

Variante S.S.1 Aurelia – Variante in Comune di Massa 1°Lotto (Canal Magro – Stazione).

PROGETTO DEFINITIVO

cod. F1397

| | | |
|--|--|---|
| PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI | MANDATARIA:  | MANDANTI:  POLITECNICA BUILDING FOR HUMANS  MATILDI+PARTNERS |
| IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i> | IL PROGETTISTA: GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE, PROGETTAZIONE STRADALE, GEOTECNICA ED OPERE STRUTTURALI: <i>Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723</i> | |
| IL GEOLOGO: <i>Geol. Pietro Accolti Gil – POLITECNICA</i> <i>Ordine Geologi Regione Toscana n° 728</i> | STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Arch. Paola Gabrielli – POLITECNICA</i> <i>ordine Architetti Provincia di Bologna n. 2921</i> | |
| IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723</i> | CANTIERIZZAZIONE E FASI ESECUTIVE: <i>Ing. Alessio Gori – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5969</i> | |
| VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Raffaele Franco Corso</i> | IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Alessandro Cecchelli – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Grosseto n.760</i> | |
| PROTOCOLLO: | DATA: | COLLABORATORI DI PROGETTO: <i>Ing. Massimo Palermo – POLITECNICA</i> <i>Ing. Mattia De Caro – POLITECNICA</i> <i>Ing. Giulio Melosi – POLITECNICA</i> <i>Geom. Franco Mariotti – POLITECNICA</i> |

02 – GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA

Indagini geognostiche e ambientali
Relazione indagini geofisiche

| | | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------|-----------------------------|--------------|------------|-----------|
| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | PROGR. ELAB. | REV. | SCALA: |
| PROGETTO | LIV. PROG. | N. PROG. | 0205_T00GE00GEORE04A | 0205 | | |
| DPFI10 | D | 1901 | CODICE ELAB. T00GE00GEORE04 | | A | |
| D | | | | | | |
| C | | | | | | |
| B | | | | | | |
| A | EMISSIONE | 06/2020 | TECNOIN | TECNOIN | TECNOIN | A.RENSO |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | SOCIETA' | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | INDAGINI M.A.S.W. | 3 |
| 2.1 | DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI | 3 |
| 2.2 | DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA | 6 |
| 2.3 | DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE | 6 |
| 2.4 | RISULTANZE DELLE INDAGINI MASW | 7 |
| 2.4.1 | INDAGINE MASW MASW_01 | 8 |

1 PREMESSA

Il presente elaborato viene redatto per le indagini eseguite per il Progetto Definitivo della "*Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione)*".

Le indagini ricadono nel comune di Massa (MS).

Nell'ambito dei lavori summenzionati, è stata eseguita la seguente prova:

- n.1 prospezione sismica MASW.

L'indagine in oggetto è stata effettuata nel mese di dicembre 2019.

2 INDAGINI M.A.S.W.

2.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), rappresenta una tipologia d'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali, fatta in corrispondenza di uno stendimento di sensori multipli (geofoni), disposti sulla superficie libera del terreno. Quando si energizza in un punto della sua superficie libera del terreno, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie, hanno origine onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte. Se la sorgente è parallela alla superficie libera, si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW di seguito descritto, si usano le onde di superficiali di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde di volume, alle riflessioni o alle rifratte. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, oltre alle onde superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di dette onde prevalente sul contributo delle onde di volume. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che, allontanandosi dalla sorgente, le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

In sintesi, il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo d'indagine MASW, descritto nella presente nota, è del tipo attivo ovvero le onde superficiali sono indotte o generate artificialmente mediante l'impatto di un grave sulla superficie del suolo e misurate ad uno stendimento lineare di sensori.

Un tipico schema di acquisizione di indagine MASW è mostrato in Fig. 2.1.

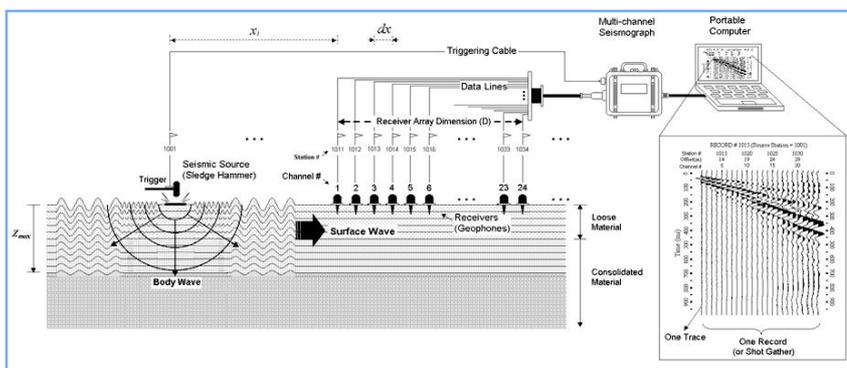


Fig. 2.1 - Esempio configurazione sorgente-ricevitori per l'esecuzione di un rilievo MASW.

Questo consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase (ovvero una curva di dispersione) sperimentale apparente, generalmente nel range di frequenze compreso tra 4.5÷100 Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni indirette sulla parte del sottosuolo compresa (di norma) entro i primi 30÷50 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidità sismica dei litotipi costituenti il sottosuolo e della lunghezza dell'allineamento di sensori.

Il processo che viene usato per produrre profili di velocità delle onde S a partire dalle onde di Rayleigh, con la tecnica MASW, richiede tre passi descritti di seguito:

1. Dopo aver visionato i file d'interesse ed impostate le caratteristiche geometriche del profilo, in primo luogo viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, mediante un processo di elaborazione che consente di estrarre la suddetta curva dallo spettro nel dominio frequenza–numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo di moto misurato originariamente nel dominio spazio-tempo.
2. Successivamente, viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente numerica mediante modellazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde P ed S, intervallo dei valori del coefficiente di Poisson e densità dei terreni.
3. La terza fase consiste, infine, nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio, modificando opportunamente lo spessore degli orizzonti litologici e la densità fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'analisi multicanale delle onde di superficie può essere applicata in due differenti modi: attiva o passiva. La differenza tra le due tecniche, oltre al fatto che nella passiva non si prevedono energizzazioni artificiali, è essenzialmente legata alla possibilità di avere sorgenti naturali che possono fornire l'energia sufficiente per ottenere curve di dispersioni di buona qualità. Il sistema d'indagine attiva consiste nell'usare una sorgente sismica ed una serie di ricevitori posti su una linea retta.

L'algoritmo di inversione della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh, utilizzato per i dati acquisiti, è quello proposto da Xia et al., 1999, caratterizzato da un metodo iterativo basato sul gradiente. Tale metodo utilizza un modello di sottosuolo iniziale stratificato, caratterizzato dai seguenti parametri: velocità delle onde S (V_S), velocità delle onde P (V_P), densità (ρ), spessore (h) e coefficiente di Poisson (Fig. 2.2). Con questa serie di parametri, l'algoritmo di inversione cerca una soluzione in modo iterativo. Il modello iniziale di velocità delle onde S (V_S) è approssimato dalla misura della curva di dispersione mentre il modello iniziale di velocità delle onde P (V_P) è individuato utilizzando V_S e il coefficiente di Poisson.

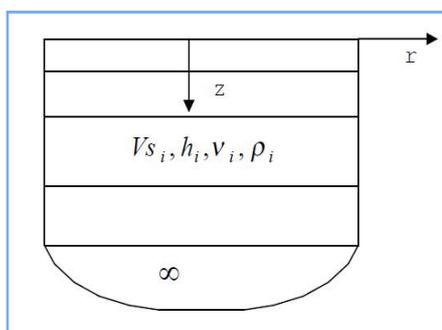


Fig. 2.2 - Modello di semispazio semplificato.

Viene poi definita una funzione obiettivo ed una matrice di pesi e, successivamente, minimizzata la funzione obiettivo con il metodo di Levenberg – Marquardt (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). Si individua così il nuovo valore di V_S (Xia et al., 1999). L'inversione della curva di dispersione permette di ricavare un profilo di velocità delle onde S, che è posto in corrispondenza della metà della stesa dei geofoni.

L'elaborazione dei dati è avvenuta avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- IXSeg2Segy: software per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- SURFSEIS 3.0 sviluppato dal Kansas Geological Survey – University of Kansas.

2.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per la prova MASW:

- Geofoni, 24 velocimetri a componente verticale, con frequenza pari a 4,5 Hz della **OYO GEOSPACE**.
- Trigger, costituito da un dispositivo, collegato al sistema di acquisizione, che permette di avviare la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Il sistema di "innesco" è stato realizzato mediante un geofono di superficie posizionato in prossimità della sorgente e attivato dall'impatto, nell'istante in cui la massa battente colpisce la sorgente.
- Sistema di energizzazione, costituito da una sorgente impattiva. Per la generazione delle onde di compressione è stato utilizzato un martello da 10 kg e un piattello metallico posto al suolo.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE X610S** a 24 bit, le cui caratteristiche sono state riportate in precedenza.

2.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito della commessa in oggetto, come accennato in premessa, è stata eseguita n.1 indagine MASW la cui ubicazione è riportata nella tavola allegata.

Per l'esecuzione dei profili MASW sono posizionati i geofoni sul terreno. Essi sono collegati con appositi morsetti al cavo multipolare che viene connesso al sismografo. Ultimata l'installazione sono effettuati alcuni tiri di prova per tarare i parametri di acquisizione del sismografo stesso.

Effettuate le operazioni di verifica e taratura della strumentazione, si è proceduto all'acquisizione dei segnali su ciascun punto prestabilito, esternamente al profilo stesso, ed alla memorizzazione dei dati sia sulla memoria di massa del sismografo sia sul pen drive.

2.4 RISULTANZE DELLE INDAGINI MASW

Di seguito, sono riportate le risultanze della prospezione sismica MASW, riepilogate tramite i seguenti elaborati:

- Sismogramma originale, in cui sono riportate le tracce registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento.
- Diagramma della trasformata bidimensionale del campo d'onda (nel sistema velocità di fase - frequenza o f-k) con i massimi spettrali evidenziati.
- Diagramma di confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata a partire dal modello finale di V_S .
- Profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo V_S di primo tentativo con quello finale, risultante del processo di inversione dei dati.
- Tabella con i parametri calcolati (V_S , V_P , profondità e spessore dei sismostrati, modulo di Poisson e densità).

2.4.1 INDAGINE MASW MASW_01

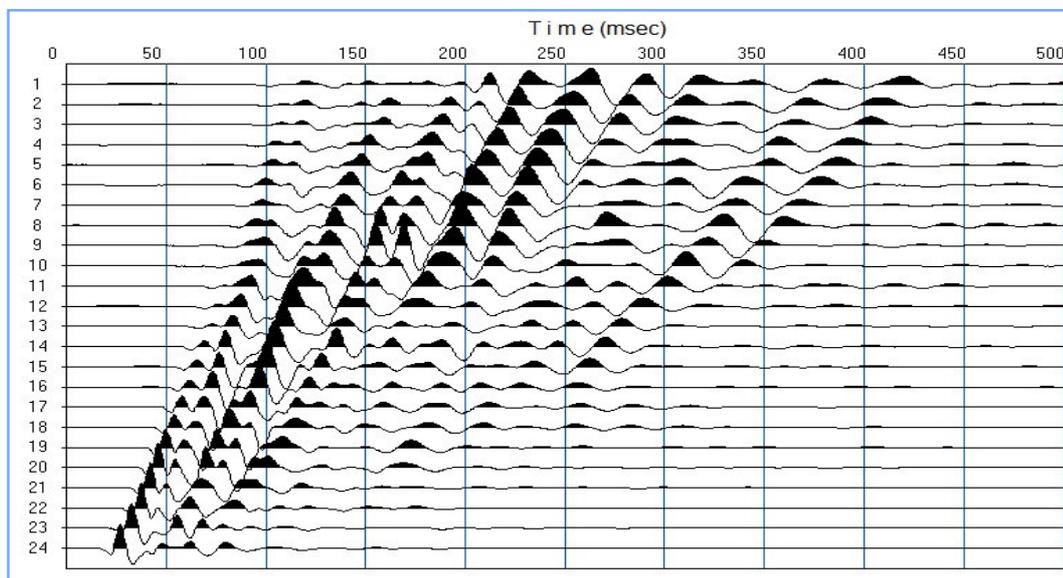


Fig. 2.3 - Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01. Sismogramma relativo alla prova

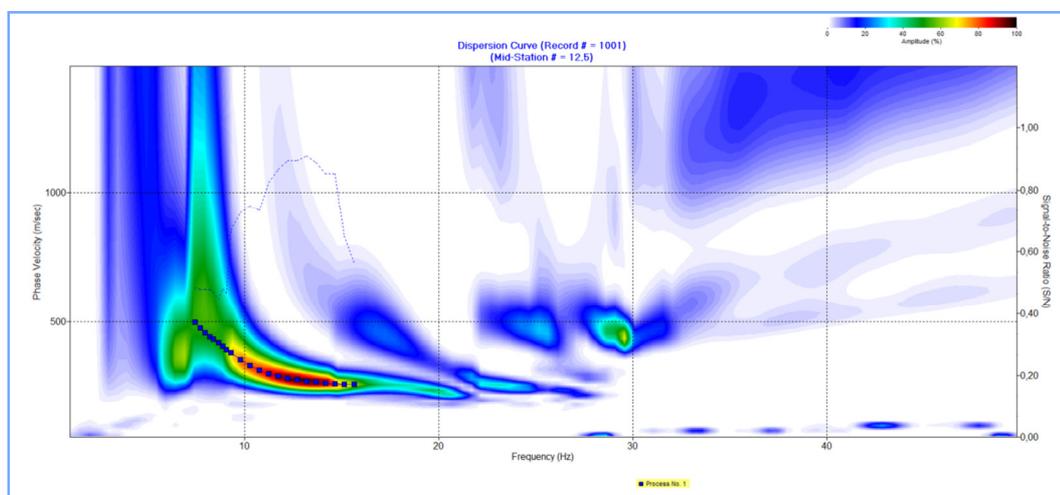


Fig. 2.4 - Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01. Curva di dispersione

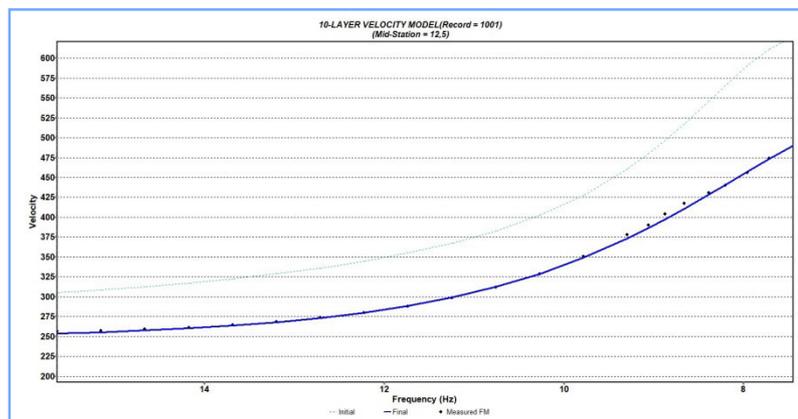


Fig. 2.5 - Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01.

Confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata dal modello finale di V_s

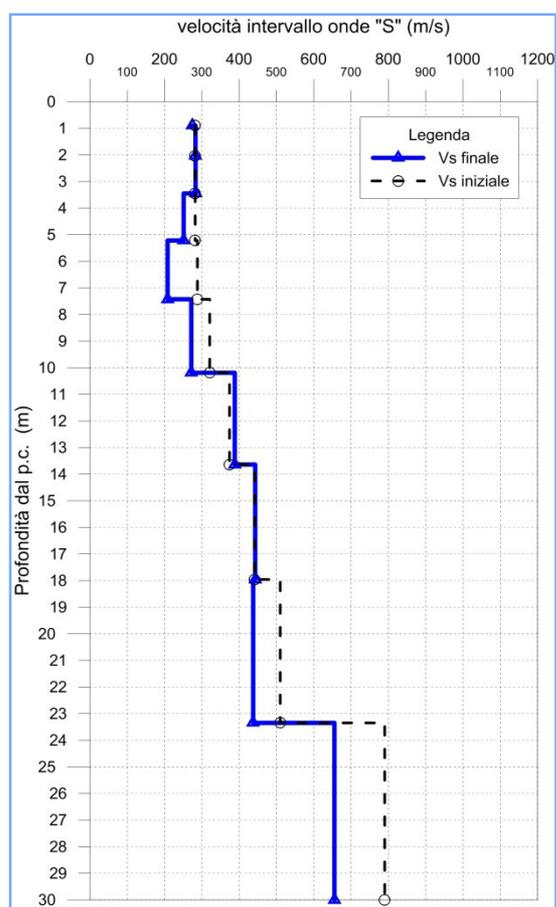


Fig. 2.6 - Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01.

Profilo verticale della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo VS iniziale con quello finale

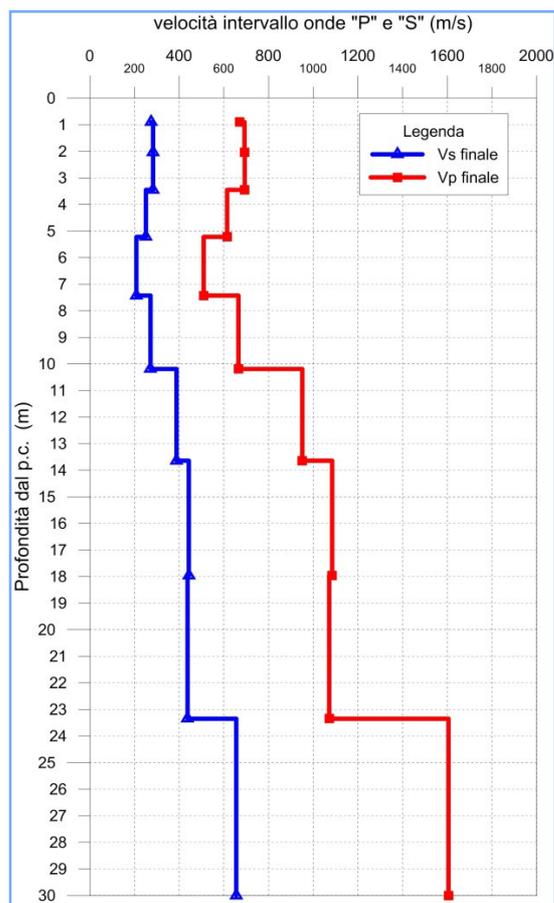


Fig. 2.7 - Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01.

Profilo verticale della velocità delle onde S finale e profilo delle onde P finale, in funzione della profondità.

| Numero di Strati | Profondità iniziale (m dal p.c.) | Spessore (m) | Vs iniziale (m/s) | Vp iniziale (m/s) | Poisson (-) | Densità (gr/cm ³) |
|------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------------------|
| 1 | 0,9 | 0,9 | 282 | 691 | 0,4 | 1,6 |
| 2 | 2,0 | 1,1 | 282 | 691 | 0,4 | 1,6 |
| 3 | 3,5 | 1,4 | 282 | 691 | 0,4 | 1,7 |
| 4 | 5,2 | 1,8 | 282 | 691 | 0,4 | 1,7 |
| 5 | 7,4 | 2,2 | 288 | 705 | 0,4 | 1,8 |
| 6 | 10,2 | 2,8 | 321 | 786 | 0,4 | 1,8 |
| 7 | 13,6 | 3,5 | 374 | 917 | 0,4 | 1,9 |
| 8 | 18,0 | 4,3 | 441 | 1080 | 0,4 | 1,9 |
| 9 | 23,4 | 5,4 | 510 | 1250 | 0,4 | 2,0 |
| 10 | HalfSpace | N/A | 776 | 1976 | 0,4 | 2,0 |

Tab. 2.1 - Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01. Riepilogo dei parametri assunti a priori.

| Numero di Strati | Profondità (m dal p.c) | Vs finale (m/s) | Vp finale (m/s) | Spessore (m) | h/Vs |
|------------------|------------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------|
| 1 | 0,9 | 274 | 672 | 0,9 | 0,0033 |
| 2 | 2,0 | 283 | 693 | 1,1 | 0,0040 |
| 3 | 3,5 | 283 | 693 | 1,4 | 0,0050 |
| 4 | 5,2 | 251 | 615 | 1,8 | 0,0071 |
| 5 | 7,4 | 208 | 510 | 2,2 | 0,0106 |
| 6 | 10,2 | 272 | 665 | 2,8 | 0,0102 |
| 7 | 13,6 | 388 | 951 | 3,5 | 0,0089 |
| 8 | 18,0 | 443 | 1085 | 4,3 | 0,0098 |
| 9 | 23,4 | 437 | 1071 | 5,4 | 0,0123 |
| 10 | 30,0 | 655 | 1605 | 6,7 | 0,0101 |

Tab. 2.2 – I Variante SS 1 Aurelia. Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento funzionale degli accessi alla città di Massa - 1° Lotto (Canalmagro - Stazione). MASW_01. Riepilogo dei parametri calcolati.