0	02/2017	Emissione	Fresia	Pesce	Venturini
Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato

COMUNE DI GENOVA

OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO NOCE NEL TRATTO COMPRESO TRA LA SCUOLA D'INFANZIA DELIA REPETTO IN SALITA SUPERIORE DELLA NOCE ED IL POZZO CARENA MEDIANTE REALIZZAZIONE DI UNA GALLERIA BY-PASS

AREA TECNICA - DIREZIONE OPERE IDRAULICHE E SANITARIE

Dirigente **Ing. Stefano PINASCO**

PROGETTISTI:

A.T.I.

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)

STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI

SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.r.l.

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO **Ing. Stefano PINASCO**

Staff tecnico

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
Ing. S. Venturini

STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI
Ing. D Cerlini - Ing. M. Ferrari

SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.r.l.
Ing. A.Galli

Oggetto della tavola

GEOLOGIA E GEOTECNICA

INDAGINI GEOGNOSTICHE

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA (CAMPAGNA 2016)

Elaborato
TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

Scala
- - -

Data
Febbraio 2017

Progetto Esecutivo

Tavola N° PE.RG.102

Codice GULP	Codice Commessa Precedente	Revisione
12383	DSU100	0

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DEL COMUNE DI GENOVA E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA – CAMPAGNA ANNO 2016 –

I N D I C E

1. INTRODUZIONE 4

2. METODOLOGIA DI INDAGINE 6
   2.1 Sondaggi geognostico geotecnici, prove in situ e di laboratorio (S) 6
   2.2 Campionamenti ambientali dei terreni e delle acque di falda 15
   2.3 Prove geotecniche di laboratorio 18

3. INDAGINE GEOFISICA 20
   3.1 Sismica attiva (MASW) 20
   3.2 Tomografia Elettrica (ERT) 21

ALLEGATI:

Interpretazione tomografie elettriche ERT1 – ERT2

Risultati Masw

DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO:

- Genova Acque S.p.A., 2006. Progetto definitivo per la sistemazione idraulica del rio Noce nel tratto compreso tra la Scuola d'infanzia "Delia Repetto" in Salita Superiore della Noce ed il pozzo Carena all'incrocio tra via Benedetto XV e C.so Europa, ed opere di presidio di edifici situati in Salita Superiore della Noce;
- Barbaro E., 2005. Progetto per la realizzazione di un autosilos interrato in Largo Benzi – Relazione geologica, idrogeologica e sismica;
- Ekki, 2002. Caratterizzazione geomeccanica di sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino, Genova.

SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO NOCE

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Codice	Titolo
PE.RG.101	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica
PE.DS.101	Carta geologica
PE.DS.102	Carta geomorfologica
PE.DS.103	Carta idrogeologica
PE.DS.104	Profilo geologico
PE.RG.107	Relazione geotecnica e geomeccanica
PE.DS.107.	Profilo geotecnico - geomeccanico

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Codice	Titolo
PE.RG.102	Relazione sulle indagini geognostiche per la progettazione esecutiva - campagna 2016
PE.DS.105	Planimetria generale con ubicazione delle indagini
PE.RG.103	Risultati indagini geognostiche pregresse
PE.RG.104	Stratigrafie sondaggi, risultati prove in sito e documentazione fotografica
PE.RG.105	Prove di laboratorio geotecnico
PE.RG.106	Prove di laboratorio ambientale

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito della progettazione esecutiva delle opere di presa del Rio Noce e Rio Rovare, e by pass del Rio Noce, la ditta Geotecnica Veneta di Olmo di Martellago (Ve) è stata incaricata, con contratto n. VR/1020/EF/es del 16.03.2016, dell''esecuzione di una campagna di indagini geognostiche, geotecniche, geofisiche ed ambientali.
Le indagini di cui sopra, finalizzate all'approfondimento del modello geologico, geotecnico e sismico dei terreni, sono state condotte nei mesi di marzo ed aprile 2016 secondo il programma predisposto dai progettisti. Non essendo in questa sede riusciti ad acquisire gli stendimenti geofisici ETR 2 ed ETR3, gli stessi sono stati eseguiti nel gennaio 2017.
Tutte le attività di cantiere sono state coordinate ed ubicate in conformità con gli elaborati planimetrici allegati al contratto ed al progetto.

Nell'area del Rio Noce l'indagine è consistita in:

- n° 6 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1N÷ S6N spinti sino a profondità variabili da 10 m a 40 m dal piano calpestio;
- n° 3 stendimenti di sismica attiva del tipo Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW1 ÷ MASW3) per l'individuazione dei sismo strati ed identificazione del modello di velocità delle onde di taglio nei primi 30 m da p.c. (Vs 30);
- n° 2 stendimenti di Tomografia Elettrica denominati ERT 1 ed ETR 2 posti rispettivamente lungo via Benedetto XV e Salita Superiore della Noce, lunghi 156 m e 125 m, al fine di ricostruire il modello elettro-stratigrafico dei terreni nelle aree interposte fra sondaggi.

Nell'area del rio Rovare l'indagine è consistita in:

- n° 3 sondaggi a carotaggio continuo (S1R ÷ S3R) approfonditi rispettivamente sino a 55 m, 0 m e 25 m dal piano calpestio;
- n° 1 stendimento di sismica attiva (MASW 4);
- n° 1 stendimento di sismica a rifrazione denominato ETR3, lungo circa 140 m e sviluppato lungo su Via Berno, al fine di ricostruire il modello sismo-stratigrafico dei terreni nelle aree interposte fra sondaggi.

Nel corso delle operazioni di sondaggio oltre alla descrizione dei terreni sono stati prelevati:

- n° 11 campioni indisturbati di terreno (CI) in corrispondenza del Rio Noce;
- n° 56 campioni rimaneggiati o spezzoni di carote lapidee (CR), di cui n° 49 sul Rio Noce e n° 7 sul Rio Rovare.

Nei fori di sondaggio sono inoltre state eseguite sistematiche prove in sito e in particolare:

- n° 29 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo Standard Penetration Test (SPT) per la determinazione del grado di addensamento e della resistenza dei materiali granulari, di cui n° 26 sul Rio Noce e n° 3 sul Rio Rovare;
- n° 12 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc nei terreni sciolti, di cui n° 11 sul Rio Noce e n° 1 sul Rio Noce;
- n° 6 prove di permeabilità tipo Lugeon negli orizzonti litoidi, di cui n° 5 sul Rio Noce e n° 1 sul Rio Rovare.

Per la misura del livello della falda freatica i fori dei sondaggi S1N, S6N ed S3R sono stati strumentati con piezometri a tubo aperto da 2”, mentre i fori dei sondaggio S2N, S3N S4N ed S5N sono stati strumentati con uno o due piezometri del tipo Casagrande posti a profondità diversa. I fori di sondaggio non strumentati sono stati sigillati con miscela cemento-bentonite.
Tutte le terebrazioni geognostiche sono state precedute da opportune prospezioni geofisiche con metodologia continua e non distruttiva del tipo Geo Radar, con apparecchiatura munita di antenna a diversa frequenza, per individuare la presenza di eventuali sottoservizi.

Con esclusivo riferimento al Rio Noce in calce al presente elaborato sono riportati i seguenti documenti:

1. RISULTATI PROVE IN SITO
2. RISULTATI MASW

I risultati delle stratigrafie, prove in sito, prove di laboratorio geotecnico ed ambientale costituiscono elaborati a parte allegati al progetto.

2. METODOLOGIA DI INDAGINE

2.1 Sondaggi geognostico geotecnici, prove in situ e di laboratorio (S)

I sondaggi geognostico - geotecnici sono stati eseguiti con la tecnica della rotazione con carotaggio integrale a secco del terreno, secondo le modalità previste dalle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" AGI (giugno 1977). Le percentuali di recupero, come si evince dalle stratigrafie e dalla documentazione fotografica, sono sempre risultate superiori all'85%.
Per le operazioni di carotaggio sono state adoperate due perforatrici a testa idraulica, di cui una autocarrata del tipo Comacchio, modello MC-T 800, ed una cingolata tipo Puntel modello Px-600, aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

- Velocità di rotazione variabile fra 0 e 600 giri/min.;
- Coppia massima 600 ÷ 800 kgm;
- Corsa continua di 4,5 m;
- Spinta e tiro di 4500÷6000 kgw;
- Morsa idraulica per rivestimenti e/o aste;
- Pompa in grado d raggiungere pressioni effettive di 120 bar;
- Circuito supplementare dalla pompa per il rabbocco del fluido a testa foro.

La perforazione è stata eseguita a secco, senza fluidi di perforazione, con carotieri azionati da aste del tipo semplice nei terreni sciolti, e tipo doppio (modello T2 e T6S) in presenza di livelli litoidi, mantenendo un diametro ϕ 101 mm. Per l'avanzamento si è fatto sempre uso di rivestimento provvisori metallici del foro aventi diametro decrescente da ϕ 152 mm a 127 mm, infissi mediante l'uso di fluido in circolazione rappresentato da acqua pulita.

La stabilità del fondo foro è stata assicurata in ogni fase di lavorazione mantenendo il battente in colonna sempre prossimo a bocca foro, anche mediante rabbocchi progressivi, specie durante l'estrazione del carotiere e delle aste.

La tabella seguente riepiloga i sondaggi eseguiti in corrispondenza del Rio Noce con le relative profondità, una sintetica descrizione della stratigrafia ed il valore medio del parametro RQD misurato nei tratti in roccia.

Sondaggio	Progetto	Profondità (m da p.c.)	Litotipo	RQD (medio)
S1N	By pass del Rio Noce	40	Riporto/Ortovero/ Antola	70%
S2N		30	Riporto/Ortovero/ Antola	70%
S3N		25	Riporto/Flysch di Monte Antola	45%
S4N		30	Riporto/Argille di Ortovero	
S5N		20	Riporto/Flysch di Monte Antola	50%
S6N		10	Riporto/Flysch di Monte Antola	50%

Tabella 2.1 By pass del Noce. Campagna 2016

Le stratigrafie, a cui si rimanda per maggiori dettagli, sono state redatte da geologo di cantiere della ditta Geotecnica Veneta, sempre presente in cantiere, successivamente verificate e validate dai tecnici della progettista. Esse riportano la classificazione del terreno secondo le Raccomandazioni AGI (1977) di seguito riportata.

Nelle colonne stratigrafiche sono elencati i campioni geotecnici ed ambientali prelevati con le relative profondità, le prove in sito eseguite, i risultati dei rilievi piezometrici effettuati in corso d'opera, i risultati dei test effettuati con pocket penetrometer e torvaine sulle carote ed eventuali note del sondatore.

Definizione		Diametro dei grani (mm)	Criteri di identificazione
Blocchi		> 200	Visibili ad occhio nudo
Ciottoli		200 ÷ 60	
Ghiaia	Grossa	60 ÷ 20	
	Media	20 ÷ 6	
	Fine	6 ÷ 2	
Sabbia	Grossa	2 ÷ 0.6	
	Media	0.6 ÷ 0.2	
	Fine	0.2 ÷ 0.06	
Limo		0.06 ÷ 0.002	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo – poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto – si disgrega velocemente in acqua si essica velocemente – possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita
Argilla		< 0.002	I frammenti asciutti possono essere rotti, ma non polverizzati fra le dita – si disgrega in acqua lentamente – liscia al tatto – plastica – non dilatante – appiccica alle dita – asciuga lentamente – si ritira durante l'essicazione.
Terreno organico o vegetale			Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba			Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità.

Tabella 2.2 Descrizione e classificazione del terreno (AGI 1977)

Nella descrizione dei terreni si è provveduto ad elencare per primo il nome del costituente principale seguito dal costituente secondario nella forma:

- preceduto dalla congiunzione "con" se rappresenta una percentuale compresa fra il 25 ed il 50%;
- seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa fra il 10 ed il 25%;
- preceduto da "debolmente" e seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa fra il 5 ed il 10%.

La consistenza dei depositi coesivi e semicoesivi è stata riportata con riferimento alla tabella sottostante, misurando la resistenza al penetrometro tascabile (Pocket Penetrometer) ed allo scissometro tascabile (Torvane) sulla carota appena estratta e scortecciata. La frequenza applicata era di una prova ogni 20 ÷ 30 cm.

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (kPa)	Prove manuali
Privo di consistenza	< 25	Espelle acqua quando strizzato fra le dita
Poco consistente	25 ÷ 50	Si modella fra le dita con poco sforzo; si scava facilmente
Moderatamente consistente	50 ÷ 100	Si modella fra le dita con un certo sforzo. Offre una certa resistenza allo scavo
Consistente	100 ÷200	Non si modella fra le dita. E' difficile da scavare
Molto consistente	> 200	E' molto resistente fra le dita e si scava con molta difficoltà

Tabella 2.3 Consistenza dei terreni coesivi

Della frazione ghiaiosa e ciottolosa è stato specificato il grado di addensamento con riferimento alla Tabella 2.4, mentre si è espresso il grado di arrotondamento con riferimento alla Tabella 2.5.

Nspt	Valutazione dello stato di addensamento	Prove manuali
0 ÷ 4	Sciolto	Si scava facilmente con un badile
4 ÷ 10	Poco addensato	Si scava abbastanza facilmente con badile e si penetra con una barra
10 ÷ 30	Moderatamente addensato	Difficile da scavare con badile, o da penetrare con barra
30 ÷ 50	Addensato	Molto difficile da penetrare; si scava con piccone
> 50	Molto addensato	Difficile da scavare con piccone

Tabella 2.4 Grado di addensamento dei materiali granulari

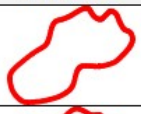
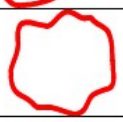
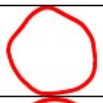
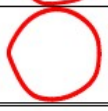
Forma	Definizione	Arrotondamento	Descrizione
	Angolare	0,00 ÷ 0,15	Nessuno smussamento
	Sub-angolare	0,15 ÷ 0,25	Mantiene forma origi-nale con evidenze di smussamento
	Sub-arrotondata	0,25 ÷ 0,40	Smussamento consi-derevole e riduzione dell'area di superficie del clasto
	Arrotondata	0,40 ÷ 0,60	Rimozione delle su-perfici originali, con qualche superficie piatta
	Ben arrotondata	0,60 ÷ 1,00	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate

Tabella 2.5 Arrotondamento dei clasti

Per la classificazione litologica si è fatto riferimento a criteri classificativi relativi ad alcune categorie di comune reperimento, sinteticamente riepilogati in tabella 2.6 e 2.7.

Granulometria clasti costituenti		Definizione			
		Clasti terrigeni		Clasti carbonatici	
Argilla		Argillite		Calcilutite	
Limo		Siltite		Calcsiltite	
sabbia	fine	arenaria	Fine	calcarenite	fine
	media		Media		media
	grossa		Grossolana		grossolana
ghiaia	fine	conglomerato (clasti arro-tondati) brec-cia (clasti angolari)	Fine	calcirudite	Fine
	media		Medio		Media
	grossa		Grossolana		grossolana

Tabella 2.6 Classificazione rocce sedimentarie terrigene carbonatiche

% $CaCO_3$	Definizione
0 - 5	Argilla – argillite
5 - 15	Argilla debolmente marnosa
15 - 25	Argilla marnosa
25 - 35	marna argillosa
35 - 65	Marna
65 - 75	marna calcarea
75 - 85	c. marnosa
85 - 95	c. debolmente marnosa
95 - 100	Calcilutite
Note: è opportuno specificare il grado di cementazione che, spesso, è funzione della % di $CaCO_3$, anche se non necessariamente. Il contenuto di $CaCO_3$ può essere stimato in base alla effervescenza dell'acido cloridrico diluito al 5%.	

Tabella 2.7 Classificazione depositi sedimentari terrigeni, carbonatici e termini di transizione

Le osservazioni relative ai materiali lapidei sono integrate dalla rilevazione dell'indice RQD (Rock Quality Designation) relativo alla qualità dell'ammasso roccioso e definito come:

$$RQD = \frac{\Sigma l_i}{Lf}$$

Dove li sono le singole lunghezze dei pezzi di carota maggiori di 10 cm, (recupero in carotaggio corretto), ed Lf la lunghezza della battuta o comunque del tratto di riferimento (normalmente 1 metro).

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in PVC, munite di scomparti divisori e di coperchio, e fotografate in formato digitale al termine dei lavori. In tutte le immagini al bordo della cassetta è visibile la carta dei colori di riferimento Kodak (color separation guides).

Al completamento delle attività le cassette sono state stoccate, d'intesa con l'amministrazione appaltante, nel cortile della scuola Delia Repetto, in Salita Superiore della Noce, a disposizione per eventuali verifiche, sopralluoghi o prelievo di campioni.

Nel corso dei sondaggi sul Rio Noce e nell'attraversamento di materiali sciolti sono state eseguite sistematiche prove di resistenza in foro tipo Standard Penetration Test (SPT), per un totale di n° 26 prove.
Le prove sono state condotte misurando la resistenza alla penetrazione di un campionatore a pareti grosse infisso a percussione secondo le modalità contenute nella normativa ASTM n. D1586/68: "Standard Penetration Test and Split – Barrel sampling of Soil", e compresa nella "Raccomandazione" ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1976).
Il dispositivo di percussione utilizzato è costituito da una testa di battuta in acciaio avvitata sulle aste d'infissione del diametro esterno di 50 mm (peso 7,0 ± 0,5 kg/m), da un maglio d'acciaio da 63,5 kg (± 0,5 kg) e da un dispositivo a sganciamento automatico del maglio tale da assicurare una corsa a caduta libera di 0,76 m (0,02 m).

Nel corso dei sondaggi in corrispondenza dell'attraversamento di materiali coesivi sono stati prelevati n° 11 campioni indisturbati. Data la marcata consistenza dei terreni è stato impiegato un campionatore a pareti sottili azionato a pressione tipo Shelby. Ciò ha permesso il prelievo, in base alla classificazione proposta dalle Raccomandazioni AGI, di campioni di classe Q4 - Q.5 con possibilità di determinare tutte le caratteristiche dei terreni, comprese quelle di resistenza e deformabilità.
Le fustelle di campionamento, in acciaio inox del diametro 88.9 mm e 101 mm, sono state sigillate su entrambi i lati con uno strato di paraffina fusa, e successivamente chiuse ermeticamente con coperchi rigidi e nastro adesivo. Ciascuna fustella è stata contraddistinta con cartellino adesivo indelebile riportante nominativo della Committente e della località, numero del sondaggio, progressiva del campione, profondità

iniziale e finale del prelievo. I campioni sono stati quindi inviati al laboratorio geotecnico della stessa ditta Geotecnica Veneta, provvisto di autorizzazione ministeriale ed incaricato delle prove, unitamente ad una tabella indicante caso per caso le prove richieste.

Si sono inoltre prelevati i campioni rimaneggiati di terreno in corrispondenza delle prove SPT per l'esecuzione di prove di classificazione, e campioni semidisturbati (spezzoni di carote litoidi) per prove di caratterizzazione e classificazione, per un totale di 49 campioni.

La determinazione del coefficiente di permeabilità, che presenta peraltro sempre difficoltà ed incertezze, salvo nei casi di terreni omogenei ed isotropi con condizioni al contorno perfettamente note, è stata condotta in sito mediante l'esecuzione di prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile nei materiali sciolti, e prove Lugeon nei materiali litoidi. Complessivamente sono state eseguite 11 prove Lefranc e 5 Lugeon.

Le prove Lefranc sono state effettuate secondo le modalità previste dalle Raccomandazioni AGI (1977) dopo una accurata pulizia del fondo foro alla quota di prova, ed il sollevamento delle tubazioni di rivestimento di un'altezza nota, al fine di formare una tasca drenante. Successivamente, come schematizzato in figura seguente, avviene un riempimento con acqua pulita del foro per un'altezza nota misurando la velocità di abbassamento del livello idrico in foro (prova in abbassamento).

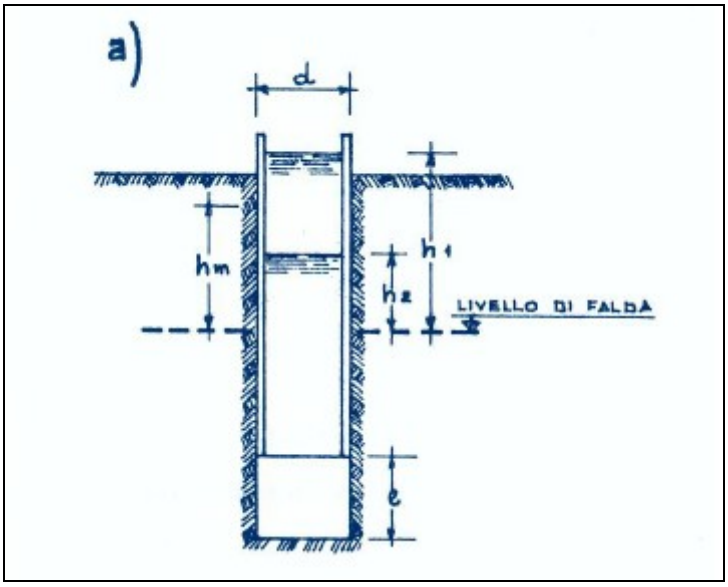


Figura 2.1 Schema prova Lefranc

La tabella seguente riepiloga gli esiti delle prove Lefranc indicando la tipologia di terreni nei quali le prove stesse sono state eseguite. Due prove (eseguite su materiale di riporto) non avendo dato apprezzabili abbassamenti del livello idrico nel pozzo non sono state interpretate.

Sondaggio	Prova	Tratto (m)	Permeabilita' m/s	Litologia
S1N	Lefranc	1,0 - 1,5	2,4 x 10-8	Riporto
S1N	Lefranc	11,0 - 11,5	4,2 x 10-10	Argille Ortovero
S2N	Lefranc	1,0 - 1,5	4,1 x 10-5	Riporto
S2N	Lefranc	11,5-12,0	1,1 x 10-6	Colluvioni
S3N	Lefranc	1,0-1,6	4,6 x 10-5	Riporto
S4N	Lefranc	1,5-2,0	6,9 x 10-9	Argille Ortovero
S4N	Lefranc	10,2-10,7	1,4 x 10-9	Argille Ortovero
S6N	Lefranc	1,7-2,2	1,7 x 10-5	Riporto

Figura 2.2 Prove Lefranc

Le prove Lugeon, condotte per la stima della permeabilità e conseguentemente del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, sono state eseguite immettendo acqua in pressione nel foro di sondaggio dopo aver isolato un tratto di foro da testare.
Al fine di evitare un possibile ed incontrollato aggiramento del packer queste prove sono state sistematicamente effettuate in avanzamento, interrompendo la trivellazione

ed introducendo una tubazione di immissione. E' stato quindi impiegato un solo otturatore misurando la pressione di iniezione (con un manometro posto in testa alla tubazione di immissione) e la portata immessa (con contatori a mulinello di diverse sensibilità), solo dopo il raggiungimento delle condizioni di regime per 5 valori della pressione di iniezione.

I fori di sondaggio sono stati attrezzati con piezometri per il monitoraggio della falda nel tempo. In particolare:

- i fori dei sondaggi S1N, S6N ed S2R sono stati strumentati mediante installazione di piezometri a tubo aperto in PVC da 2".
- i fori dei sondaggi S2N, S3N S4N ed S5N sono stati attrezzati con una o due celle in ceramica porosa del tipo Casagrande poste a quote diverse e collegate alla superficie con una coppia di tubi in PVC del diametro ϕ 1/2".

Intorno ai tratti microfessurati (slot 0,25 mm) dei piezometri a tubo aperto ed intorno alle celle porose dei Casagrande è stato realizzato un prefiltro con ghiaino siliceo calibrato, provvedendo infine ad isolare i restanti tratti di foro mediante riempimento con bentonite granulare (Compactronic) per lo spessore minimo di un metro, seguita dall'iniezione di una miscela ternaria bentonitica.
Le teste di ciascun piezometro sono state protette con pozzetto in ghisa carrabile.
Al termine dell'installazione ciascuna cella di Casagrande, precedentemente saturata, è stata sottoposta a spurgo ed attivazione in contropressione per mezzo di iniezione prolungata di acqua chiara. I piezometri a tubo aperto sono stati spurgati ed attivati mediante emungimento energetico sino all'ottenimento di acqua chiara senza solidi in sospensione.
La tabella seguente riepiloga gli esiti delle misure sui piezometri posti in corrispondenza del Rio Noce.

Sondaggio	Piezometro tubo aperto (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)
S1N	17,72				
S2N		19	17,2	30	20
S3N		8	asciutto		
S4N		5,4	asciutto	15,8	13,7
S5N		6	asciutto	19,5	7,4
S6N	5,6				
Misure aprile 2016					
Sondaggio	Piezometro tubo aperto (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)	Posizione Casagrande cella 1 (m)	Misura cella 1 (m)
S1N	18,32				
S2N		19	18,85	30	20,03
S3N		8	aciutto		
S4N		5,4	5,02	15,8	5,06
S5N		6	asciutto	19,5	8,18
S6N	7,22				
Misure gennaio 2017					

Figura 2.3 Piezometri 2016. Misure effettuate ad aprile 2016 e gennaio 2017

Nel foro del sondaggio S1R alla raggiunta profondità di 28 m da p.c. è stata riscontrata una falda in pressione con livello statico misurato in corso d'opera di +1.10 m sul piano calpestio. Inizialmente è stato installato un piezometro della lunghezza di 24 m ma, al completamento dei lavori e al fine di evitare possibili infiltrazioni d'acqua sul piano stradale, il piezometro e il pozzetto sono stati sigillati e cementati impiegando una miscela cementizia.

Le quote di prelievo di tutti i campioni, delle prove in foro eseguite e della strumentazione installata con i relativi livelli piezometrici alla data delle indagini è stata riportata nelle apposite stratigrafiche di sondaggio.

2.2 Campionamenti ambientali dei terreni e delle acque di falda

Al fine di determinare la qualità ambientale dei terreni interessati dai lavori in accordo alle procedure di campionamento in fase di progettazione di cui all'Allegato 2 al

DM161/12 si è provveduto, nel corso dei sondaggi S1N, S2N, S4N, S6N, S1R ed S2R, a sezionare e prelevare dei campioni medi rappresentativi raccogliendo:

- un campione del primo metro (campione A tra 0.00÷1.00 m dal piano calpestio);
- un campione dalla quota di fondo scavo (campione C tra 5.40/17.00 ÷ 6.40/18.00 m);
- un campione intermedio tra i due (campione B).

Ciascun campione è stato ottenuto mescolando e quartando il terreno in modo tale da consentire la raccolta, di un unico campione medio rappresentativo dell'intervallo di quote individuate, secondo i criteri elaborati dal CNR-IRSA quaderno 64, volume 3 del gennaio 1985, separando se presente la frazione superiore ai 2 cm, i materiali estranei quali pezzi di vetro, ciottoli, rami, foglie ecc in grado di alterare i risultati analitici.

Più precisamente sono stati prelevati un totale di n° 16 campioni di terreno posti in doppio barattolo di vetro da 1 kg per ciascuno strato dello spessore massimo di un metro, di cui n° 12 sul Rio Noce e n° 4 sul Rio Rovare.

Ciascun campione prelevato, posto in due barattoli di vetro da 1 kg con tappo a tenuta ermetica è stato conservato in contenitori frigo a 4° di temperatura in modo da mantenere invariate le caratteristiche chimiche fisiche del campione.

I campioni sono stati portati, direttamente, dai tecnici preposti al sondaggio, al laboratorio Theolab S.p.A. di Volpiano (TO) accreditato ACCREDIA con n° 0094 e incaricato delle prove.

Sui campioni sono stati ricercati gli analiti previsti per la determinazione della qualità ambientale quali: pH, Residuo a 105°C, Antimonio, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cromo totale, Cromo VI, Selenio, Stagno, Nichel, Piombo, Mercurio, Rame, Vanadio, Tallio, Zinco, Idrocarburi <C12, Idrocarburi >C12, PCB, IPA, Solventi organici aromatici, Solventi clorurati, composti organo stannici, oltre al test di cessione ai sensi del DM 05/02/1998 integrato con i parametri previsti per l'ammissibilità in discarica ai sensi del DM 27/09/2010.

La tabella seguente riepiloga i campioni ambientali prelevati.

Sondaggio n.	Campione n.	Profondità dal p.c. m	Rapporto di prova tal quale n.	Rapporto di prova test di cessione n.
S1N	A	0.20-1.00	723418/16	723424/16
S1N	B	6.00-7.00	723419/16	723425/16
S1N	C	12.00-12.70	723420/16	723426/16
S2N	A	0.00-1.00	723421/16	723427/16
S2N	B	8.00-9.00	723422/16	723428/16
S2N	C	17.00-18.00	723423/16	723429/16
S4N	A	0.00-1.00	723404/16	723414/16
S4N	B	8.00-9.00	723405/16	723415/16
S4N	C	17.00-18.00	723406/16	723416/16
S6N	A	0.00-1.00	723401/16	723411/16
S6N	B	2.00-3.00	723402/16	723412/16
S6N	C	5.50-6.20	723403/16	723413/16
S1R	A	0.20-1.50	723407/16	723417/16
S2R	A	0.00-1.00	723398/16	723408/16
S2R	B	2.50-3.50	723399/16	723409/16
S2R	C	5.40-6.40	723400/16	723410/16

Tabella 2.8 campioni ambientali prelevati

Nei certificati analitici consegnati dal laboratorio Theolab S.p.A., allegati n° 723398-723423/16, n° 723408-723429/16, n° 723424-723429 del 20.05.16 i valori di concentrazione ottenuti dalle analisi chimiche sono stati confrontati con quelli riportati nella Tabella 1 Colonna A, dell'Allegato 5 al Titolo V, Parte IV del D.Lgs. n. 152/06.

Si è inoltre proceduto al campionamento delle acque di falda direttamente dai piezometri a tubo aperto installati (S1R ed S1N), dopo un prespurgo ed al riequilibrio del livello piezometrico, mediante pompa elettrica peristaltica con portate ridotte a circa

1 l/min (campionamento a basso flusso), una volta stabilizzatisi i valori di pH, ossigeno disciolto, conducibilità, temperatura e potenziale di ossido-riduzione (ORP), misurati in continuo durante tutte le fasi di campionamento, mediante sonda multiparametrica da campo YSI 556 MPS.
I campioni da sottoporre ad analisi dei composti inorganici sono stati filtrati ed acidificati in campo mediante sistema di filtraggio Millipore dotato di filtri da 0.45 μ con aggiunta di 0.5% in volume di acido nitrico al 65%, catalogati e conservati secondo metodologia CNR-IRSA alla temperatura di 4° C fino al momento delle analisi e per tutta la durata delle stesse al fine di consentire ulteriori controlli ed approfondimenti.
I campioni d'acqua prelevati nei piezometri S1N ed S1R sono stati sottoposti presso il laboratorio Theolab S.p.A. alle analisi relative a Metalli, Cianuri , Cloruri, Fluoruri, Nitrati, Nitriti, Solfati, Composti alogenati volatili, IPA, e confrontati nei certificati analitici allegati n° 720398/16 del 09.05.16 e n° 723836/16 del 23.05.16 con quelli riportati nella Tabella 2 dell'Allegato 5 al Titolo V, Parte IV del D.Lgs. n.
152/06.

2.3 Prove geotecniche di laboratorio

Sugli 11 campioni indisturbati (Q4-Q5) prelevati nel corso della campagna di indagini, sono state eseguite, presso il laboratorio della ditta Geotecnica Veneta e secondo il programma fornito dal progettista, le prove geotecniche di classificazione e caratterizzazione geotecnica e geomeccanica di terre e rocce. In particolare sono state eseguite le seguenti prove e determinazioni, come riportato nei certificati di prova allegati al progetto:

- esame visivo del campione, descrizione e classificazione geotecnica del terreno (AGI 1994) con misura della resistenza al penetrometro tascabile (Pocket Penetrometer) ed allo scissometro tascabile (Torvane);
- determinazione del contenuto naturale d'acqua (W%) espressa in percentuale mediante pesatura del campione al naturale e perdita in peso dopo essiccazione (UNI CEN ISO/TS 17892-1: 2005);
- determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine (□) (UNI CEN ISO/TS 17892-2);
- analisi granulometrica mediante setacciatura per via secca delle particelle superiori a 63 Micron (AGI 1994);

- analisi granulometrica per sedimentazione, (aerometria) riservata alle frazioni di terra con diametro delle particelle inferiori a 63 Micron, mediante procedimento per decantazione (AGI 1994);
- determinazione dei Limiti di consistenza o di Atterberg con il metodo del cono (UNI CEN ISO/TS 17892-12:2005);
- determinazione del peso specifica dei grani (Gs) con il metodo del picnometro (ASTM D854-92);
- prova di compressione ad espansione laterale libera ELL (ASTM D-2166-91) ;
- prova di consolidazione edometrica ad incrementi di carico controllati (AGI 1994);
- prova di Taglio Diretto in scatola di Casagrande TD (AGI 1994).

Su n° 42 dei n° 56 campioni rimaneggiati prelevati in corrispondenza delle prove SPT, o di orizzonti specificamente individuati, sono state eseguite le seguenti determinazioni:

- esame visivo del campione, descrizione e classificazione geotecnica del terreno (AGI 1994);
- analisi granulometrica mediante setacciatura per via secca delle particelle superiori a 63 Micron (AGI 1994);
- analisi granulometrica per sedimentazione, (aerometria) riservata alle frazioni di terra con diametro delle particelle inferiori a 63 Micron, mediante procedimento per decantazione (AGI 1994);
- determinazione dei Limiti di consistenza o di Atterberg con il metodo del cono (UNI CEN ISO/TS 17892-12:2005);

Inoltre n° 13 spezzoni di carota prelevati dai materiali litoidi sono stati sottoposti, presso il laboratorio geotecnico L.G.T. Laboratorio Geotecnico s.r.l. di Ruda (UD) a misure morfometriche, massa volumica con pesata idrostatica ed a prova di compressione uniassiale (Racc. ISRM 1979) i cui risultati sono riportati nella documentazione relativa alle prove di laboratorio.

3. INDAGINE GEOFISICA

3.1 Sismica attiva (MASW)

Il metodo di esplorazione geofisica utilizzato per la determinazione della categoria di suolo di fondazione è consistito, ai sensi delle NTC 2006, nella misurazione della velocità delle onde sismiche di compressione e taglio (Vp e Vs) dei vari strati del sottosuolo mediante acquisizione di un profilo sismico a rifrazione con tecnica Masw, con il quale si è calcolato il parametro Vs 30 (velocità sismica delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità).

La procedura Masw si basa sulla determinazione della velocità delle onde di superficie. Il profilo sismico viene eseguito disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni) posti ad intervallo costante collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente (sismica attiva) vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato dei segnali ricevuti dai sensori.

Le misure di campagna sono state condotte mediante l'esecuzione di n° 4 stendimenti con tecnica Masw, di cui uno sul Rio Rovare e n° 3 sul Rio Noce, utilizzando un sismografo digitale ECHO 12-24 2002 AMBROGEO caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi, filtro analogico Low Pass a 50 Hz. La lunghezza dei profili è stata di 33 m, con l'utilizzo di 24 geofoni con frequenza propria 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 2.0 m, acquisizione a 7651 Hz per 1 secondo. Come sorgente si è utilizzata una mazza battente da 10 kg con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione) ed energia utilizzata pari a un colpo di mazza per tiro secondo la seguente sequenza:

- Tiro n. 1 eseguito -2.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
- Tiro n. 2 eseguito -4.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
- Tiro n. 3 eseguito -6.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;

- Tiro n. 4 eseguito -8.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
-
- Tiro n. 5 eseguito -10.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi.

I risultati delle indagini Masw eseguite in corrispondenza del Rio Noce sono riportati in calce al testo.

3.2 Tomografia Elettrica (ERT)

L'evidenza di una spiccata variabilità laterale e verticale, e quindi l'esigenza di correlare con maggiore grado di affidabilità le informazioni puntuali fornite dai sondaggi, ed ancora l'impossibilità di posizionare la sonda in corrispondenza di viabilità molto strette con passaggio di mezzi d'emergenza (ambulanze) o ricchi di sottoservizi ha portato a prevedere l'impiego di un'indagine geofisica. In tale ambito la resistività elettrica è senza dubbio una delle proprietà fisiche più utilizzate per l'esplorazione geofisica del sottosuolo, grazie soprattutto all'elevato intervallo di valori che essa può assumere al variare della natura dei corpi investigati.
In tale contesto sono quindi state eseguite n° 2 tomografie sismiche ubicate:

- ERT 1 sul Rio Noce in corrispondenza di via Benedetto XV, lunghezza 156 m;
- ERT 2 sul Rio Noce in corrispondenza della Salita Superiore della Noce lunghezza 125 m;

Sul Rio Rovare la modesta profondità del substrato roccioso e la presenza di una sottile coltre di copertura ha consigliato l'adozione, per lo stendimento ERT 3, di uno stendimento di sismica a rifrazione disposto lungo via Berno della lunghezza di 140 m.

Le misure di campagna sono state eseguite dalla ditta Geodelda di Valle S Giorgio (Pd) realizzando, per gli stendimenti geoelettrici, uno stendimento con distanza interelettrodica di 3 m o 5 m raggiungendo una profondità massima di 36 m. Le acquisizioni sono state effettuate con georesistivimetro ABEM SAS 1000 con LUND Imagin System della ditta ABEM (S), strumento digitale per indagini di Resistività – IP & SP con dynamic range 140 dB con funzione multi elettrodo alimentato a 12 V.

In fase di acquisizione ed elaborazione sono stati individuati i seguenti elettrostrati

- Terreni superficiali limoso argillosi (riporto): valori di resistività tra 10 e 70 ohm*m.
- Terreni argillosi-marnosi compatti con resistività da 70 a 500 ohm*m con uno spessore medio di 4-8 m sino ad una profondità variabile tra 8-16 m p.c.
- Substrato calcare marnoso: valori di resistività tra 100 e 1000 ohm*m.

La figura 3.1 rappresenta graficamente i campi di resistività degli elettrostrati individuati, e le figure 3.2 e 3.3 i valori di resistività noti in letteratura per diversi terreni.

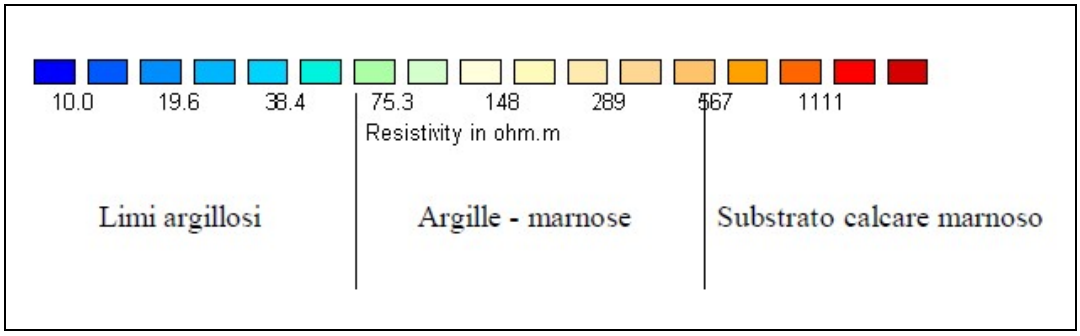


Figura 3.1 Campo di variabilità degli elettrostrati individuati

Al di la di quanto riportato schematicamente in figura 3.1, dai contenuti di figura 3.2 e 3.3 si evince che, pur con litologie diverse, non è possibile escludere un analogo range di valori di resistività in funzione di parametri quali il grado di alterazione o fratturazione, il contenuto d'acqua, la composizione mineralogica ecc.

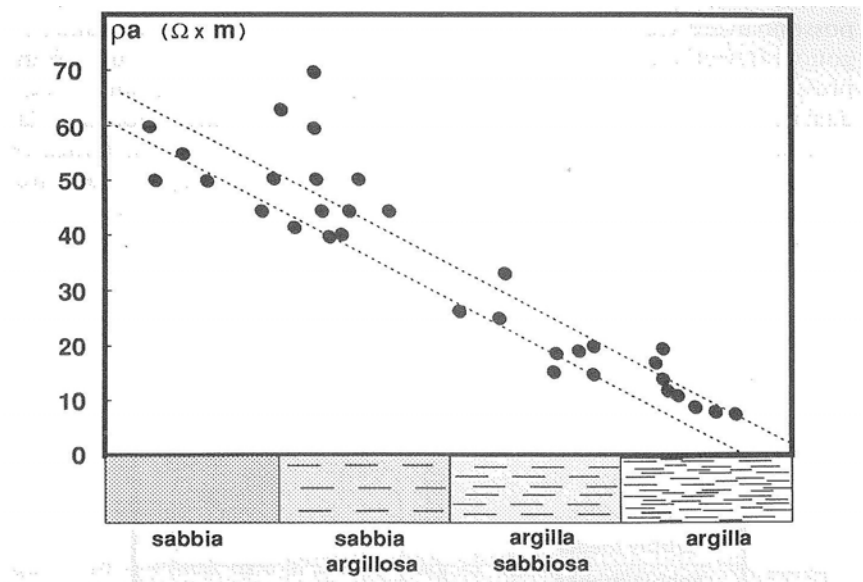


Figura 1.8 — Relazione sperimentale tra resistività elettrica di varie formazioni alluvionali recenti e le loro caratteristiche granulometriche (da Biella et al., 1979).

Tabella 3.1 Intervalli di resistività per diversi terreni

MATERIALE	INTERVALLO DI RESISTIVITÁ
Arenaria	$60 – 10^4$ Ωm
Argilla	1 – 120 Ωm
Sabbia	100 – 1000 Ωm
Limo	10 - 800 Ωm
Ghiaia	100-5000 Ωm
Calcare	100 – 5000 Ωm
Basalto	$10 – 10^5$ Ωm
Marmo	$100 – 10^8$ Ωm
Granito	$100 – 10^6$ Ωm

Tabella 3.2 Intervalli di resistività per diversi tipi di rocce

Ne consegue che l'indagine geofisica è da intendersi come una metodologia indiretta che va tarata sulla base di indagini dirette (sondaggi) la cui trasformazione in un modello stratigrafico può non essere esente da possibili imperfezioni ed approssimazioni. Alla luce di ciò è evidente che non esiste un'unica, certa ed indissolubile corrispondenza biunivoca tra i valori di resistività riscontrati nel sottosuolo e l'effettivo modello stratigrafico (principio di equivalenza e sovrapposizione secondo cui ad un model-

lo elettrostratigrafico può corrispondere più di un modello geologico) Solo tenendo conto delle caratteristiche geologiche, archeologiche, fisiche e chimiche del sito indagato, supportate da indagini dirette di taratura (trincee e/o sondaggi) si è in grado di apprezzare piccole differenze di resistività e realizzare un modello caratterizzato da un'elevata affidabilità.

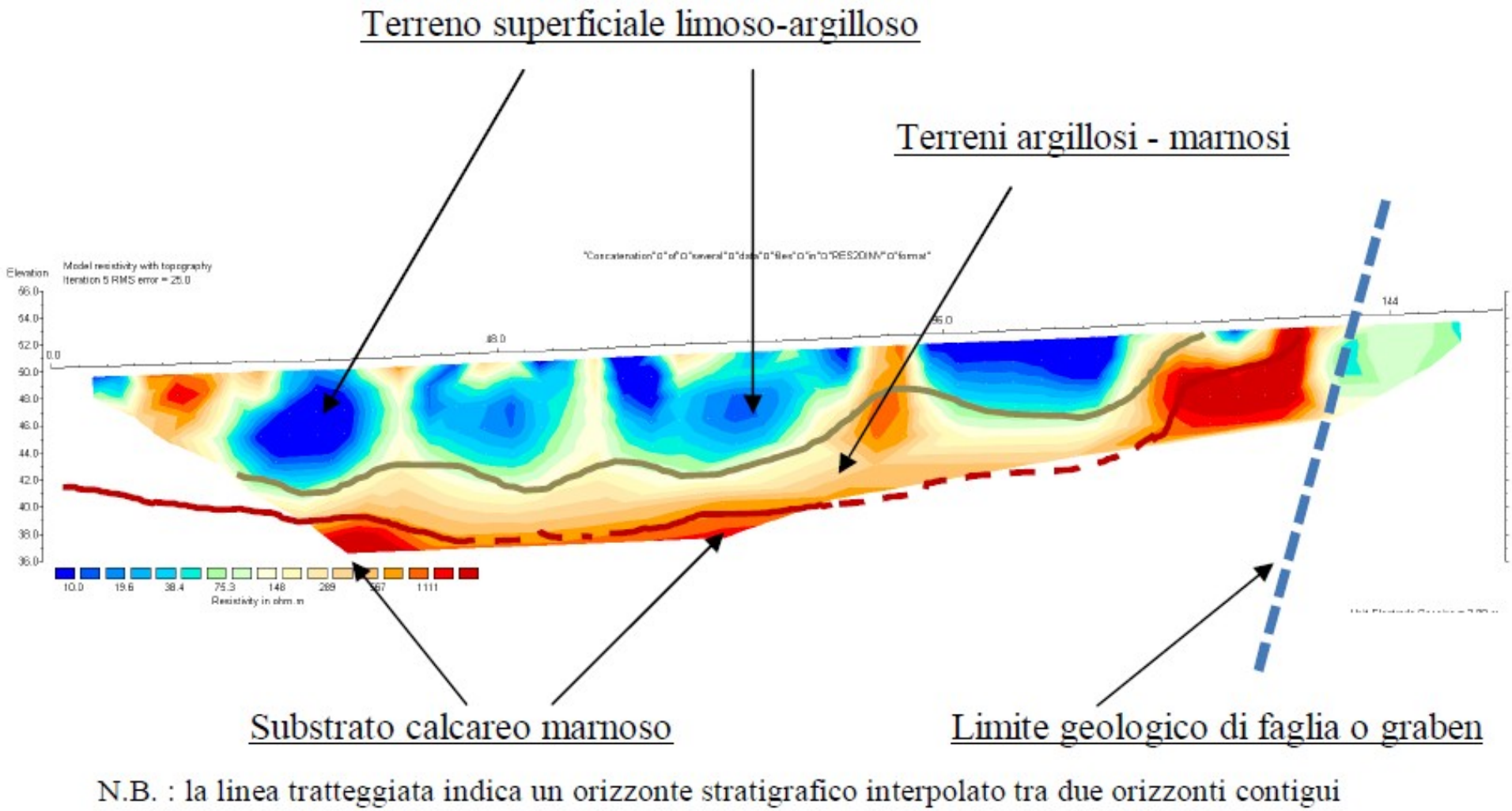
Di seguito si riportano alcune fotografie scattate in fase di acquisizione delle tomografie elettriche lungo Viale Benedetto XV .

Foto 3.1 Viale Benedetto XV

Foto 3.2 Posta strumentazione lungo viale Benedetto XV

Foto 3.3 Picchetti installati, collegati dai cavi elettrici, sul marciapiede di via Benetto XV

Le figure seguenti riportano le interpretazioni delle tomografie elettriche ETR1 ed ETR 2 eseguite in corrispondenza degli interventi progettuali sul Rio Noce.



N.B. : la linea tratteggiata indica un orizzonte stratigrafico interpolato tra due orizzonti contigui

Figura 3.2 Interpretazione ETR 1 lungo viale Benedetto XV

.

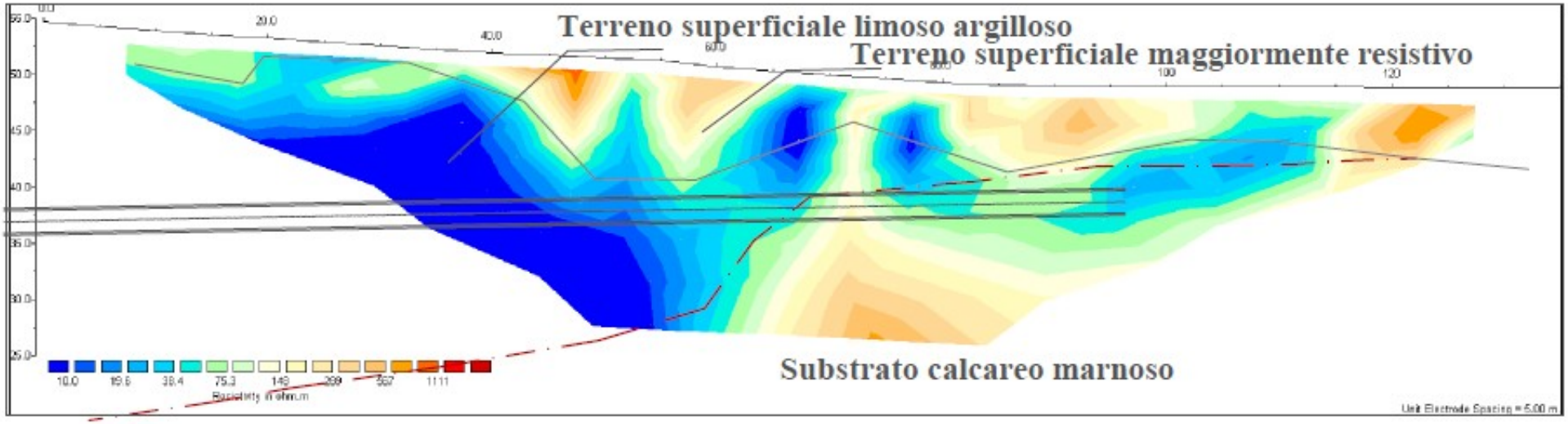


Figura 3.3 Interpretazione ETR 2 lungo Salita Superiore della Noce

.

RISULTATI MASW

MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

Interpretazione geofisica profilo MASW1

Su ognuna di tali acquisizioni è stata eseguita un'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh e l'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (fig. 1).

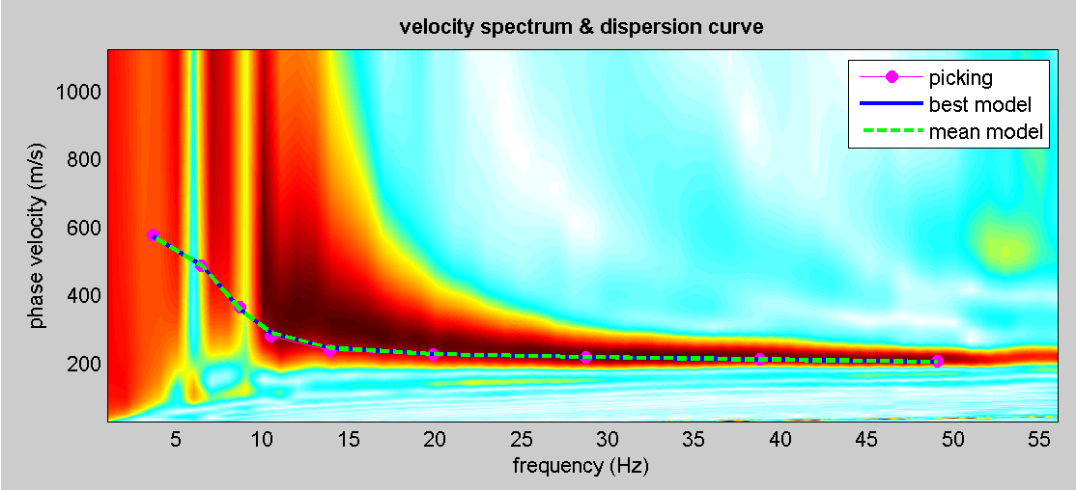


Figura 1: grafici ad isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza Masw1

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito.

Si riporta:

1) In Figura 2: il confronto tra la curva di dispersione sperimentale modello migliore (celeste) e modello medio (rosso),
2) In Figura 3: il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.

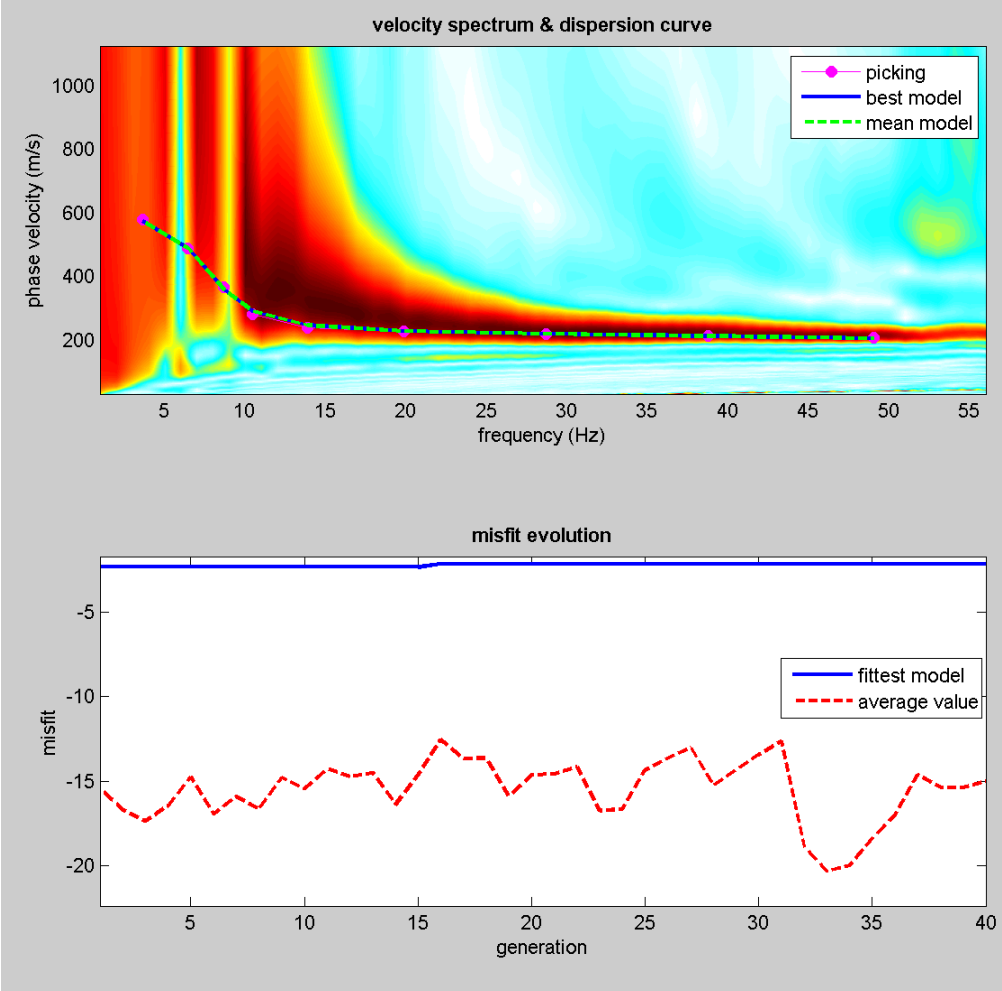


Figura 2: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

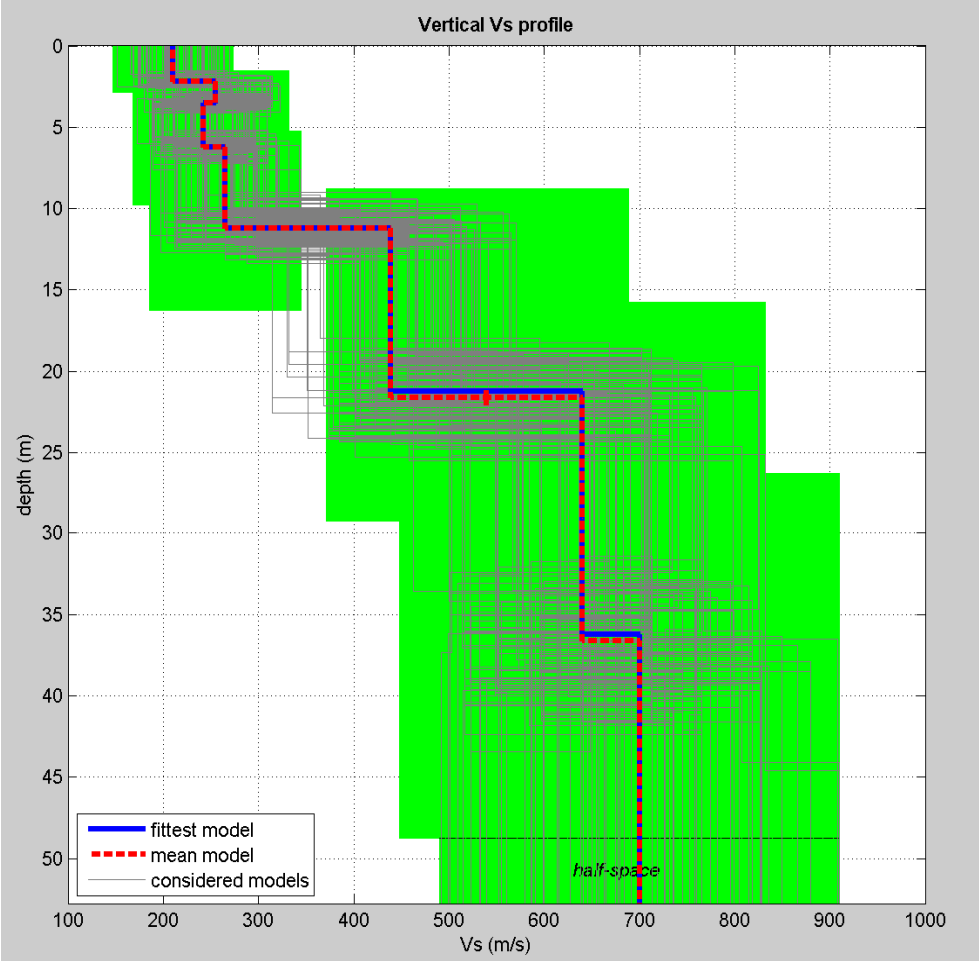


Figura 3: Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame - Masw1.

Il miglior fit tra i dati sperimentali e la curva teorica si ottiene per il modello dato in Tabella n° 2.

L'andamento delle Vs è illustrato in Figura 3.

Tabella n° 1: Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	438	210	2.2
2	537	255	1.3
3	510	242	2.7
4	547	265	5.0
5	932	439	10.4
6	1353	640	15.0
7	1319	700	Inf.

VS 30 = 364 m/s **<u>Suolo di tipo B</u>**

La dicitura “infinito” indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell’Università dell’Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l’intrappolamento delle onde sismiche e dunque l’amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

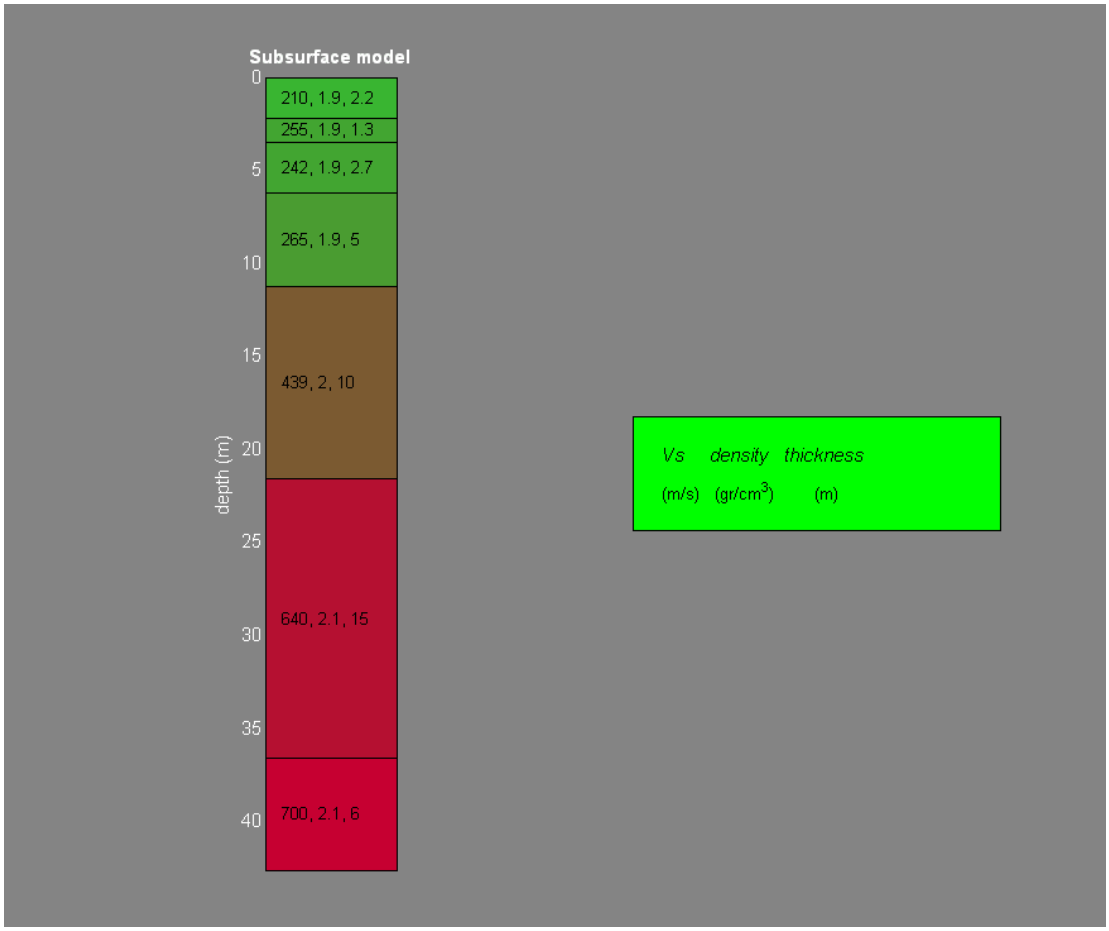


Figura 4: sismo stratigrafia dei terreni.

PARAMETRI DINAMICI "Moduli elastici"

VS (m/sec): 210, 255, 242, 265, 439, 640, 700

Spessori (m): 2.2, 1.3, 2.7, 5.0, 10.4, 15.0

Stima VP (m/sec): 438, 537, 510, 547, 932, 1353, 1319

Stima densità (gr/cm3): 1.85, 1.90, 1.89, 1.91, 2.04, 2.13, 2.12

Stima modulo di Poisson: 0.35, 0.35, 0.35, 0.35, 0.36, 0.36, 0.30

Stima modulo di taglio (MPa): 82, 124, 111, 134, 393, 871, 1039

Stima modulo di compressione (MPa): 247, 384, 344, 392, 1246, 2732, 2304

Stima modulo di Young (MPa): 221, 335, 300, 361, 1066, 2363, 2710

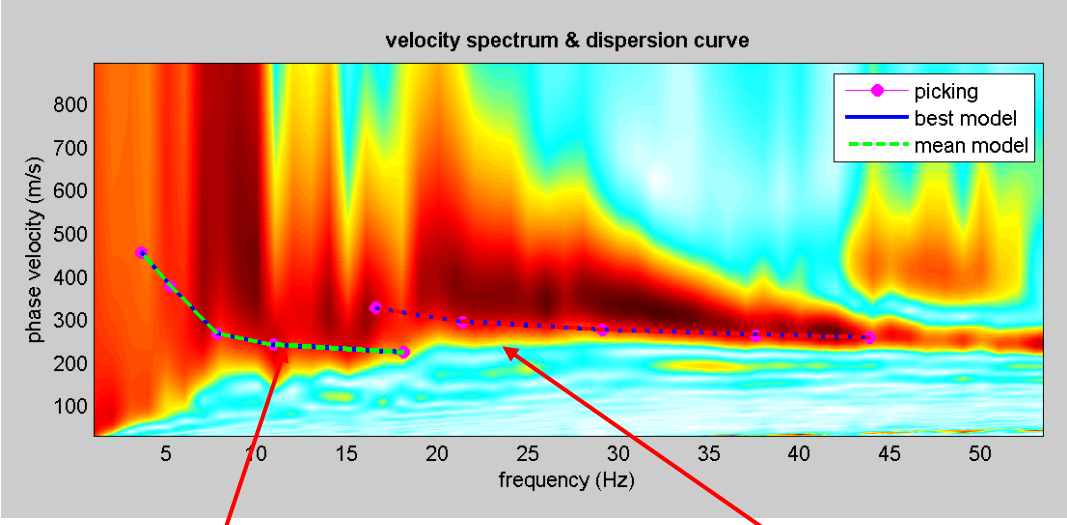
Stima modulo di Lamé (MPa): 192, 301, 270, 303, 984, 2152, 1612

4.2 Interpretazione geofisica profilo MASW2

Su ognuna di tali acquisizioni è stata eseguita un'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (fig. 5).



Modo fondamentale 2° Modo Fondamentale

Figura 5: Grafici ad Isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza Masw 2

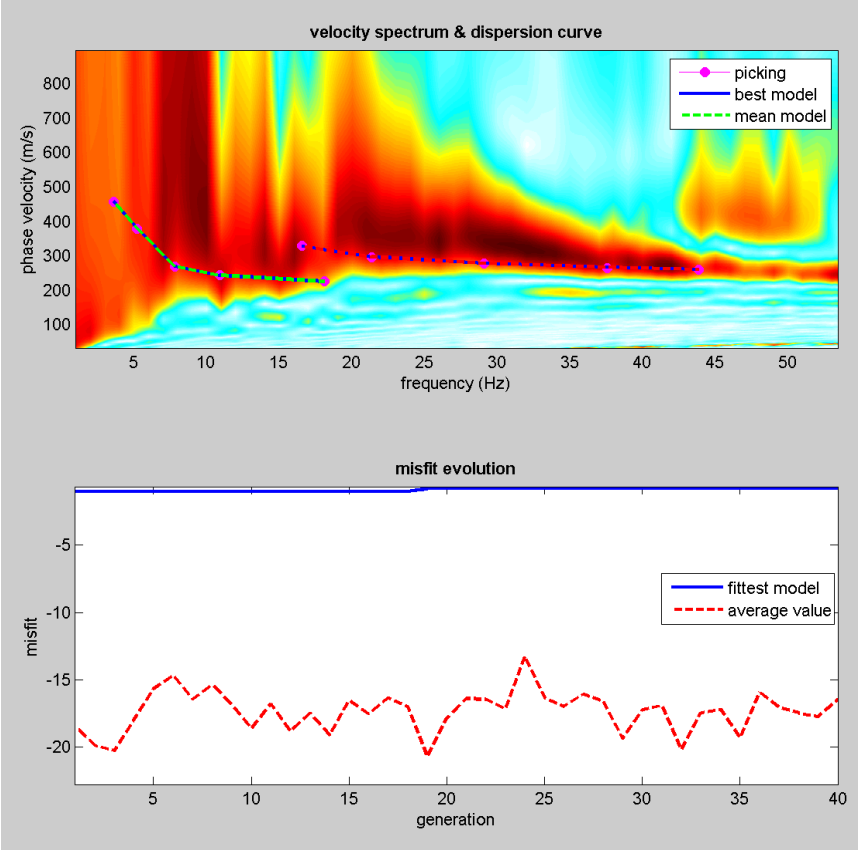


Figura 6: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

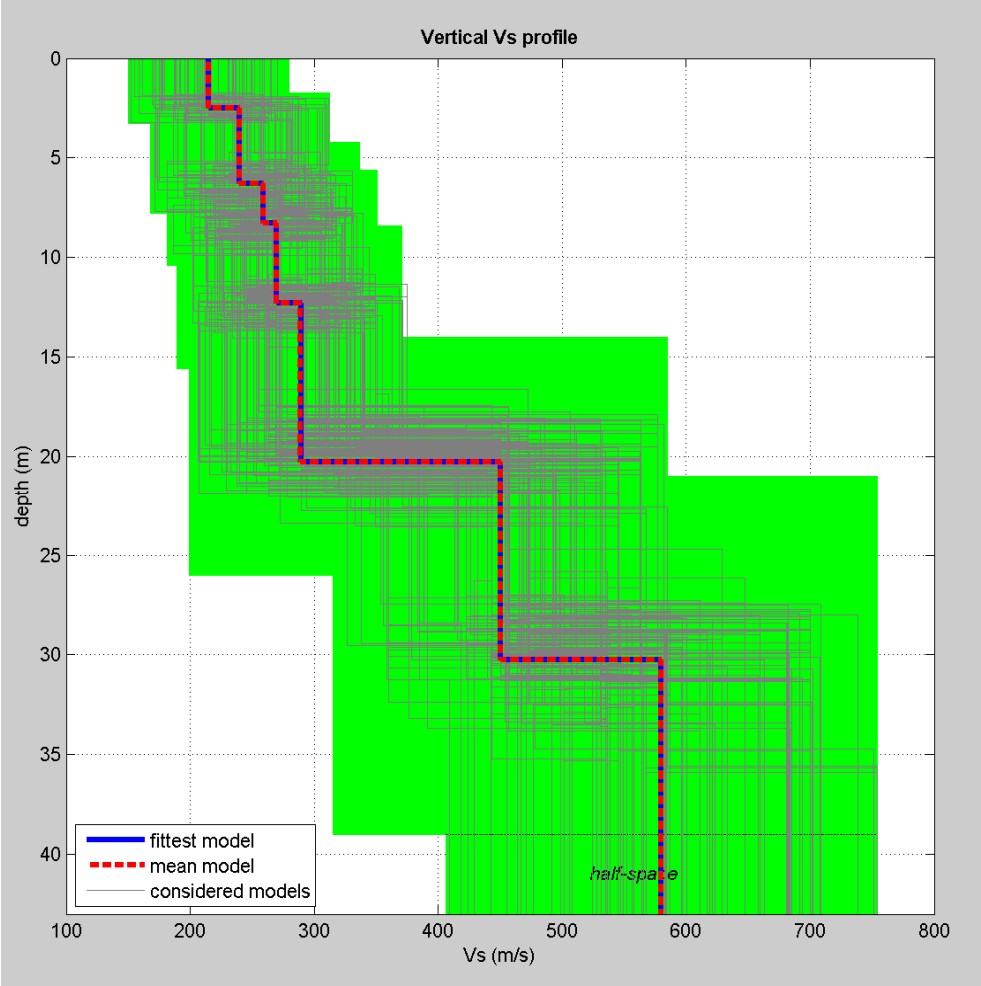


Figura 7: Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

Il miglior fit tra i dati sperimentali e la curva teorica si ottiene per il modello dato in Tabella n° 2.

L'andamento delle Vs è illustrato in Figura 8.

Tabella n° 2: Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	451	215	2.5
2	515	240	3.8
3	543	259	2.0
4	566	270	4.0
5	595	289	8.0
6	931	450	10.0
7	1094	580	Inf.

VS 30 = 302 m/s **<u>Suolo di tipo C</u>**

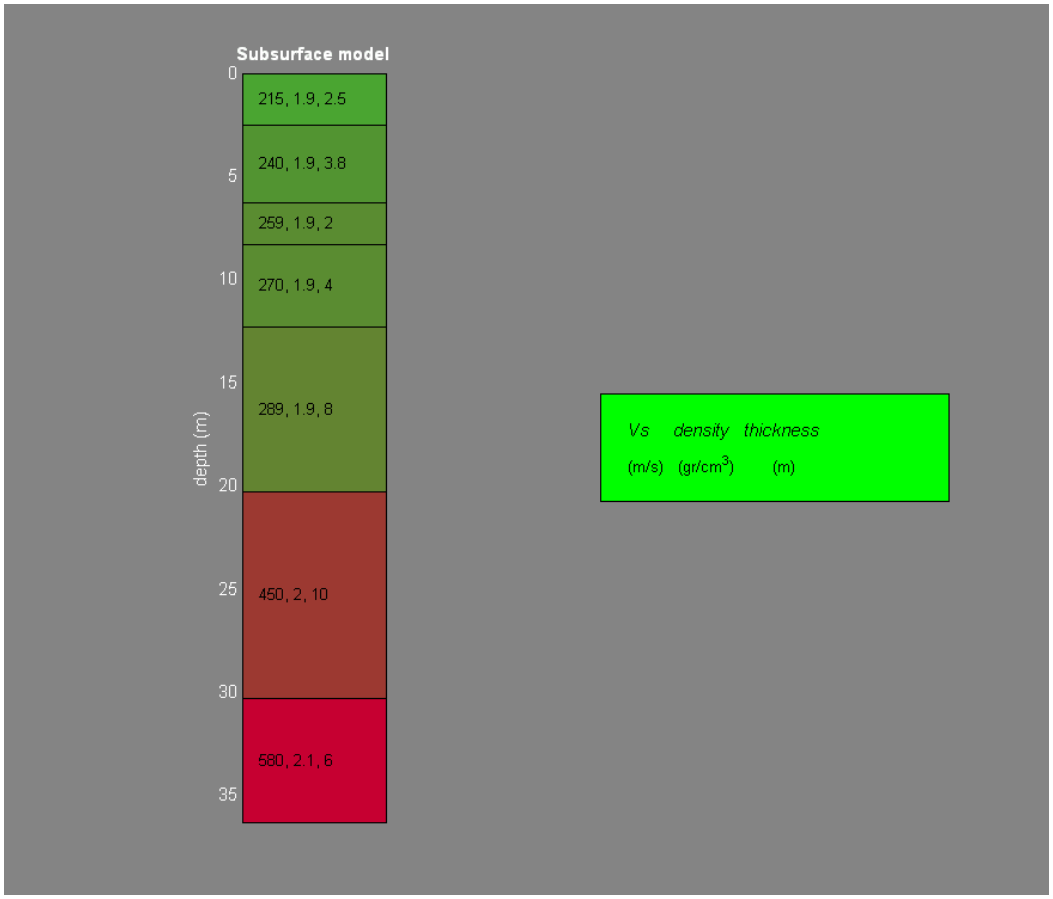


Figura 8: sismo stratigrafia dei terreni.

PARAMETRI DINAMICI "Moduli elastici"

VS (m/sec): 215, 240, 259, 270, 289, 450, 580

Spessori (m): 2.5, 3.8, 2.0, 4.0, 8.0, 10.0

Stima VP (m/sec): 451, 515, 543, 566, 595, 931, 1094

Stima densità (gr/cm3): 1.86, 1.89, 1.91, 1.92, 1.93, 2.04, 2.08

Stima modulo di Poisson: 0.35, 0.36, 0.35, 0.35, 0.35, 0.35, 0.30

Stima modulo di taglio (MPa): 86, 109, 128, 140, 161, 412, 698

Stima modulo di compressione (MPa): 264, 357, 392, 428, 468, 1215, 1553

Stima modulo di Young (MPa): 233, 297, 346, 378, 433, 1112, 1822

Stima modulo di Lamé (MPa): 207, 284, 306, 335, 361, 940, 1088

Interpretazione geofisica profilo MASW3

Su ognuna di tali acquisizioni è stata eseguita un'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh e l'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (fig. 9)

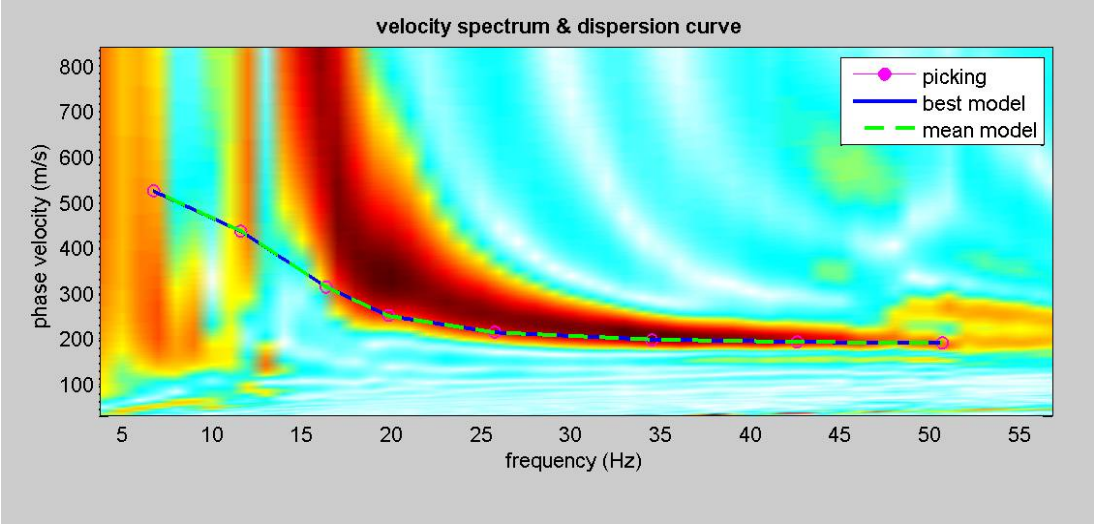


Figura 9 grafici ad isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza Masw3

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito.

Si riporta:

3) In Figura 10: il confronto tra la curva di dispersione sperimentale modello migliore (celeste) e modello medio (rosso),
4) In Figura 11: il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.

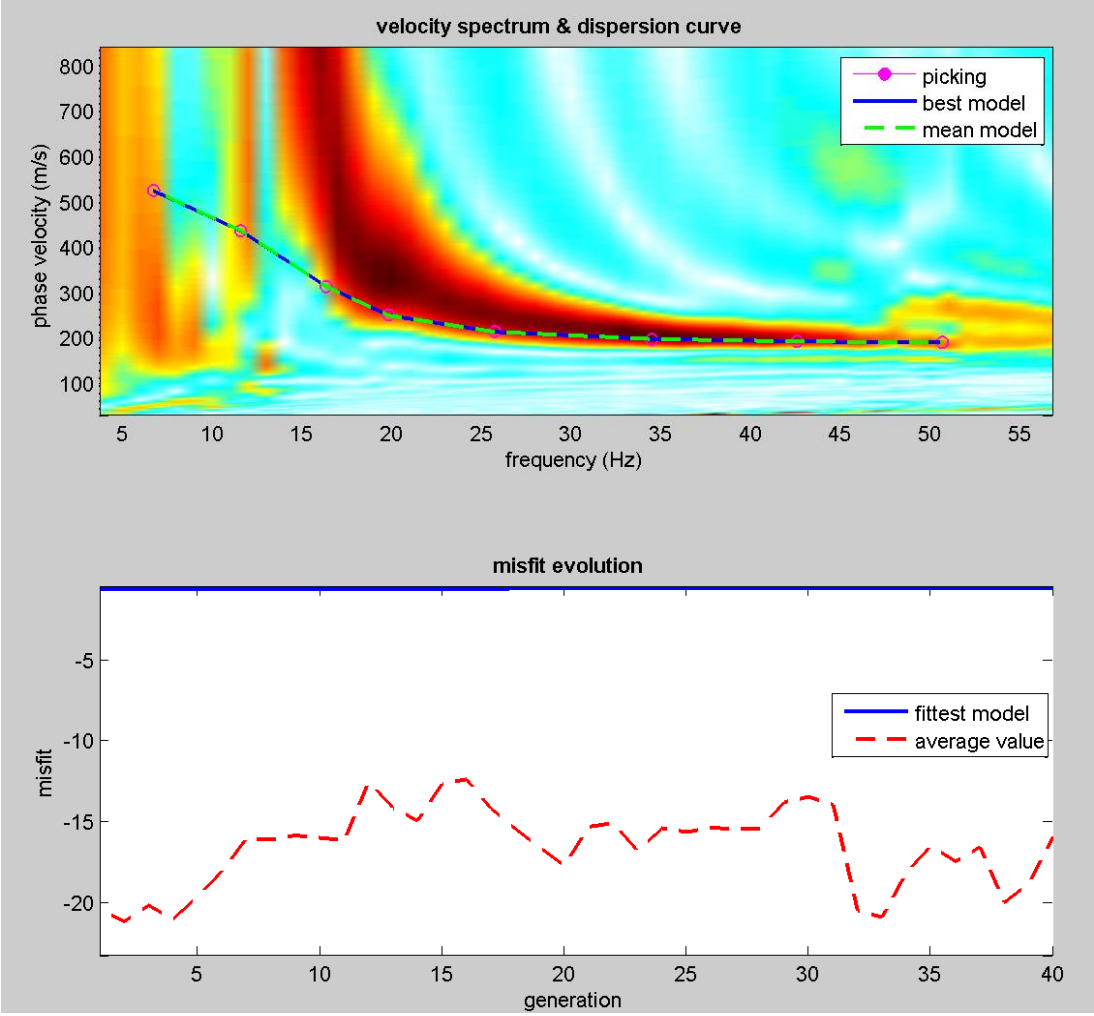


Figura 10: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

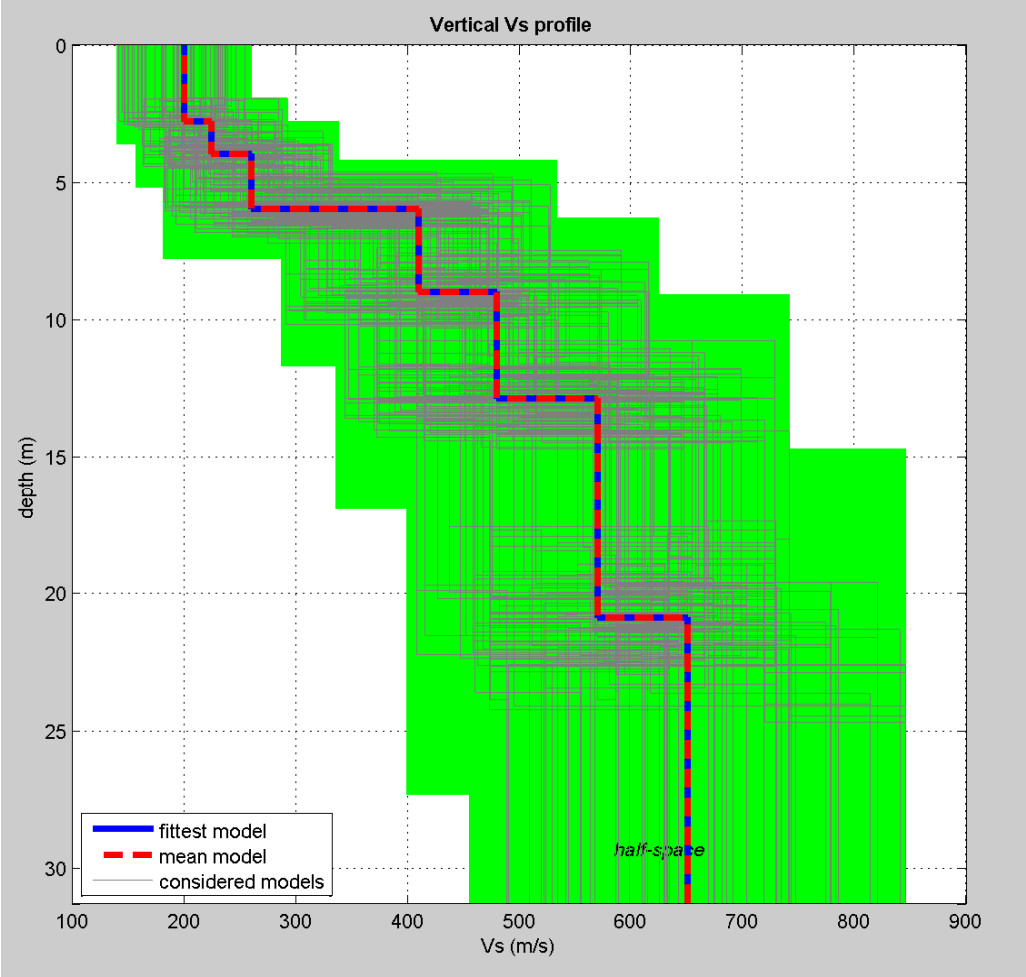


Figura 11: Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

Il miglior fit tra i dati sperimentali e la curva teorica si ottiene per il modello dato in Tabella n° 3.

L'andamento delle Vs è illustrato in Figura 12.

Tabella n° 3: Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	412	200	2.8
2	483	225	1.2
3	553	260	2.0
4	839	410	3.0
5	981	480	3.9
6	1243	570	8.0
7	1235	650	Inf.

VS 30 = 426 m/s **<u>Suolo di tipo B</u>**

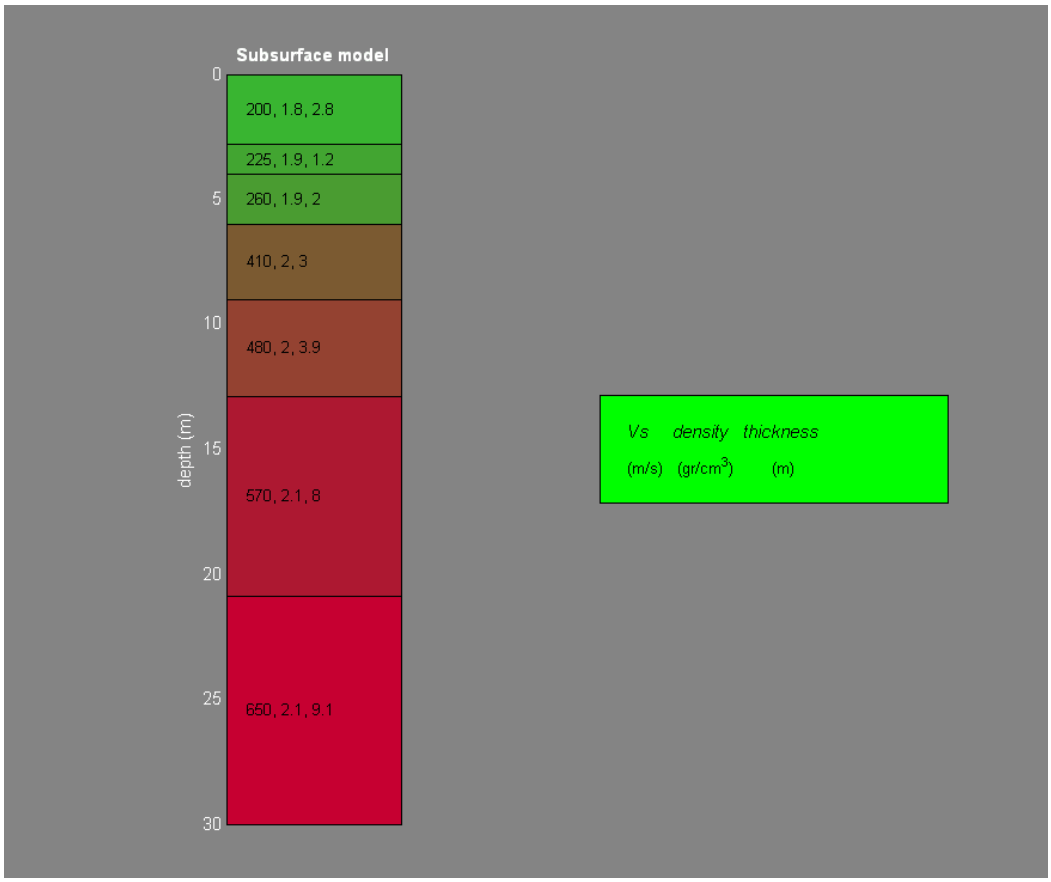


Figura 12: sismo stratigrafia dei terreni.

PARAMETRI DINAMICI "Moduli elastici"

VS (m/sec): 200, 225, 260, 410, 480, 570, 650

Spessori (m): 2.8, 1.2, 2.0, 3.0, 3.9, 8.0

Stima VP (m/sec): 412, 483, 553, 839, 981, 1243, 1235

Stima densità (gr/cm3): 1.84, 1.88, 1.91, 2.01, 2.05, 2.11, 2.11

Stima modulo di Poisson: 0.35, 0.36, 0.36, 0.34, 0.34, 0.37, 0.31

Stima modulo di taglio (MPa): 74, 95, 129, 338, 472, 684, 889

Stima modulo di compressione (MPa): 214, 311, 412, 965, 1343, 2342, 2025

Stima modulo di Young (MPa): 198, 259, 351, 908, 1268, 1871, 2327

Stima modulo di Lamé (MPa): 165, 248, 326, 740, 1028, 1886, 1432