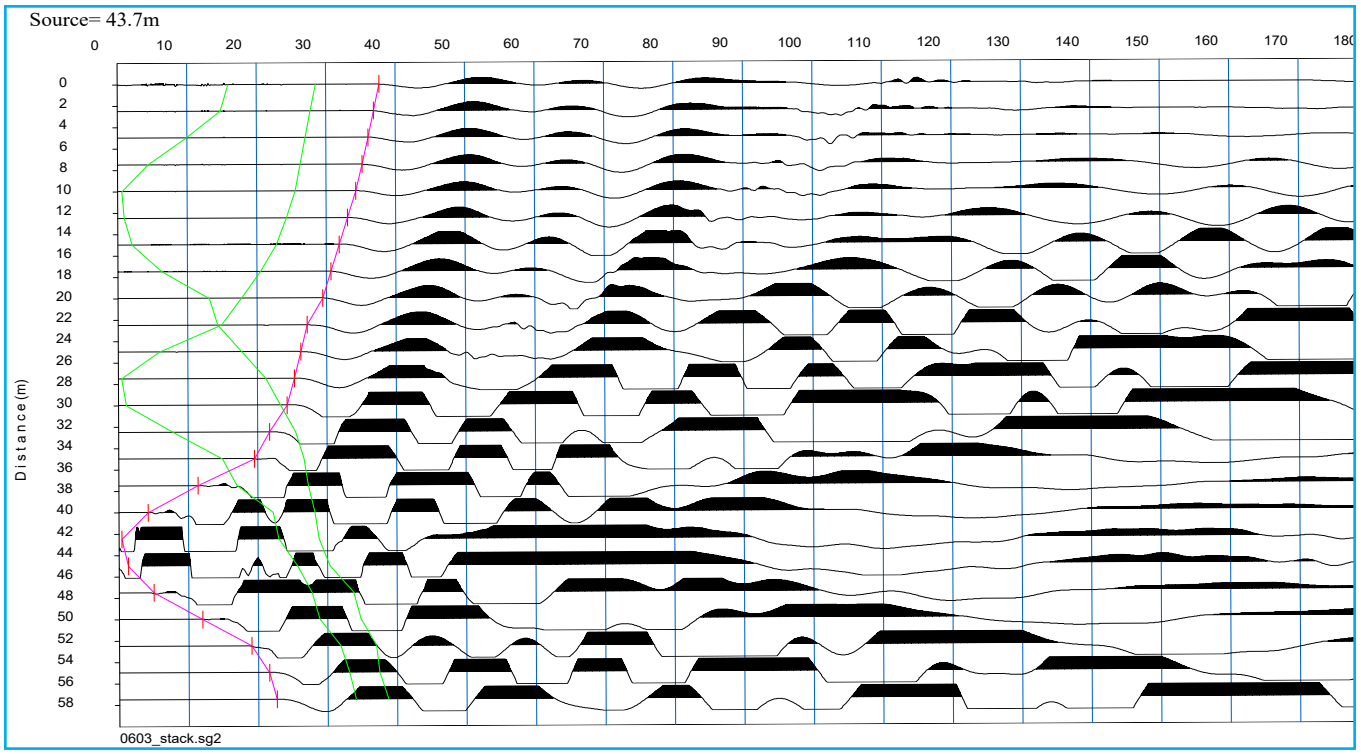


GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

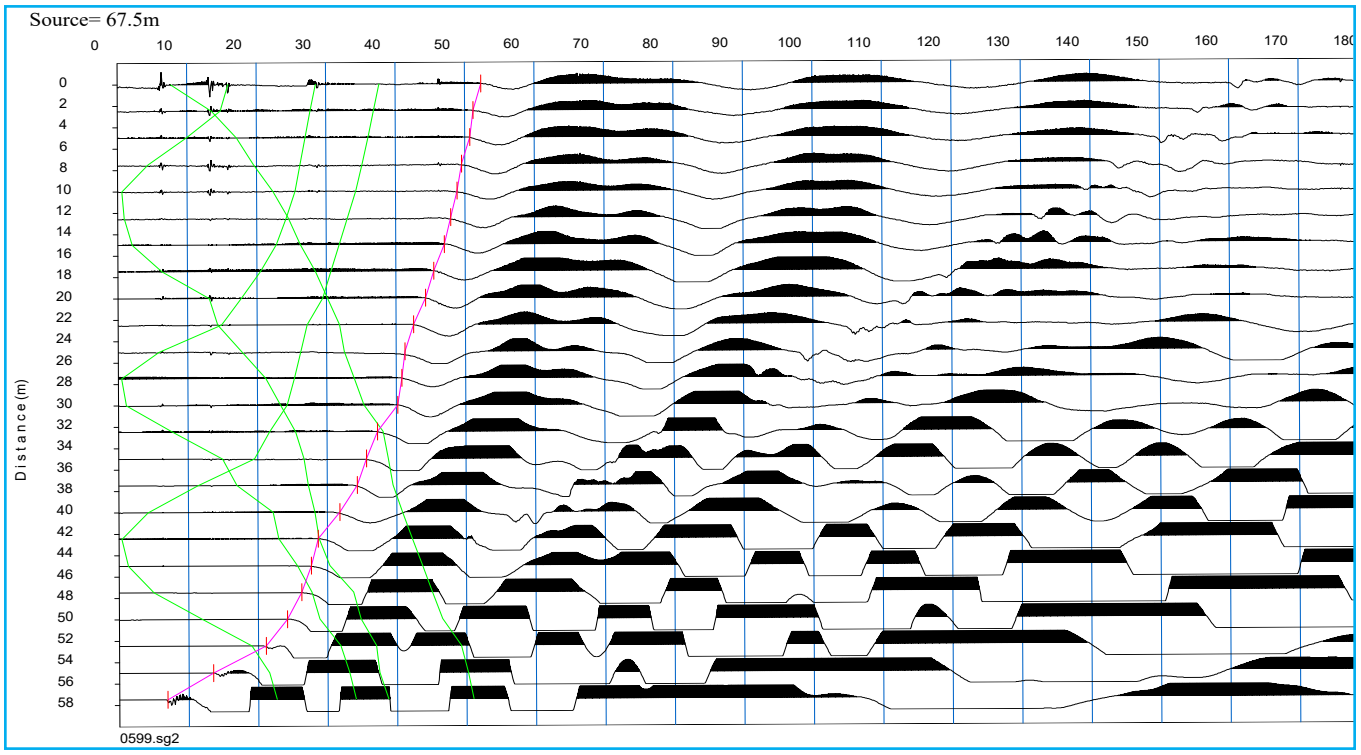
TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB

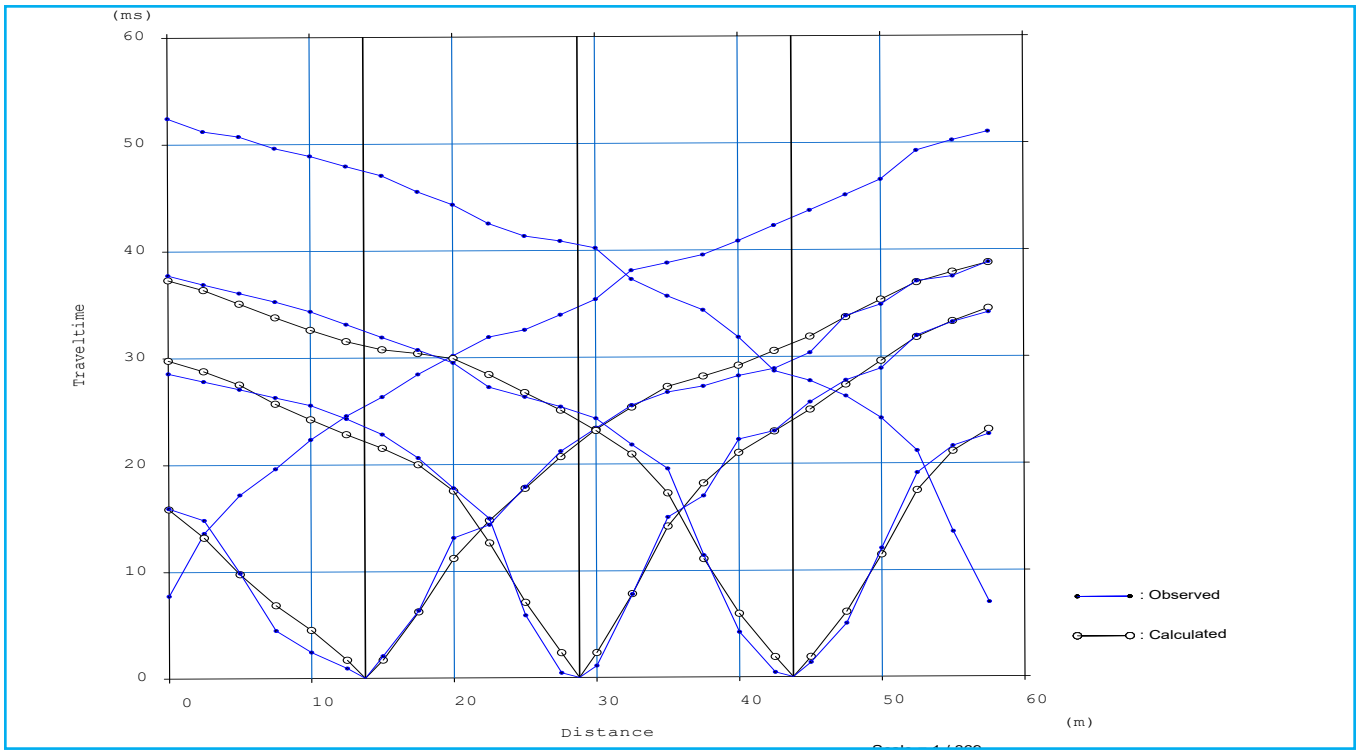




GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
- via Montesano 64-66
- 71036 Lucera (FG)
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

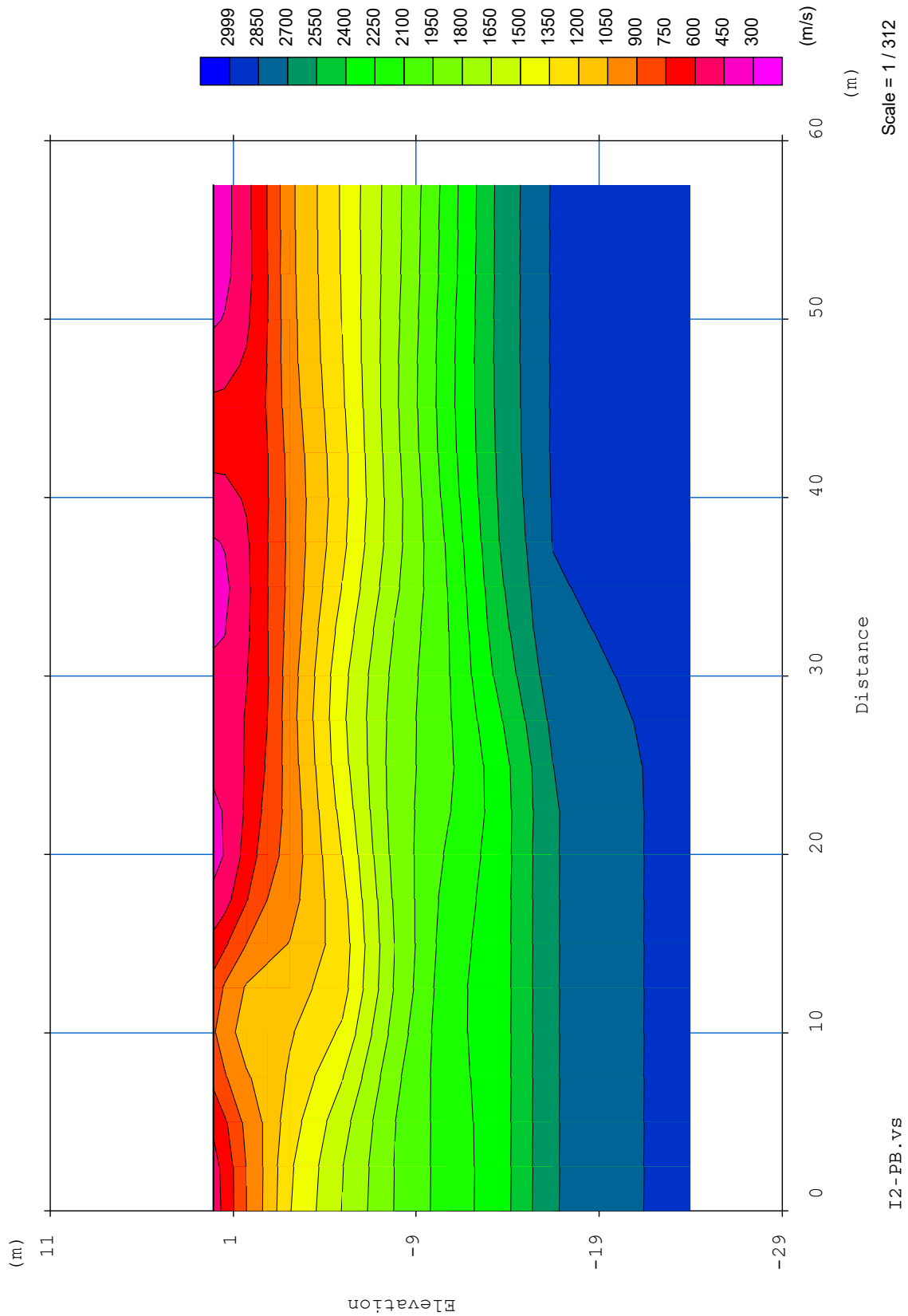
TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB





GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

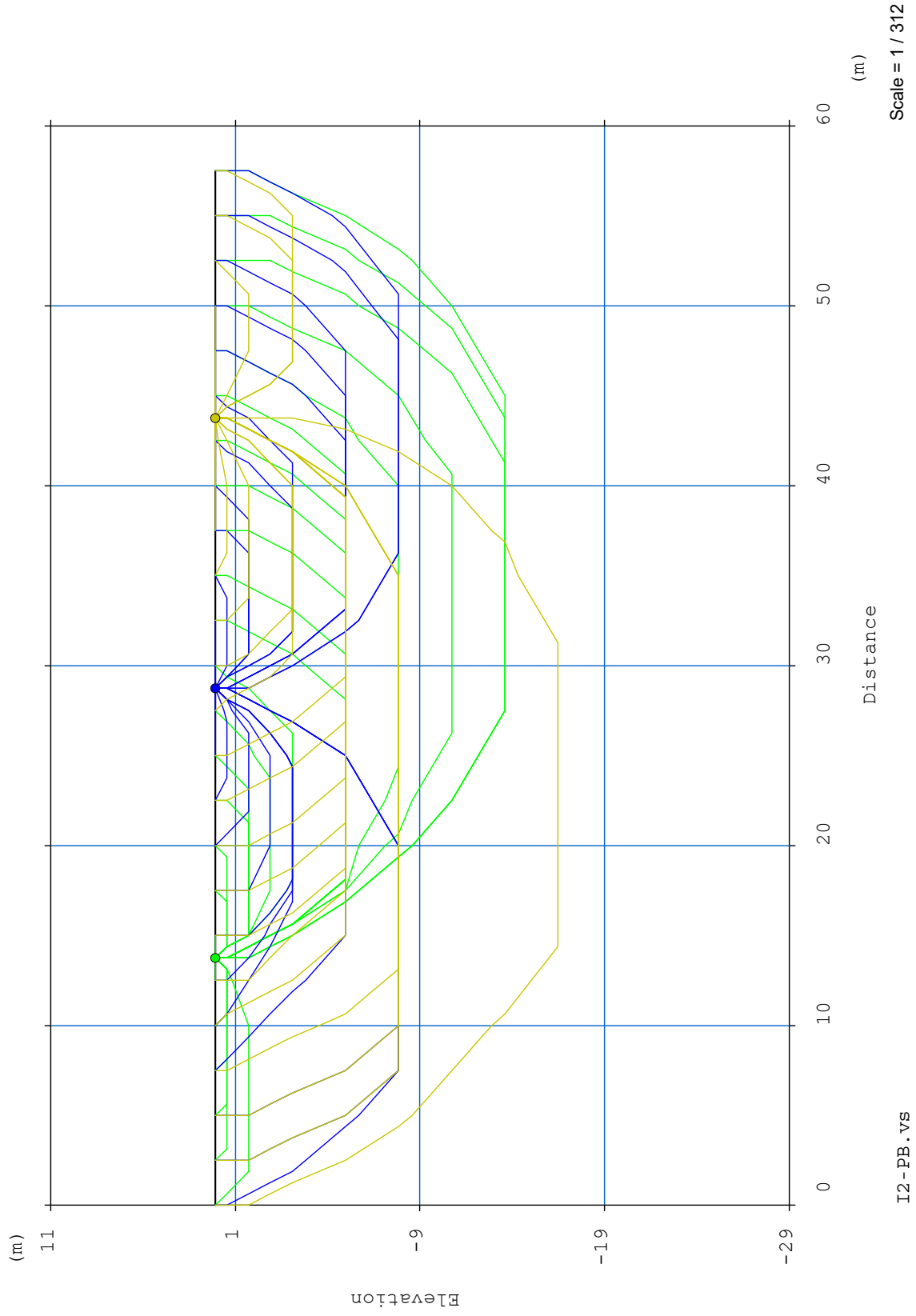
TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

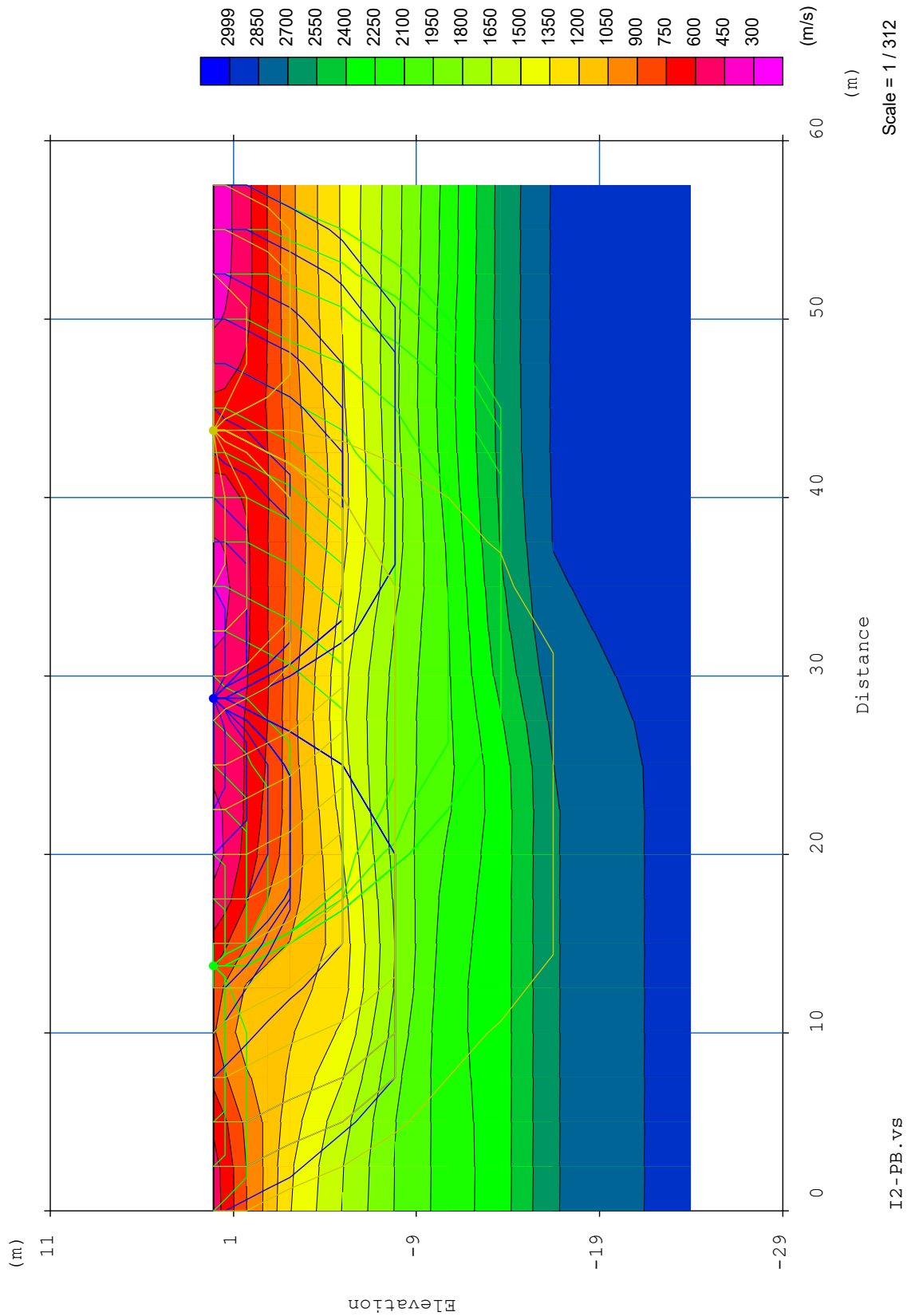
GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesano 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB



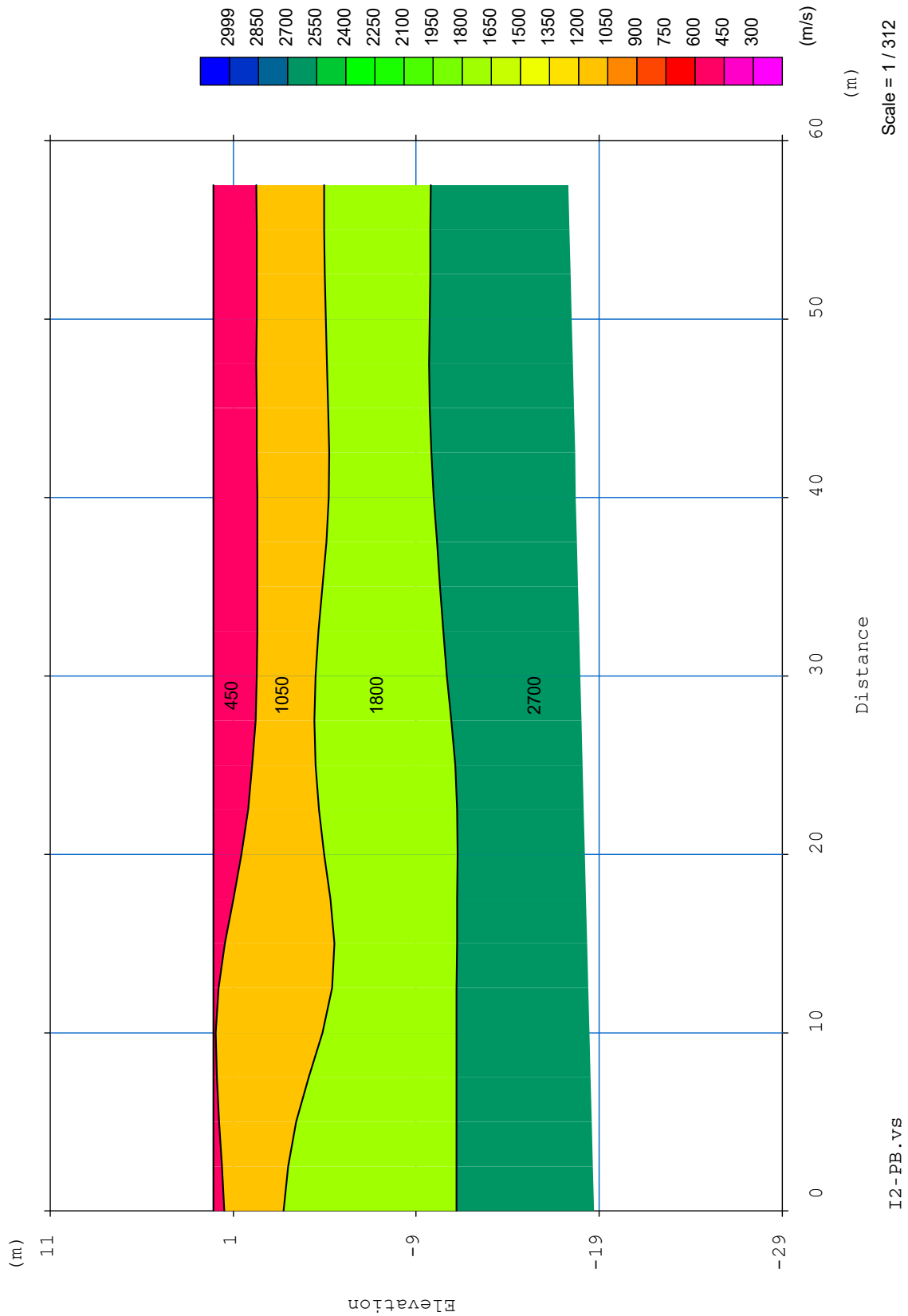
GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB



GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cil
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I2 - PB

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Cil
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB

OGGETTO: PARCO EOLICO – PIOMBINO (LI)
COMMITTENZA: SAN NICOLA ENERGY S.R.L.

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesano 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB

Id indagine PRSE733 - I3 - PB
LOCALITA' PIOMBINO (LI)
DATA E ORA 03/05/2023

Coordinate WGS 84 :

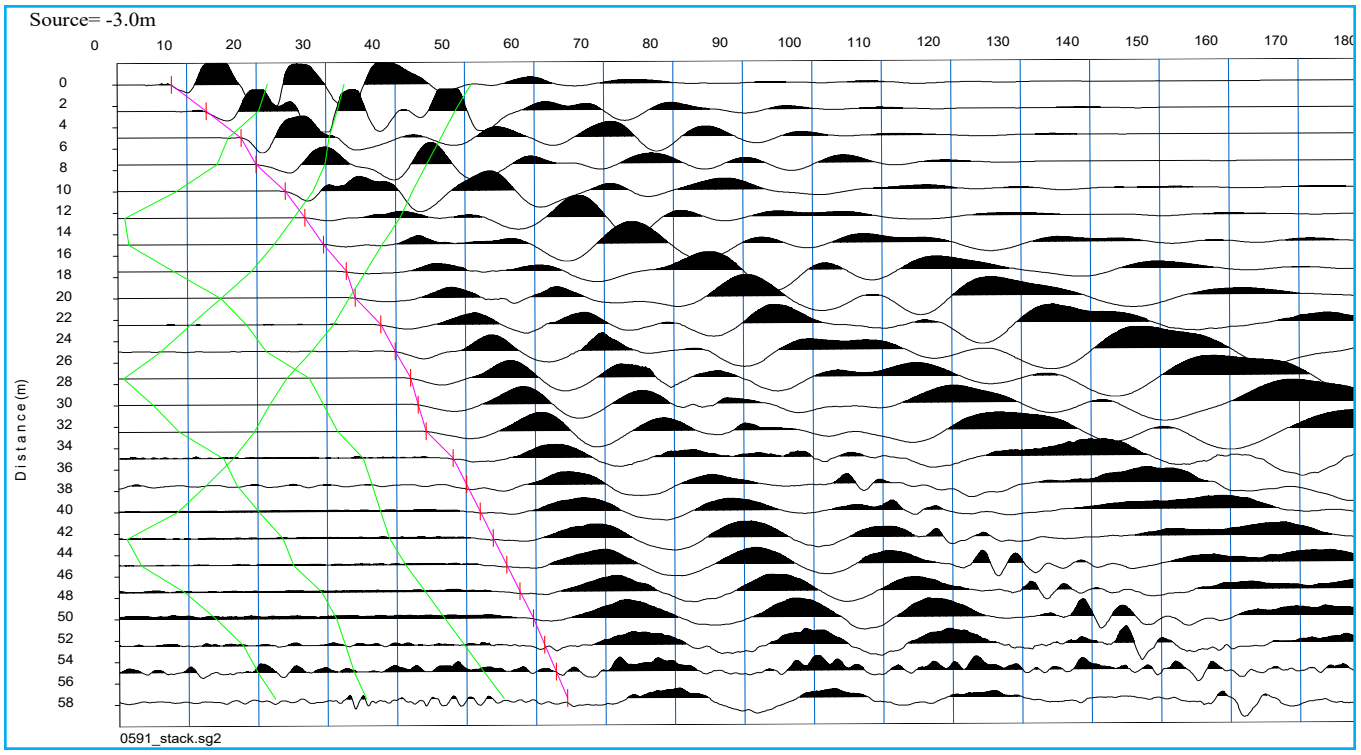
Geofono 1: 633462;4762087
Geofono 12: 633435;4762074
Geofono 24: 633407;4762059

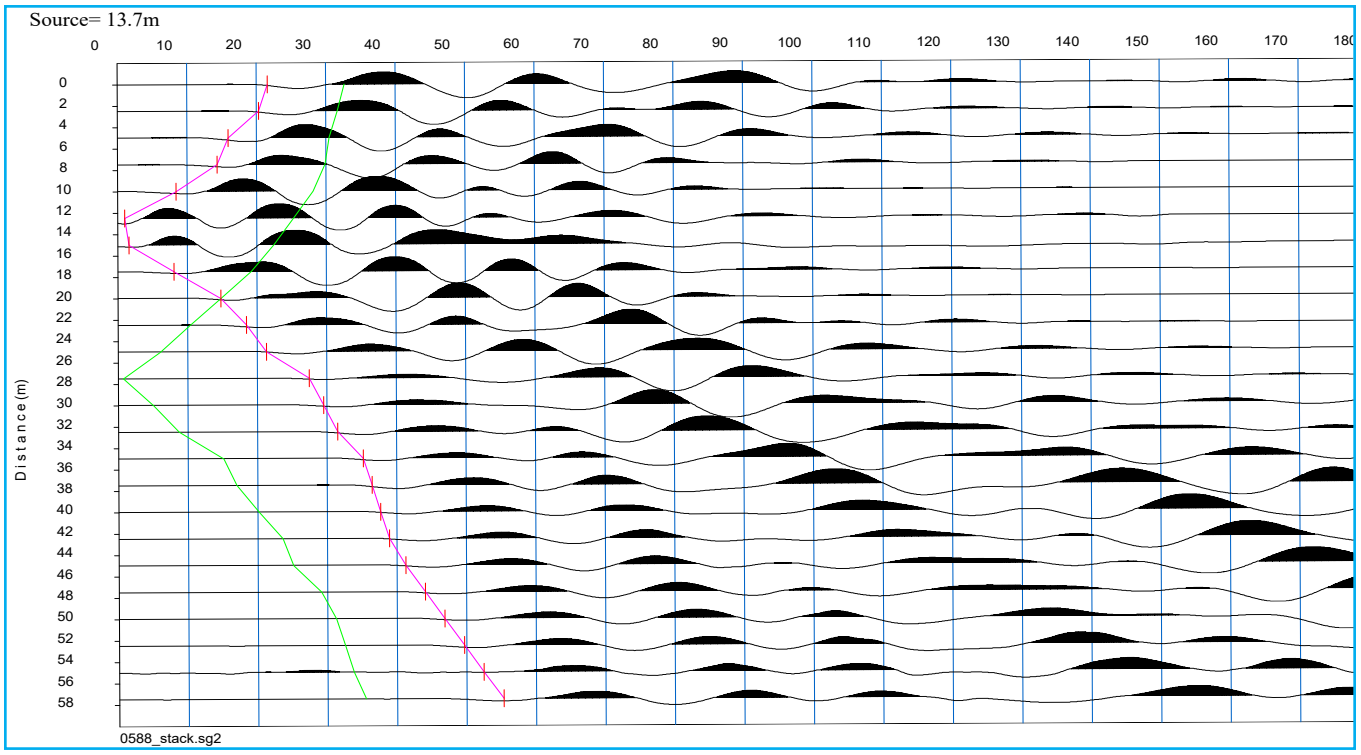
Onde P-Acquisizione dei dati
Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:
Scoppio 1: -3.00 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75 m;
Scoppio 5: 60.50 m;

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB

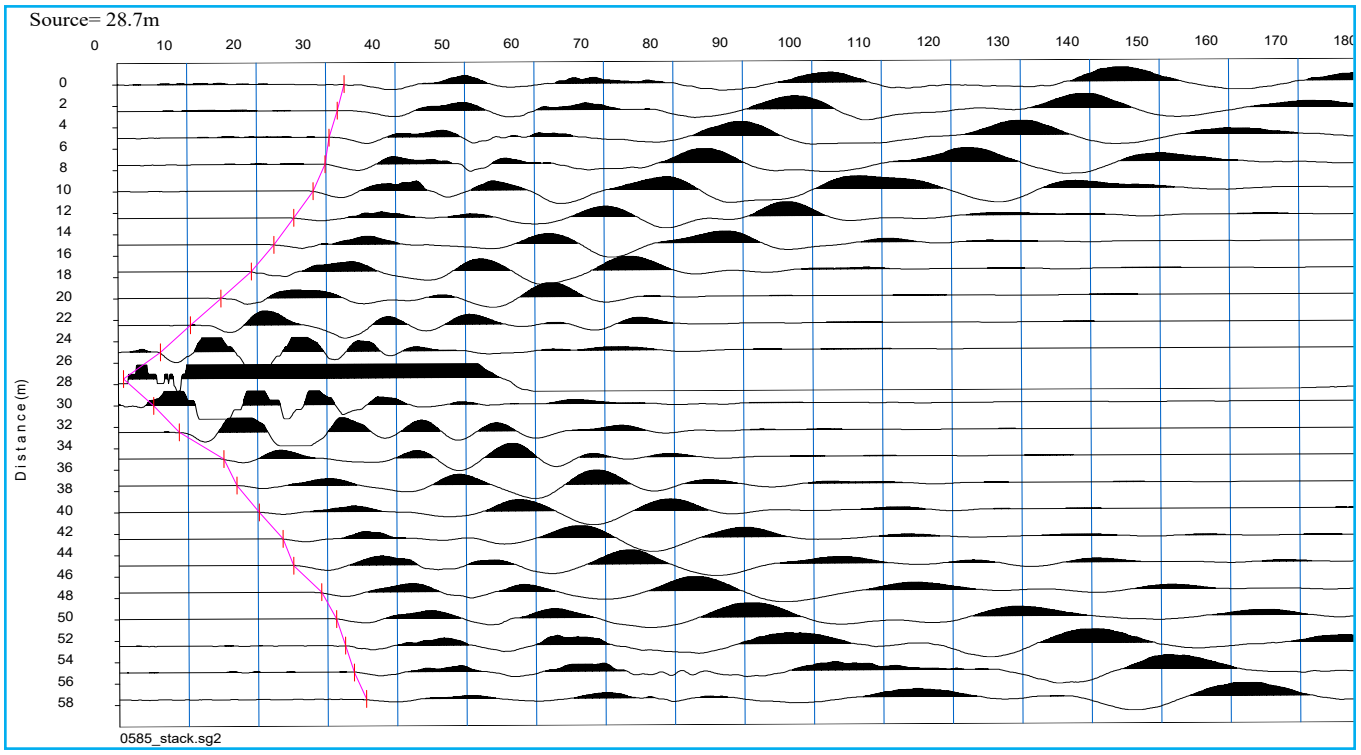


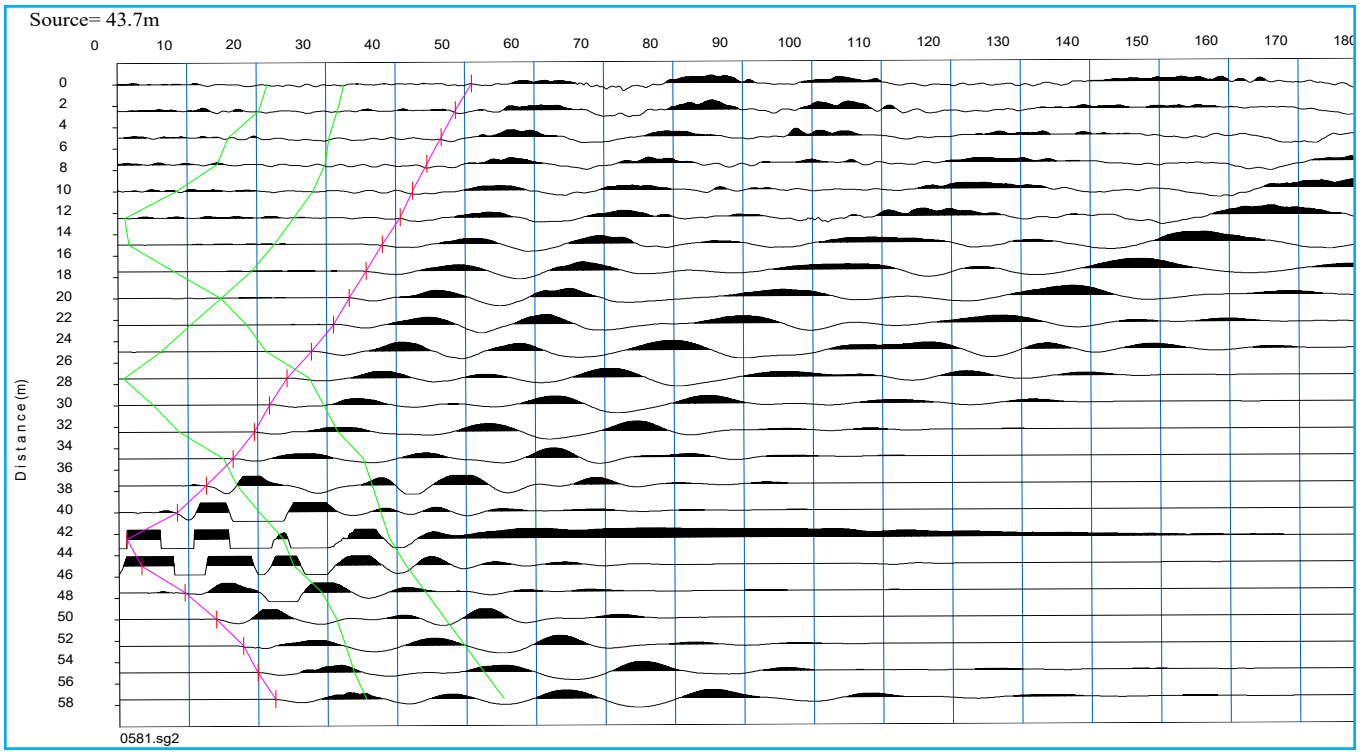


GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

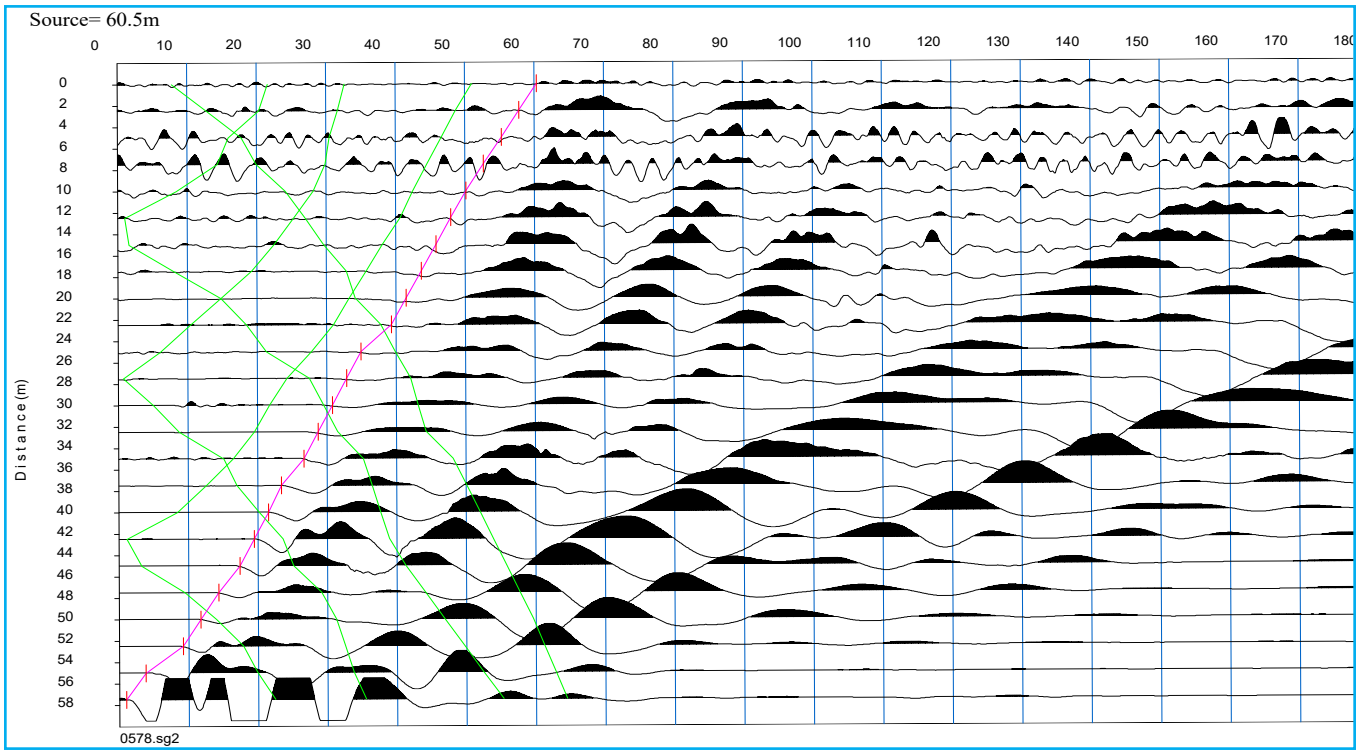
TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB

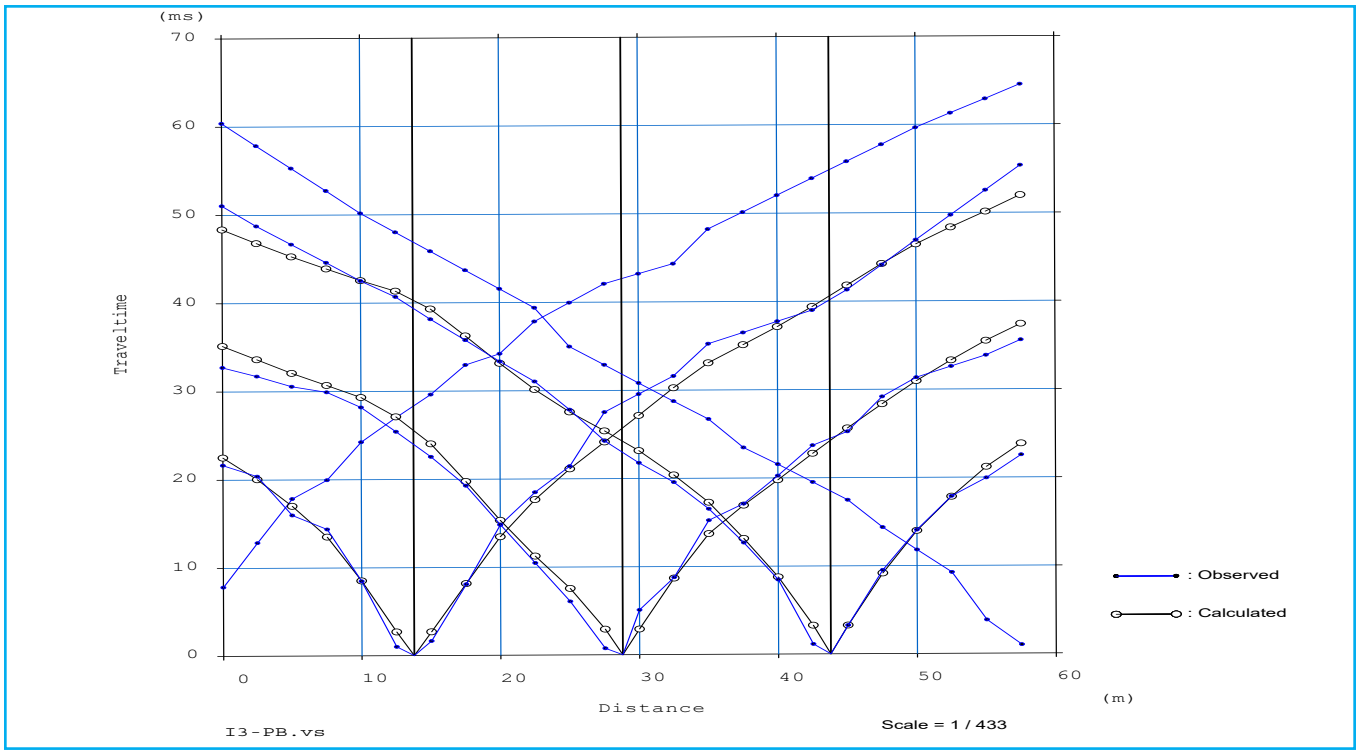




GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB

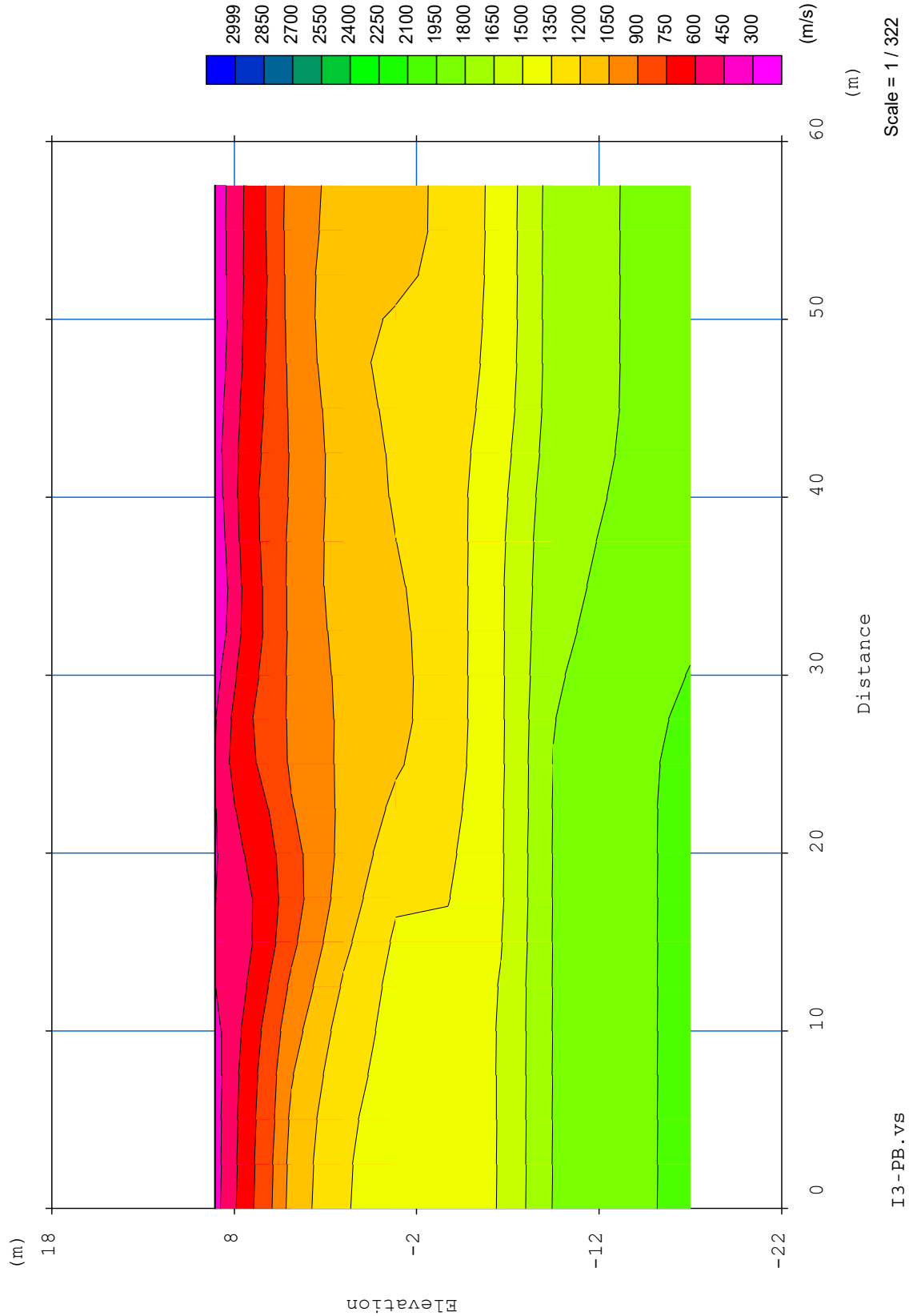




GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

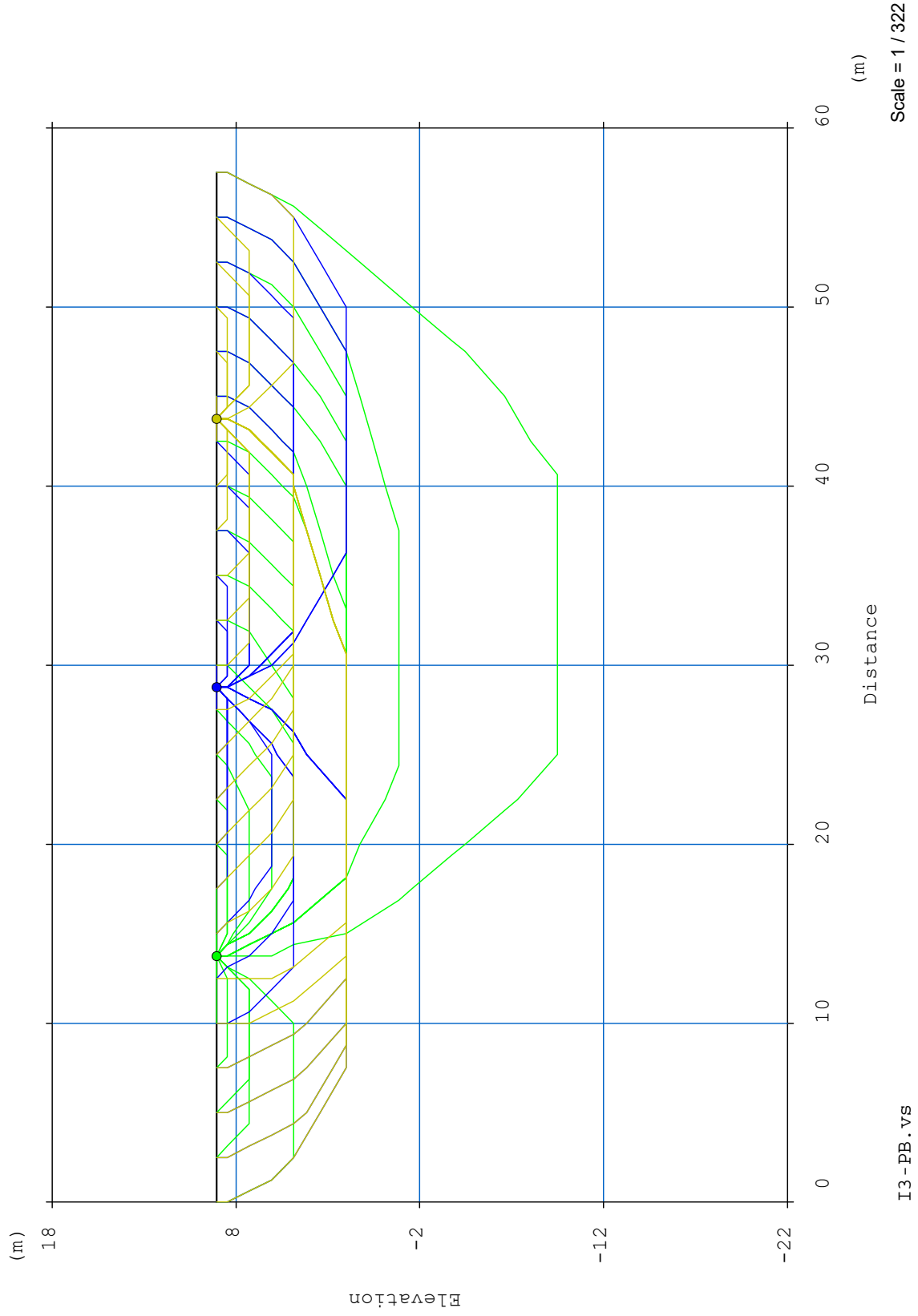
TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

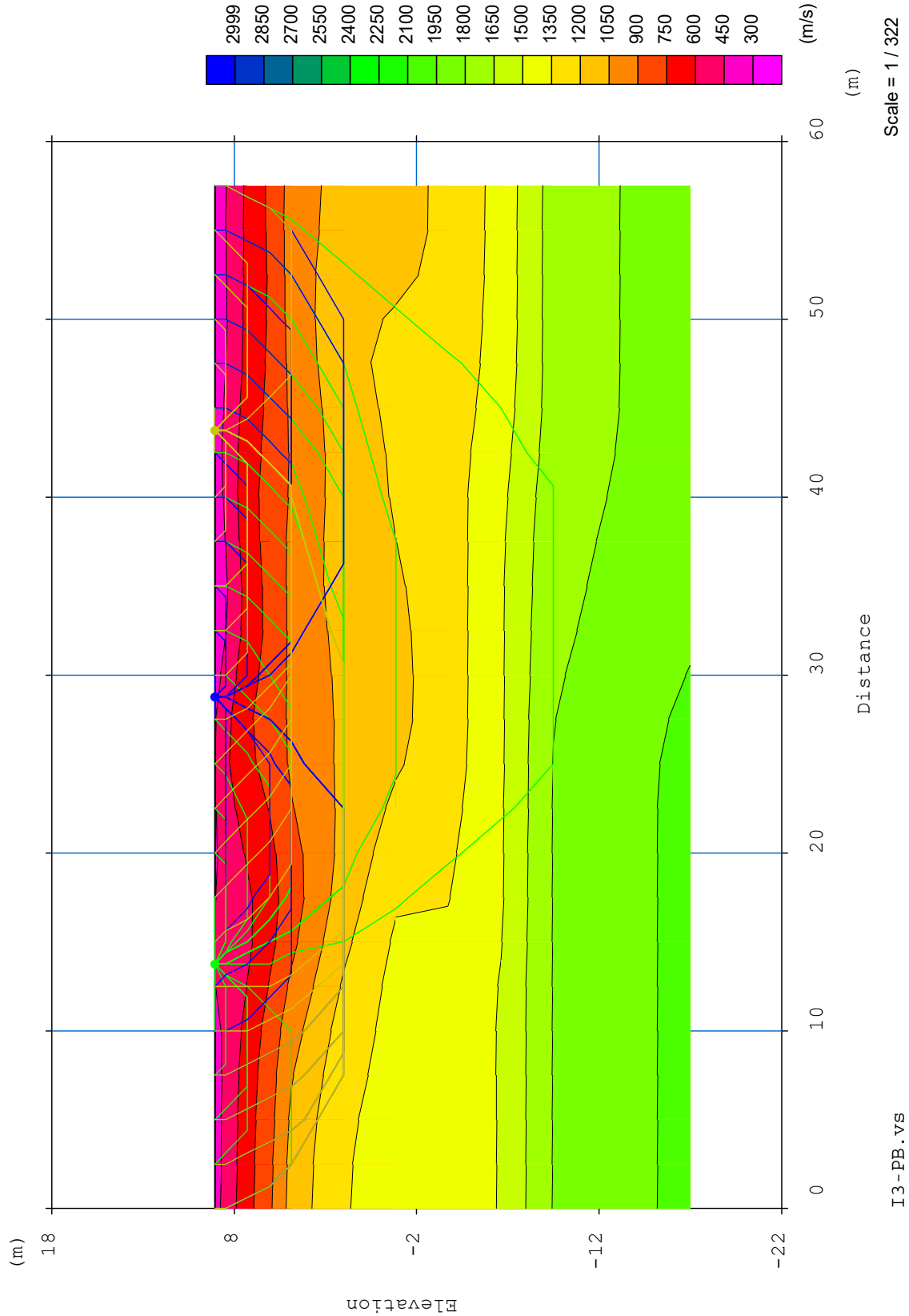
GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesano 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB



GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB



GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
via Montesanto 64-66
71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010
- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)
- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DGRLGU81A09D643E
T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67
www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Socio AI.Ge
Sistema di gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008

TOMOGRAFIA
PRSE733 - I3 - PB