

AUTOSTRADA (A14): BOLOGNA - BARI -TARANTO TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE INTERMEDIA DI PIANURA

PROGETTO DEFINITIVO


DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

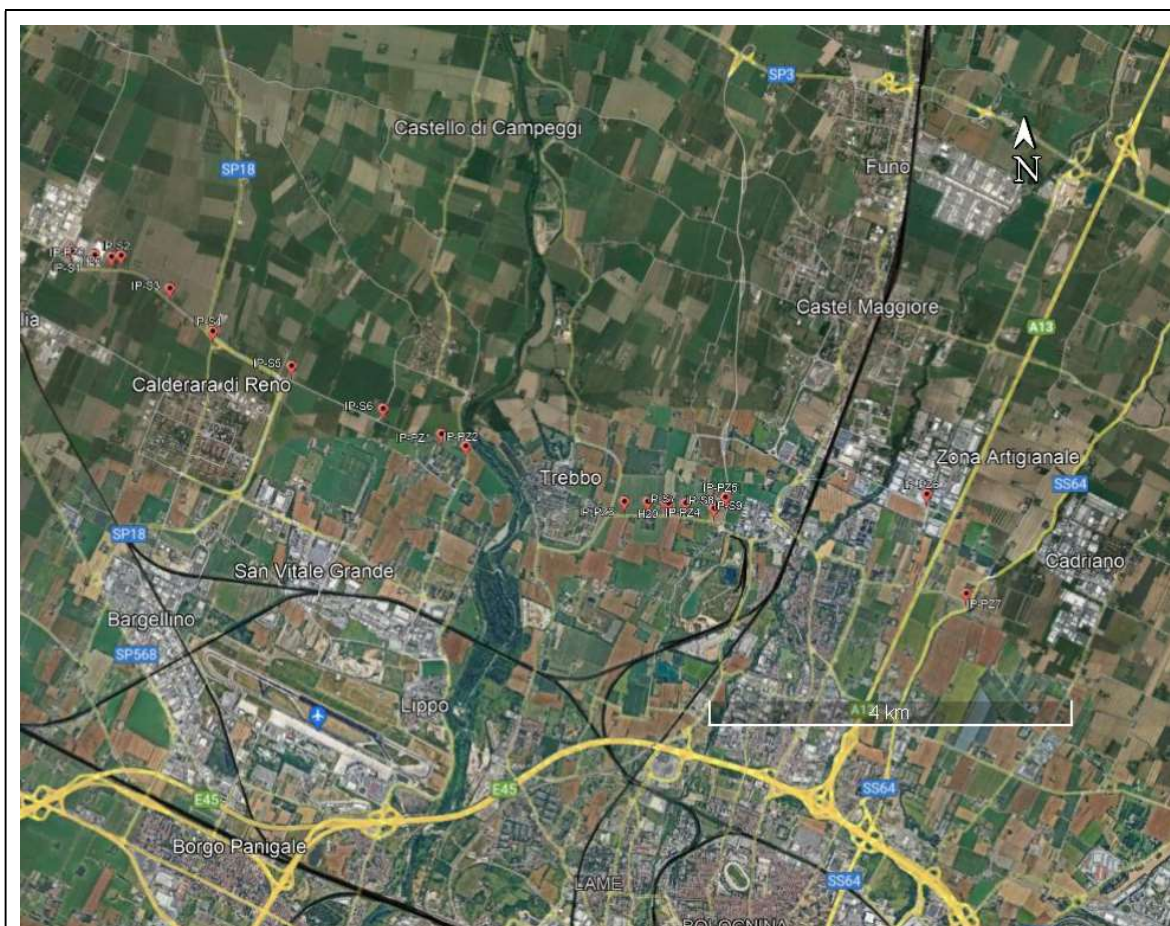
PROSPEZIONI SISMICHE (MASW-HVSR)

| | | |
|---|---|---|
| IL GEOLOGO Dott. Massimo Roberto Campana Ord. Geol. Toscana N. 1709 | IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068 | IL DIRETTORE TECNICO Ing. Piero Bongio Ord. Ingg. Sondrio N. A538 T.A. - Geologia e Geotecnica |
|---|---|---|

| CODICE IDENTIFICATIVO | | | | | | | | | | | ORDINATORE |
|-----------------------|----------------------------------|------|------------------------|-----------|-------|---------------|-----------------------|------------|-------------|------|------------|
| RIFERIMENTO PROGETTO | | | RIFERIMENTO DIRETTORIO | | | | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | |
| Codice Commessa | Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto | Fase | Capitolo | Paragrafo | W B S | Parte d'opera | Tip. | Disciplina | Progressivo | Rev. | -- |
| 111443 | 0000 | PD | DG | GEO | SI000 | 00000 | R | GEO | 0027 | -0 | SCALA - |

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------------------|-------------|-----------|---------------|
|  | ENGINEER COORDINATOR: Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068 | | SUPPORTO SPECIALISTICO: | | REVISIONE | |
| | | | | | n. | data |
| | | | | | 0 | DICEMBRE 2021 |
| | | | | | | |
| REDATTO: | | | | VERIFICATO: | | |

| | | |
|--|---|--|
| | VISTO DEL COMMITTENTE  IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin | VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibile DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE E I SISTEMI INFORMATIVI |
|--|---|--|



Lavoro:

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO,
TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO.
POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA.
INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE -
INTERMEDIA DI PIANURA. PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE).
INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.**

| | | | |
|--------------------------------|-------------|---|----------------|
| Commissa N°: 02S-B/2021 | | Elaborato: ALLEGATO – INDAGINE GEOFISICA | |
| Rev: 1.0 | | Committente: TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. | |
| Redazione: | Verifica: | | |
| Approvazione: | Consegnato: | | |
| Ns. Rif: | | Timbro: CAM PERFORAZIONI S.r.l. Unipersonale Viale Vanzolini 38 61121 PESARO (PU) Cod. Fisc. e P. IVA 01511320437 | Firma: |

Proprietà riservata. Riproduzione anche parziale consentita solo previa autorizzazione scritta

INDICE:

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. PROSPEZIONI GEOFISICHE - METODO MASW..... | 4 |
| 2.1 CENNI TEORICI..... | 4 |
| 2.2 CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE SPERIMENTALE | 5 |
| 2.3 STRUMENTAZIONE, METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE..... | 7 |
| 3. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (METODO HVSR)..... | 8 |
| 3.1 CENNI TEORICI..... | 8 |
| 3.2 STRUMENTAZIONE, METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE..... | 9 |
| 4. CONTROLLO QUALITA' | 10 |
| 4.1 CONTROLLO QUALITA' - METODO MASW | 10 |
| 4.2 CONTROLLO QUALITA' - METODO HVSR | 11 |
| 5. RILIEVO TOPOGRAFICO | 12 |
| 6. RISULTATI E CONCLUSIONI | 13 |
| 6.1 RISULTATI ELABORAZIONE CONGIUNTA | 13 |
| 6.2 CALCOLO V_{s30} | 15 |

APPENDICE INDAGINI GEOFISICHE

- Prove HVSR
- Prova MASW
- Elaborazione congiunta
- Documentazione fotografica Geofisica

1. PREMESSA

Il presente Rapporto Tecnico illustra i risultati di un'indagine geofisica eseguita per conto di TECNE S.p.A. nell'ambito del progetto definitivo riguardante i lavori di interventi di completamento della rete viaria di adduzione - Intermedia di Pianura.

L'indagine è consistita nella esecuzione di una cinque prove MASW e di cinque prove HVSR aventi caratteristiche come riportate nella tabella successiva.

| Prova N. | Distanza geofoni (m) | Lunghezza (m) | Tempi di acquisizione (sec) | Frequenza di campionamento (Hz) | Data |
|----------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|------------|
| MASW1 | 2.0 | 46,0 | 1,0 | Filtri out | 24/10/2021 |
| MASW4 | 2.0 | 46,0 | | Filtri out | 25/10/2021 |
| MASW6 | 2.0 | 46,0 | | Filtri out | 25/10/2021 |
| MASW7 | 2.0 | 46,0 | | Filtri out | 25/10/2021 |
| MASW9 | 2.0 | 46,0 | | Filtri out | 25/10/2021 |
| HVSR1 | ----- | ----- | 1.500 | 172 | 25/10/2021 |
| HVSR4 | ----- | ----- | 1.500 | 172 | 24/10/2021 |
| HVSR6 | ----- | ----- | 1.500 | 172 | 24/10/2021 |
| HVSR7 | ----- | ----- | 1.800 | 172 | 24/10/2021 |
| HVSR9 | ----- | ----- | 1.500 | 172 | 24/10/2021 |

Tab.1 – Indagini geofisiche eseguite

2. PROSPEZIONI GEOFISICHE - METODO MASW

2.1 CENNI TEORICI

Il metodo MASW si basa sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato.

L'esistenza delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato è stata studiata nel corso degli anni attraverso diverse metodologie. I metodi più conosciuti sono i propagator matrix methods (Kennett, 1983, Aki and Richards, 1980) e il method of reflection and transmission coefficients (Kennet, 1974, Aki and Richards, 1980). I transfer matrix methods (Thomson, 1950, Haskell, 1953) e il dynamic stiffness matrix method (Kausel and Roesset, 1981) appartengono alla categoria dei propagator matrix methods.

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si generano 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 proposto si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde P e le onde S oltre alle onde Rayleigh (figura 12), intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e SV. 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 le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

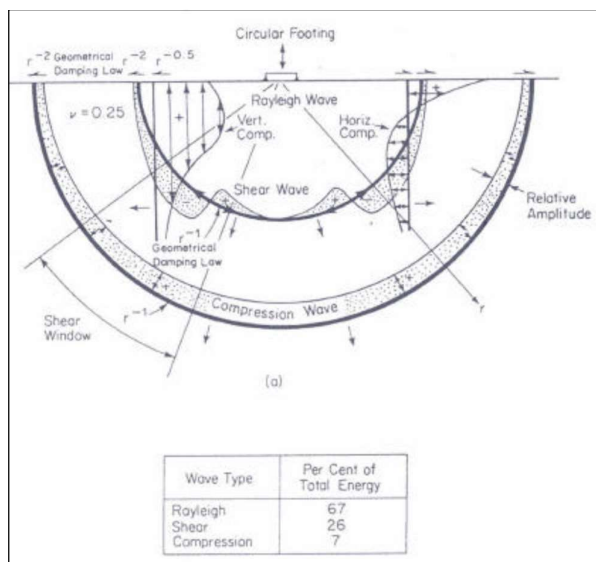


Fig. 1 - Onde generate da una sorgente armonica verticale sulla superficie libera di un semispazio omogeneo e ripartizione dell'energia tra onde P, S e Rayleigh per coefficiente di Poisson $\sigma=0,25$. (Richart et al., 1970).

La prova MASW fornisce il profilo di velocità V_s monodimensionale, assumendo un valore medio di velocità lungo lo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile. Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5m e 3,0m. A parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione. Viceversa, un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione.

2.2 CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE SPERIMENTALE

Quando si misurano le onde superficiali lungo uno stendimento di ricevitori sulla superficie di un sito energizzato in un punto, si dispone del campo di moto, spostamenti o velocità o accelerazioni, nel dominio spazio-tempo. La perturbazione generata dalla energizzazione contiene al suo interno tutti i diversi modi o onde di Rayleigh (le onde P e SV si attenuano a pochi metri dalla sorgente), che formano un unico treno d'onda e non si sono ancora separati o dispersi. Affinché il fenomeno di dispersione dei diversi modi di Rayleigh abbia luogo occorre porsi ad una distanza sufficiente dalla sorgente (superiore a circa 100m nella pratica).

Lavoro:

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO. POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA. INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE - INTERMEDIA DI PIANURA. PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE). INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Elaborato:

RAPPORTO TECNICO

Committente:

TECNE - Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A.

vers.:1.0

Commessa n°
02B-S/2021

Pag. 6 di 15

Quando si trasforma il campo di moto dal dominio spazio-tempo al dominio frequenza numero d'onda oppure in maniera equivalente al dominio velocità di fase-frequenza per rappresentare la relazione di dispersione, allora si scopre che non è in genere possibile misurare separatamente le curve modali previste dalla teoria, come è stato mostrato in precedenza. Anziché ottenere le curve modali separate si ottiene un'unica curva denominata curva apparente o effettiva.

La curva apparente o effettiva che si ottiene dalle tracce misurate in sito è il risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori. La configurazione dei ricevitori nello stendimento può influenzare il valore che la curva di dispersione apparente assume a certe frequenze.

Indipendentemente dal disturbo apportato dal sistema di misura, la curva apparente è comunque data dall'interazione dei diversi modi di Rayleigh. In funzione delle caratteristiche geometriche (spessori) e meccaniche (V_s , V_p , densità di massa) degli strati di terreno alcuni modi di Rayleigh possono risultare predominanti rispetto agli altri modi in certi intervalli di frequenza. Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale di Rayleigh risulta predominante a tutte le frequenze.

Tuttavia, esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidità con la profondità, in cui i modi di Rayleigh superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza. Può verificarsi che esistano alcune frequenze di transizione in cui non sussiste una netta predominanza di un modo rispetto agli altri, ma che vi siano due o più modi vicini che trasportano all'incirca la stessa quantità di energia. In queste situazioni la curva apparente potrebbe non coincidere con nessun modo, ma risulterebbe la combinazione di due o più modi.

2.3 STRUMENTAZIONE, METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali a cumulabilità di impulsi della DMT SUMMIT mod. COMPACT con registrazione degli eventi in forma digitale.



Fig. 2 – Sismografo 24 canali modello Compact.

I sensori sono costituiti da catene di 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz. La distanza intergeofonica utilizzata è stata di 2.00 m; l'acquisizione è stata eseguita con un passo di campionamento di 1 msec per una lunghezza di registrazione di 1024 msec. L'energizzazione è avvenuta utilizzando una massa battente del peso di 10 kg, fatta cadere su di una piastra in ferro da un'altezza di 1.5 m circa.

L'istante di tempo zero, ovvero il segnale di inizio registrazione, viene inviato allo strumento, da un interruttore (Hammer switch) posto direttamente sulla massa battente.

Nel caso specifico, per la prova sono state effettuate n. 4 registrazioni con punti di scoppio posti ai due lati dello stendimento con offset di 2, 5, 7 e 11 m in modo da selezionare, nella successiva fase di processing, la registrazione con migliore risoluzione. L'interpretazione è avvenuta utilizzando il software specifico denominato "SURFSEIS versione 6.6 della Kansas Geological Survey" ed il software Geopsy.

3. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (metodo HVSR)

3.1 CENNI TEORICI

La tecnica a stazione singola passiva H/V, anche detta HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), permette di stimare l'amplificazione sismica di un terreno attraverso il rapporto tra la componente spettrale orizzontale e quella verticale. La prova fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

Nello specifico, tale metodo si basa sulla misurazione ed analisi del rumore sismico ambientale nell'intervallo di frequenze d'interesse ingegneristico (0÷20 Hz) o più, corrispondente alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture) ed ha il vantaggio di permettere di indagare la risonanza di un terreno (o di un edificio) sollecitato dal solo microtremore, di origine ambientali e/o antropico (vento, traffico ecc.), anche in assenza di un terremoto.

In un sistema costituito da uno strato tenero (es. coperture) + semispazio rigido (es. bedrock), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, di nuovo al bedrock ecc.) dando luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $[\lambda = n * 4 * H]$. Le frequenze a cui si manifestano le risonanze sono descritte dalla legge:

$$f_{Hz} = \frac{n * V_s}{4H}$$

Dove:

- **n** = ordine del modo di vibrare (fondamentale per n=1);
- **V_s** = velocità delle onde di taglio nello strato che risuona;
- **H** = spessore dello strato di riferimento.

Nella maggior parte delle situazioni, a causa dell'attenuazione indotta dalle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

L'Equazione permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di microtremore che

fornisce un valore di frequenza "f", nota la "Vs" delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

I dati d'indagine geofisica HVSR, ove possibile, sono stati correlati con i dati provenienti dai sondaggi geognostici eseguiti nel sito di progetto, ai fini di caratterizzare il profilo stratigrafico del suolo di fondazione e categorizzare le relative Vs.

3.2 STRUMENTAZIONE, METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE

Il Tromografo Echo Tromo HVSR 3 è un tromografo digitale prodotto dalla Ambrogeo avente le caratteristiche tecniche illustrate in fig.13.

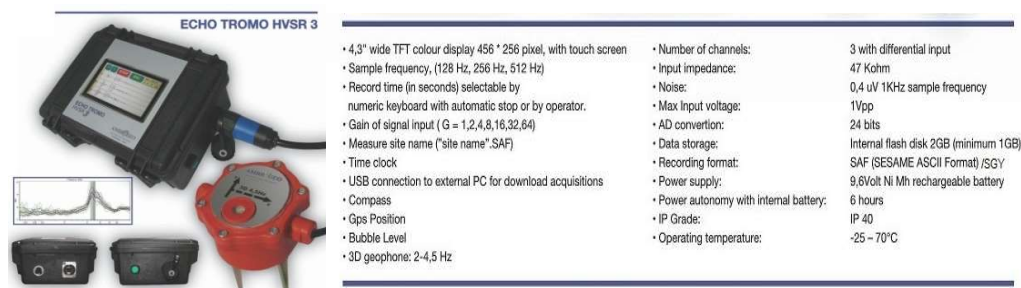


Fig. 3 – Caratteristiche tromografo

Lo strumento viene utilizzato per indagini di sismica passiva a stazione singola. Questo tromografo digitale è dotato di un geofono 3D avente frequenza propria di 2.0 Hz. Il geofono è dotato di 3 canali con input differenziali, GPS e bussola interna.

Nel caso della necessità di determinazione della categoria di suolo tramite Vs30 è necessario disporre di una stratigrafia di riferimento del sito per poter eseguire il fitting della curva sperimentale HVSR con la curva teorica; possono essere utilizzati i dati provenienti da prove penetrometriche o da sondaggi normalmente eseguiti per l'indagine geognostica.

La procedura di fit della curva HVSR fornisce un modello stratigrafico sismico dell'andamento di Vs con la profondità da cui calcolare Vs30 (Vseq). Questa tecnica confrontata con quelle classiche in array (REMI Esac MASW) fornisce stime di Vs comparabili ed offre il vantaggio di riconoscere eventuali eterogeneità laterali (impossibile con tecniche di array) in maniera veloce e a basso costo.

La velocità delle onde di taglio (V_s) viene determinata attraverso un codice di calcolo ed utilizzando il Software Geopsy, adatto ad interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) secondo la teoria descritta in AKI (1964) Ben-Menahem e Singh (1981). In appendice sono riportati i risultati analitici ottenuti.

La strumentazione fornisce inoltre:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "doppia risonanza", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la costruzione potrà essere o meno a rischio.

4. CONTROLLO QUALITA'

Per la corretta esecuzione delle prospezioni geofisiche e quindi per l'attendibilità dei risultati finali, è importante valutare la qualità dei dati acquisiti oltre che le specifiche fornite dalla Committenza e norme internazionali di riferimento.

Alla luce delle valutazioni qualitative e quantitative dei dati raccolti possiamo considerare soddisfacenti i dati raccolti, come si può dedurre dalle registrazioni allegate in Appendice, anche se le prove HVSR hanno risentito molto del traffico, visto che le .misure prove sono state effettuate di strade a medio-alta circolazione.

4.1 CONTROLLO QUALITA' - METODO MASW

Il controllo qualità per l'esecuzione delle indagini in oggetto è iniziato con la verifica del buon funzionamento delle attrezzature e strumentazione in fase precedente all'acquisizione.

Nel corso dell'acquisizione per ogni singola registrazione, è stata fatta una prima valutazione qualitativa in sito, verificando la corretta generazione delle onde di Rayleigh.

Lavoro:

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO. POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA. INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE - INTERMEDIA DI PIANURA. PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE). INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Elaborato:

RAPPORTO TECNICO

Committente:

TECNE - Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A.

vers.:1.0

Commessa n°
02B-S/2021

Pag. 11 di 15

In particolare, si è visto che le registrazioni erano fortemente influenzate da disturbi presenti nell'area dovuti principalmente alla situazione di elevato traffico viario, dato che le prove sono state eseguite in prossimità di strade.

Per attenuare il disturbo ed aumentare il rapporto segnale/rumore, si è aumentato il numero di "stack" con la selezione e immediata cancellazione delle battute più rumorose così da eliminare ogni ambiguità del segnale sismico.

Nella fase di esecuzione dati che venivano man mano acquisiti si è proceduto ad una prima analisi del dato e della curva di dispersione relativa, osservando affinché fosse evidente lo sviluppo del modo fondamentale.

Nel corso del processing dei dati di tutte le registrazioni, è stata selezionata quella che riproduceva la curva di dispersione con basse e/o minori ambiguità di risultati.

4.2 CONTROLLO QUALITA' - METODO HVSR

Il controllo qualità per l'esecuzione delle indagini HVSR è iniziato con la verifica del buon funzionamento delle attrezzature e la corretta impostazione dei dati di acquisizione.

Data la presenza della rete stradale nelle vicinanze, la durata delle registrazioni è stata estesa per la prova HVSR IP-S7 a 30 minuti, mentre per le altre prove la lunghezza di registrazione è stata di 25 minuti, in modo che nella successiva fase di pulizia del dato permettesse comunque di ottenere una quantità significativa di dati.

Nel corso del processing dei dati di tutte le registrazioni, ci si è soffermati sulla verifica dei criteri "SESAME", che stabiliscono l'attendibilità della curva HV e l'affidabilità di picco.

Nel nostro caso in tutte le registrazioni le curve sono risultate affidabili

5. RILIEVO TOPOGRAFICO

In corrispondenza dei punti di inizio e di fine stendimento delle prove MASW, nonché sulle posizioni delle prove HVSR, sono state misurate le coordinate geografiche, in modo da posizionare esattamente le indagini in planimetria con apposito strumento GPS i cui valori vengono elencati nella tabella seguente. Per un maggior dettaglio delle coordinate si rimanda al Rapporto tecnico della geognostica.

| Prova N. | Coordinate Nord (Gauss Boaga) | Coordinate Est (Gauss Boaga) | Elevazione (m) |
|-------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|
| MASW1 - G1 | 4938722.895 | 1678935.416 | 24.822 |
| MASW1 - G24 | 4938694.938 | 1678971.920 | 24.742 |
| MASW4 - G1 | 4937861.674 | 1680580.844 | 25.604 |
| MASW4 - G24 | 4937896.664 | 1680550.987 | 25.982 |
| MASW6 - G1 | 4937083.503 | 1682422.085 | 27.516 |
| MASW6 - G24 | 4937126.626 | 1682438.595 | 27.380 |
| MASW7 - G1 | 4936148.415 | 1685381.413 | 28.964 |
| MASW7 - G24 | 4936148.332 | 1685335.332 | 28.801 |
| MASW9 - G1 | 4936098.969 | 1686055.595 | 28.577 |
| MASW9 - G24 | 4936089.705 | 1686100.677 | 28.602 |
| HVSR1 | 4938709.899 | 1678952.593 | 24.802 |
| HVSR4 | 4937872.159 | 1680566.658 | 25.911 |
| HVSR6 | 4937092.372 | 1682428.522 | 27.296 |
| HVSR7 | 4936148.075 | 1685357.553 | 28.917 |
| HVSR9 | 4936093.465 | 1686080.260 | 28.567 |

Tab.2 – Coordinate punti Gauss Boaga

6. RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati espressi dalle prove geofisiche eseguite vengono di seguito riassunte nel presente paragrafo, mentre, per un maggior dettaglio, i grafici e valori numerici sono riportati in appendice delle indagini geofisiche.

I risultati delle prove geofisiche sono state interpretate con il software "Geopsy" open source che permette l'elaborazione congiunta delle prove MASW e HVSR.

6.1 RISULTATI ELABORAZIONE CONGIUNTA

Le tabelle sottostanti raggruppano i valori numerici ottenuti durante l'elaborazione congiunta delle prove HVSR e MASW per ciascun sito; vengono riportati il numero degli orizzonti sismici, gli spessori, le velocità Vs ottenute dall'interpretazione dei dati con i relativi valori di densità, Moduli di Taglio e Modulo di Poisson.

Area di sito IP-S1

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 760 | 181 | 2.17 | 2.17 | 45.86 | 1.407 | 0.47 |
| 2 | 1032 | 157 | 2.90 | 0.74 | 42.47 | 1.726 | 0.49 |
| 3 | 1547 | 155 | 3.45 | 0.55 | 42.31 | 1.758 | 0.49 |
| 4 | 1633 | 181 | 6.56 | 3.11 | 60.51 | 1.857 | 0.49 |
| 5 | 1861 | 204 | 14.57 | 8.01 | 73.00 | 1.761 | 0.49 |
| 6 | 1659 | 250 | 26.69 | 12.12 | 114.24 | 1.827 | 0.49 |
| 7 | 2083 | 319 | - | - | 202.50 | 1.989 | 0.49 |

Area di sito IP-S4

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 313 | 182 | 3.45 | 3.45 | 46.40 | 1407 | 0.25 |
| 2 | 869 | 178 | 5.36 | 1.91 | 53.13 | 1677 | 0.48 |
| 3 | 1530 | 189 | 12.46 | 7.10 | 60.77 | 1694 | 0.49 |
| 4 | 1860 | 242 | 23.14 | 10.68 | 99.53 | 1697 | 0.49 |
| 5 | 2044 | 309 | - | - | 193.73 | 2035 | 0.49 |

Area di sito IP-S6

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 310 | 165 | 1.80 | 1.80 | 39.69 | 1460 | 0.30 |
| 2 | 726 | 204 | 3.82 | 2.02 | 64.48 | 1549 | 0.46 |
| 3 | 1191 | 242 | 8.41 | 4.59 | 103.70 | 1770 | 0.48 |
| 4 | 1536 | 291 | 13.12 | 4.72 | 151.95 | 1800 | 0.48 |
| 5 | 1451 | 289 | 17.07 | 3.95 | 146.93 | 1755 | 0.48 |
| 6 | 1714 | 375 | 40.30 | 23.23 | 271.40 | 1930 | 0.47 |
| 7 | 1762 | 519 | - | - | 526.66 | 1956 | 0.45 |

Area di sito IP-S7

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 303 | 101 | 1.61 | 1.61 | 14.38 | 1.404 | 0.44 |
| 2 | 1.043 | 134 | 3.28 | 1.67 | 28.76 | 1.603 | 0.49 |
| 3 | 1.209 | 214 | 6.18 | 2.90 | 74.81 | 1.640 | 0.48 |
| 4 | 1.758 | 177 | 10.57 | 4.39 | 57.13 | 1.826 | 0.49 |
| 5 | 1.504 | 216 | 18.13 | 7.56 | 85.25 | 1.820 | 0.49 |
| 6 | 1.792 | 274 | 26.77 | 8.64 | 145.93 | 1.946 | 0.49 |
| 7 | 1.691 | 311 | - | - | 189.35 | 1.958 | 0.48 |

Area di sito IP-S7

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 331 | 172 | 1.5 | 1.5 | 425.16 | 1454 | 0.31 |
| 2 | 744 | 222 | 4.4 | 2.9 | 712.10 | 1458 | 0.45 |
| 3 | 1159 | 179 | 6.3 | 1.8 | 557.19 | 1739 | 0.48 |
| 4 | 1558 | 359 | 13.45 | 7.15 | 2326.30 | 1805 | 0.47 |
| 5 | 1655 | 297 | 23.15 | 9.70 | 1637.54 | 1869 | 0.48 |
| 6 | 1769 | 366 | 44.05 | 20.90 | 2859.96 | 2135 | 0.47 |
| 7 | 1932 | 566 | - | - | 7127.92 | 2225 | 0.45 |

Tab.4 – Valori ottenuti da analisi congiunta HVSR - MASW.

I valori riportati del Modulo di Poisson e della Densità devono essere considerati approssimativi; quindi, potrebbero risultare sensibilmente diversi in eventuali indagini dirette.

6.2 CALCOLO V_{s30}

Dai profili di velocità ottenuti è stato calcolato i parametri V_{s30} . (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio). parametro necessario per la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione. ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Nel ns. caso non si sono riscontrate velocità attribuibili al substrato sismico (velocità $V_s > 800$ m/sec). pertanto il valore $V_{seq} = V_{s30}$.

I valori di delle V_{s30} calcolati sono elencati nella tabella seguente

| Area di sito | Profondità (m) | V_{s30} (m/sec) | Categoria di suolo |
|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| IP-S1 | 0 - 30 | 221 | C |
| IP-S4 | 0 - 30 | 225 | C |
| IP-S6 | 0 - 30 | 288 | C |
| IP-S7 | 0 - 30 | 209 | C |
| IP-S9 | 0 - 30 | 244 | C |

Tab.4 – Valori di V_{s30} calcolati.

Falconara Marittima. Ottobre 2021

Dott. Geol. Paolo Spallacci

Indagine sismica passiva HVSR1



COMMITTENTE: TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.a.

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO, POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA, INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE, INTERMEDIA DI PIANURA, PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE), INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Coordinate e quote

| Geografiche WGS84 | Quota ell. | Piane Gauss-Boaga | Rettilinee |
|-------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Latitudine: 44°34'45.62235"N | 63.567 | Nord: 4938709.899 | Nord: 3165768.107 |
| Longitudine: 11°15'13.36480"E | Quota s.l.m. | Est: 1678952.593 | Est: 9886236.651 |
| | 24.802 m | | |

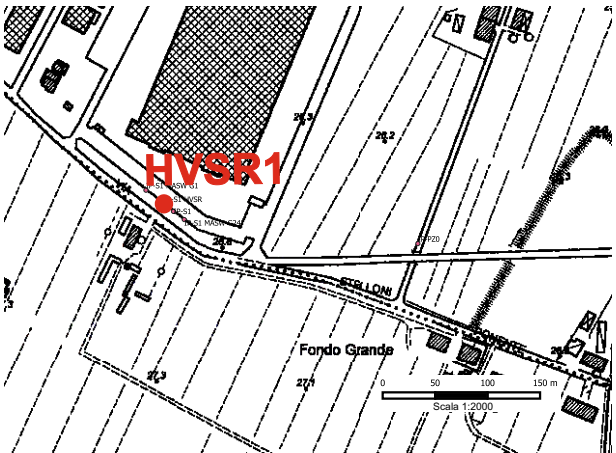
Documentazione Fotografica



Stralcio mappa Google Earth



Stralcio planimetrico



Descrizione: Ubicato in spartitraffico di fronte a un parcheggio in via Stelloni Ponente, nei pressi della zona industriale nel comune di Sala Bolognese (BO).
Capisaldi di riferimento: Inquadramento 2016 e Raffittimento 2016 - I08, R08, R33, R106

Rilevato: 24/08/2021

APPENDICE INDAGINI INTERMEDIA DI PIANURA:

1. Area di sito: IP-S1

1.1 HVSR1

1.1.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

- frequenza campionamento 172 Hz
- durata: 30 min

1.1.2 FINESTRE SELEZIONATE

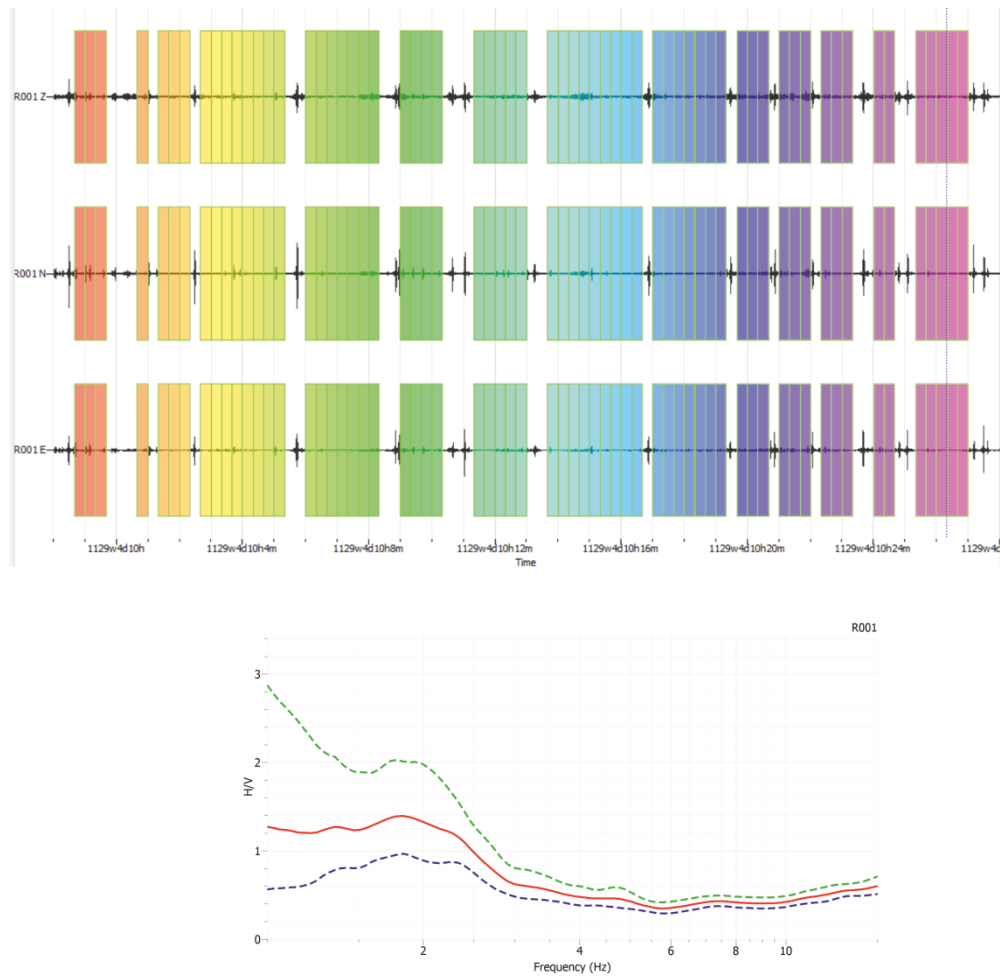


FIG. 1.1: HVSR1 - Selezione finestre temporali e calcolo rapporto H/V

1.1.3 VISUALIZZAZIONE E CALCOLO DEGLI SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI.

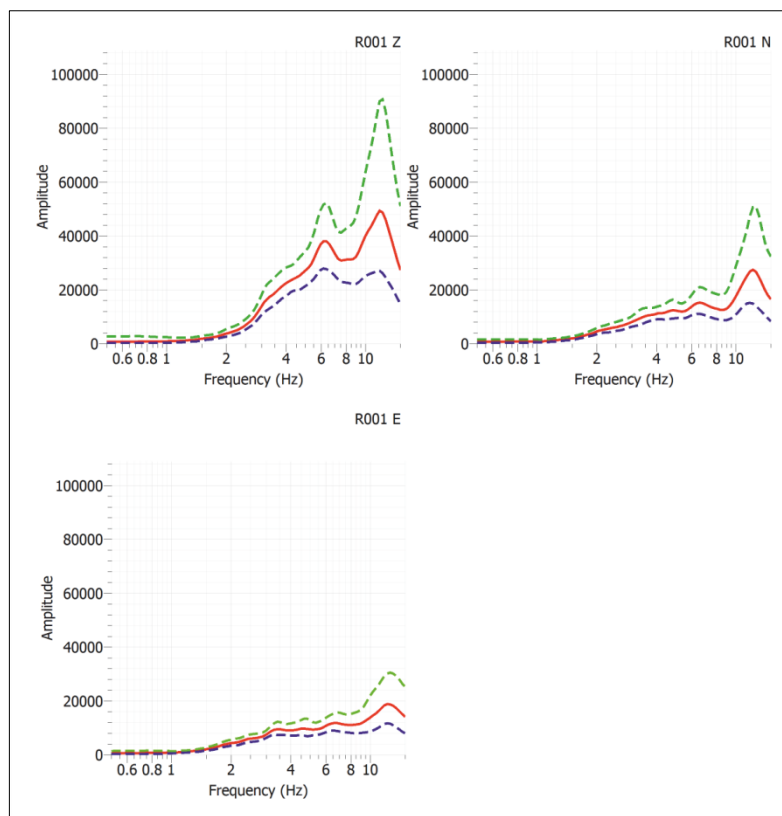


FIG. 1.2: HVSr1 - Spettri medi di tutte e tre le componenti con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra.

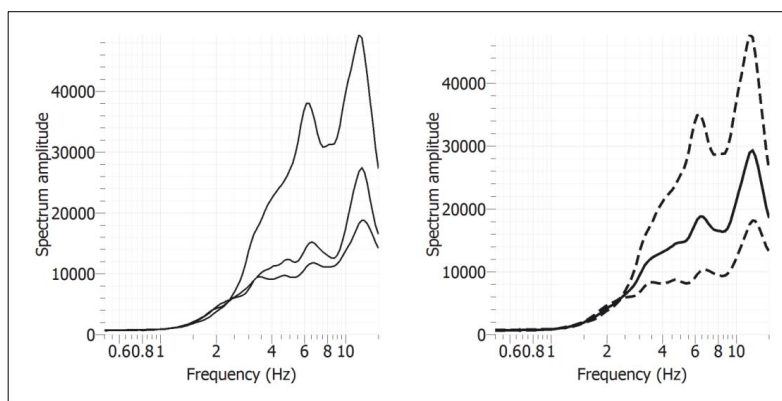
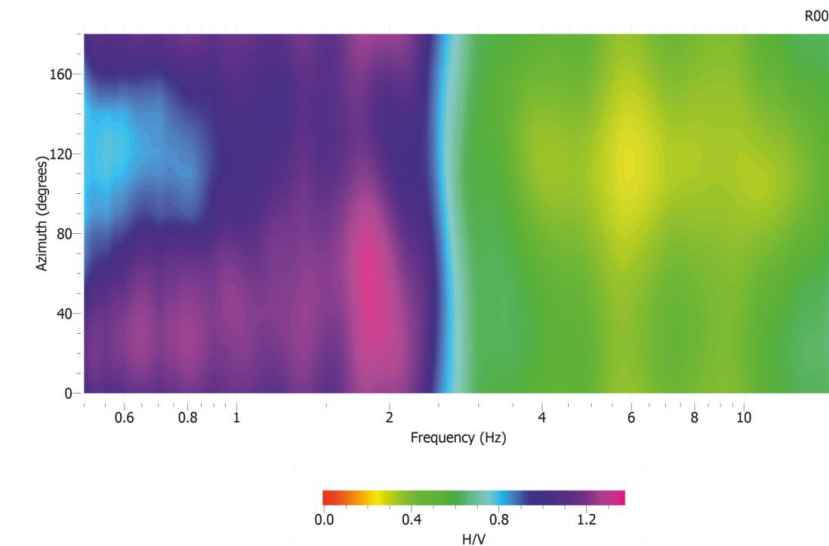


FIG. 1.3: HVSr1 – Nel grafico di sinistra sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti;. Il grafico a destra rappresenta lo spettro medio complessivo e la sua deviazione standard.

1.1.4 STIMA BONTÀ DELL'INDAGINE HVSR: VALUTAZIONE DELLA STAZIONARIETÀ E DELLA DIREZIONALITÀ DEL RAPPORTO H/V.

Per stazionarietà si intende la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale.

FIG. 1.4: HVSR1 – rapporto H/V per ogni 10° di rotazione, che riporta sulle ascisse la frequenza, sulle



ordinate la rotazione e in cui il colore rappresenta l'ampiezza del rapporto.

1.1.5 VERIFICA CRITERI SESAME IP-HVSR1

Picco in frequenza: 1,77 Hz.

Criteri di affidabilità della curva H/V

| | |
|---|----|
| $f_0 > 10/l_w$ | Ok |
| $n_c(f_0) > 200$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$ | Ok |

Criteri di affidabilità di picco

| | |
|--|----|
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | Ok |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | Ok |
| $A_0 > 2$ | NO |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | Ok |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

1.1.6 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR1

(Classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011)

La misura rientra in Classe B

Curva HVSR sospetta (da “valutare criticamente”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

Tipo 2

H/V affidabile e interpretabile: non ha un picco chiaro.

1.2. MASW1

Di seguito vengono riportati i risultati della prova eseguita.

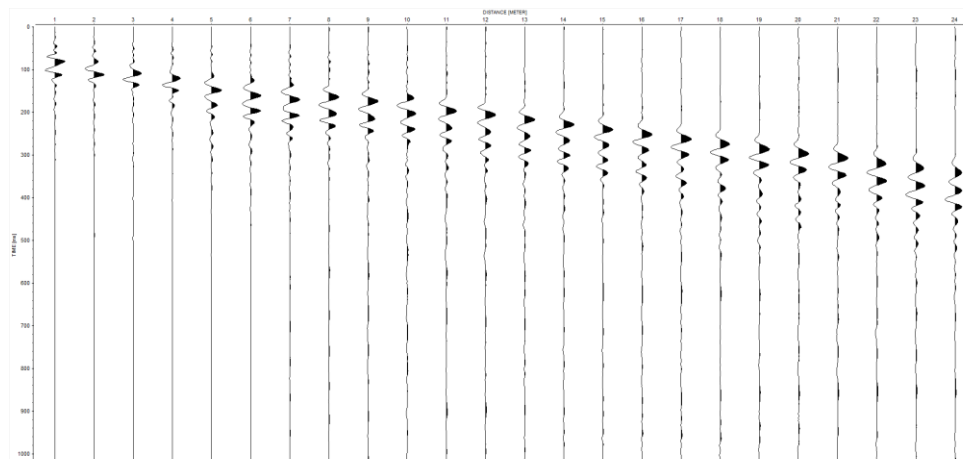


FIG. 1.5: MASW1 – registrazione di campagna

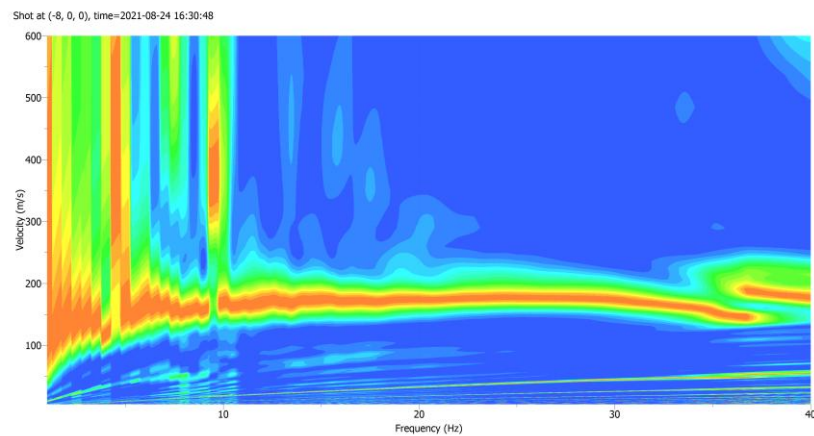


FIG. 1.6: MASW1– Curva di Dispersione

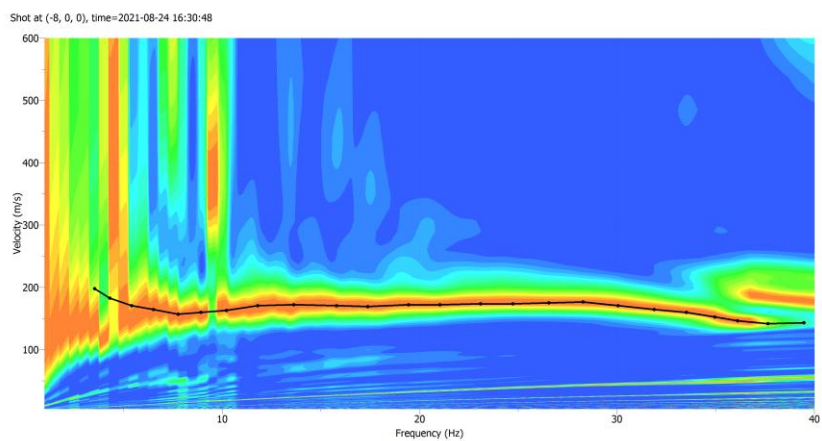


FIG. 1.7: MASW1 – Curva di dispersione sperimentale



FIG. 1.8 MASW1 - Foto stendimento

1. 3. ELABORAZIONE CONGIUNTA MASW1 + HVSr1

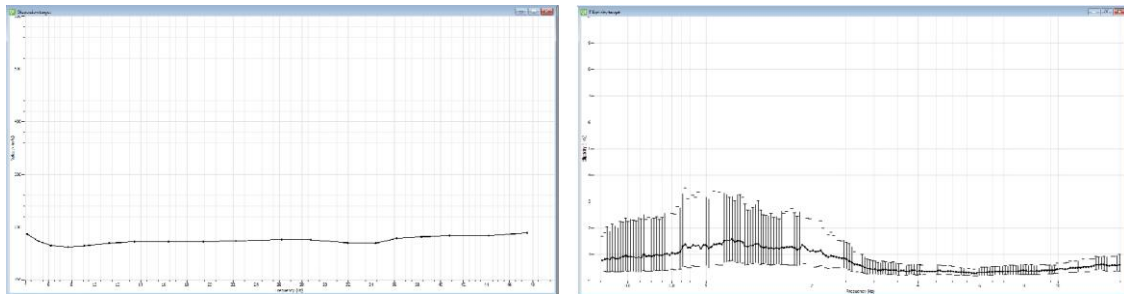


FIG. 1.9 Dati input per elaborazione congiunta

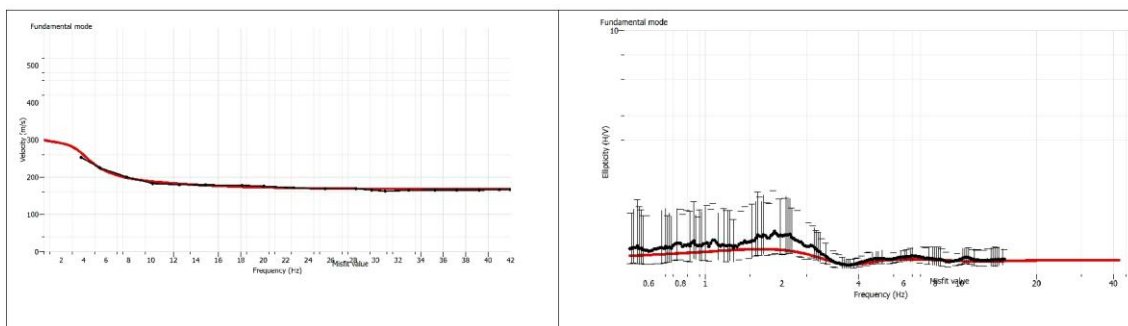


FIG. 1.10 Inversione del modello e confronto con i dati di input

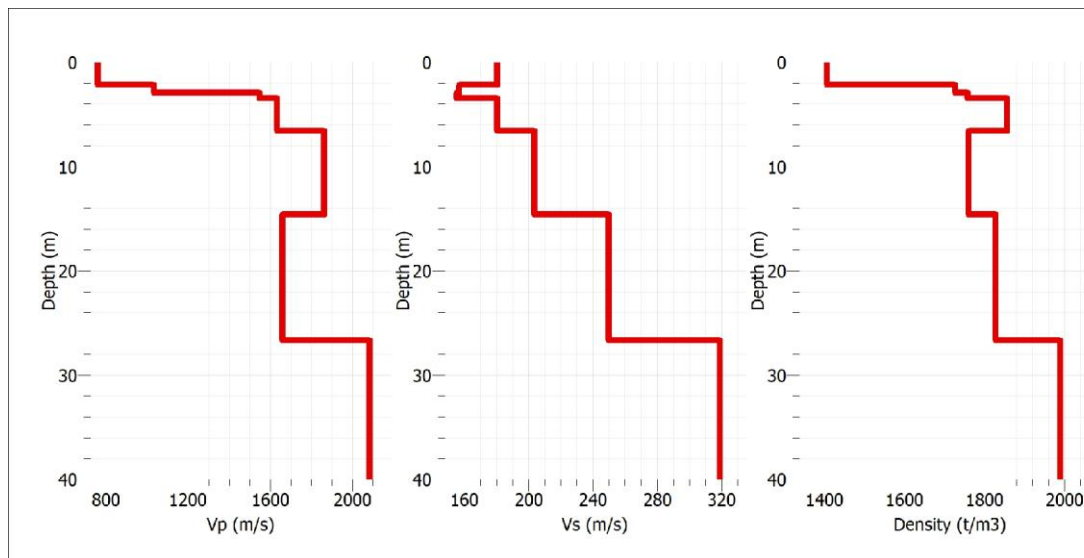


FIG. 1.11 Profili velocità onde P Velocità onde S e Densità

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1 | 760 | 181 | 2.17 | 2.17 | 45.86 | 1.407 | 0.47 |
| 2 | 1032 | 157 | 2.90 | 0.74 | 42.47 | 1.726 | 0.49 |
| 3 | 1547 | 155 | 3.45 | 0.55 | 42.31 | 1.758 | 0.49 |
| 4 | 1633 | 181 | 6.56 | 3.11 | 60.51 | 1.857 | 0.49 |
| 5 | 1861 | 204 | 14.57 | 8.01 | 73.00 | 1.761 | 0.49 |
| 6 | 1659 | 250 | 26.69 | 12.12 | 114.24 | 1.827 | 0.49 |
| 7 | 2083 | 319 | 0,00 | 0,00 | 202.50 | 1.989 | 0.49 |

Tab. 1.1. Parametrizzazione - Valori numerici

Indagine sismica passiva HVSr4



COMMITTENTE: TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.a.

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO, POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA, INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE, INTERMEDIA DI PIANURA, PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE), INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Coordinate e quote

Geografiche WGS84

Latitudine: 44°34'17.04258"N

Longitudine: 11°16'25.43952"E

Quota ell.

65.404

Quota s.l.m.

25.911 m

Piane Gauss-Boaga

Nord: 4937872.159

Est: 1680566.658

Rettilinee

Nord: 3162150.973

Est: 9896159.048

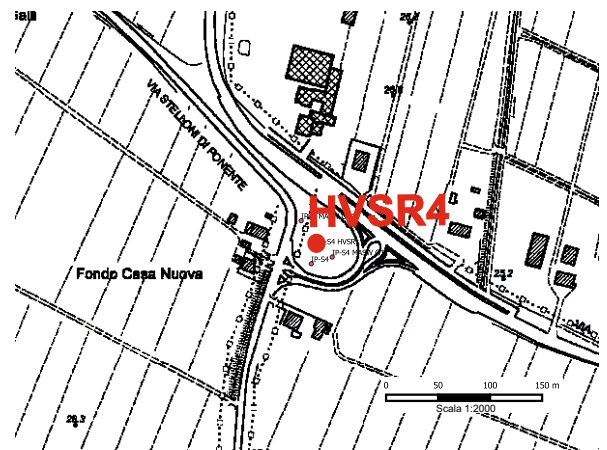
Documentazione Fotografica



Stralcio mappa Google Earth



Stralcio planimetrico



Descrizione: Ubicato al centro di uno spartitraffico all'incrocio tra via Stelloni Ponente e strada provinciale SP18, nel Comune di Calderara di Reno (BO).

Capisaldi di riferimento: Inquadramento 2016 e Raffittimento 2016 - I08, R08, R33, R106

Rilevato: 24/08/2021

1. Area di sito: IP-S4

2.1 HVSR4

2.1.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

- frequenza campionamento 172 Hz
- durata: 25 min

2.1.2 FINESTRE SELEZIONATE

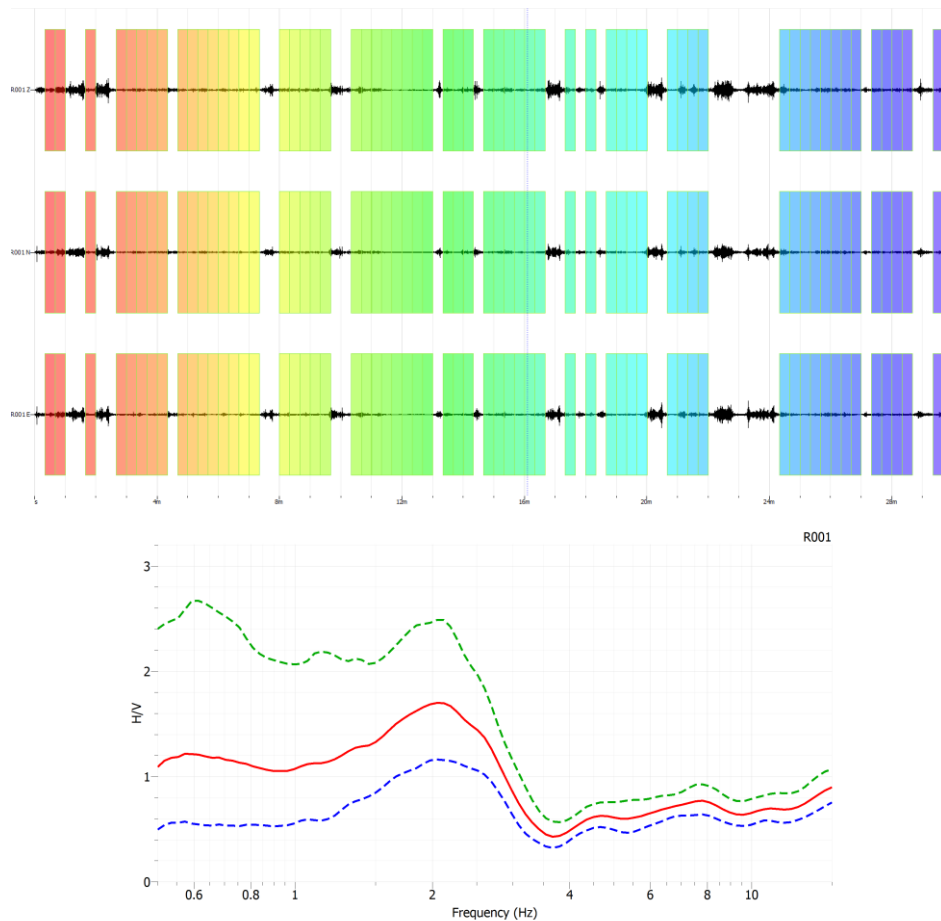


FIG. 2.1: HVSR4 - Selezione finestre temporali e calcolo rapporto H/V

2.1.3 VISUALIZZAZIONE E CALCOLO DEGLI SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI.

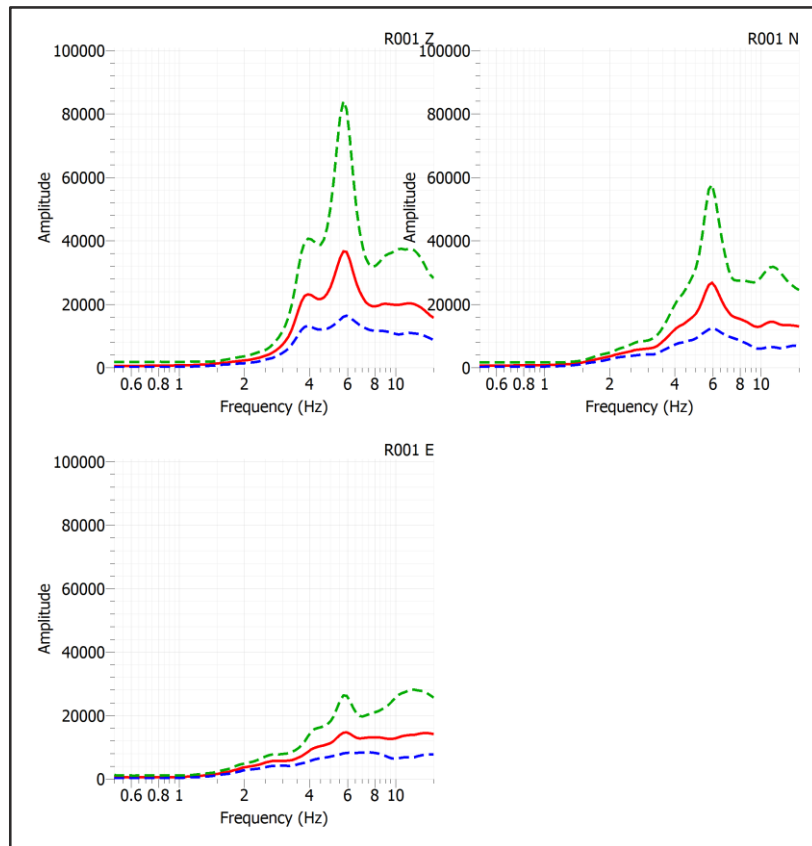


FIG. 2.2: HVSr4 - Spettri medi di tutte e tre le componenti con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra.

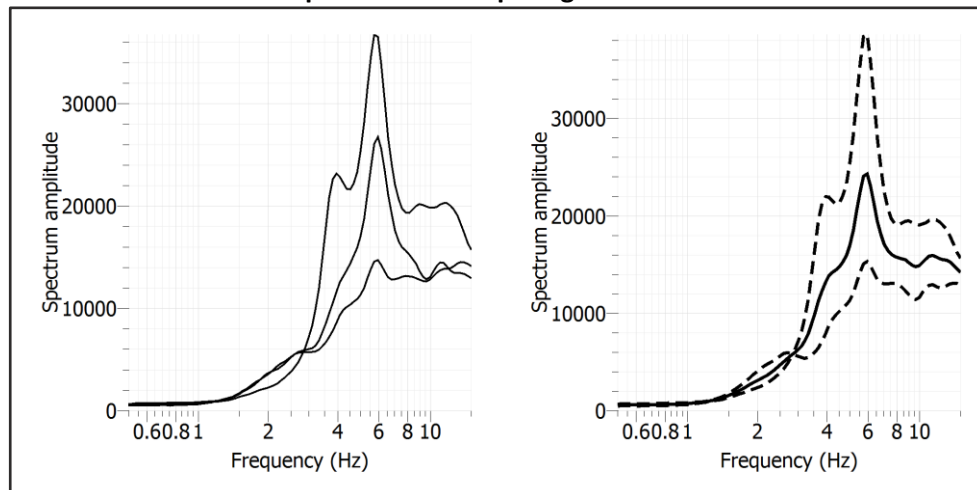


FIG. 2.3: HVSr4 – Nel grafico di sinistra sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti; Il grafico a destra rappresenta lo spettro medio complessivo e la sua deviazione standard.

2.1.4 STIMA BONTÀ DELL'INDAGINE HVSR: VALUTAZIONE DELLA STAZIONARIETÀ E DELLA DIREZIONALITÀ DEL RAPPORTO H/V.

Per stazionarietà si intende la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale.

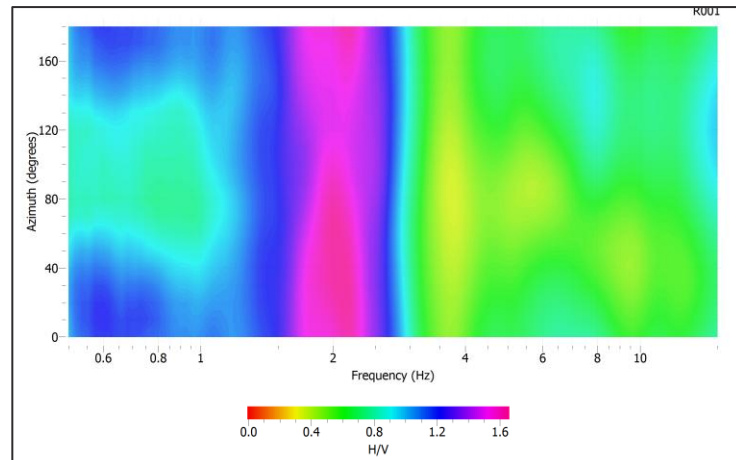


FIG. 2.4: HVSR4 – rapporto H/V per ogni 10° di rotazione, che riporta sulle ascisse la frequenza, sulle ordinate la rotazione e in cui il colore rappresenta l'ampiezza del rapporto.

2.1.5 VERIFICA CRITERI SESAME IP-HVSR4

Picco in frequenza: 1,77 Hz.

Criteri di affidabilità della curva H/V

| | |
|---|----|
| $f_0 > 10/l_w$ | Ok |
| $n_c(f_0) > 200$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$ | Ok |

Criteri di affidabilità di picco

| | |
|--|----|
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | Ok |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | Ok |
| $A_0 > 2$ | Ok |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

2.6 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR4

(Classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011)

La misura rientra in Classe B

Curva HVSR sospetta (da “valutare criticamente”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

Tipo 2

H/V affidabile e interpretabile: non ha un picco chiaro.

2.2. MASW4

Di seguito vengono riportati i risultati della prova eseguita.

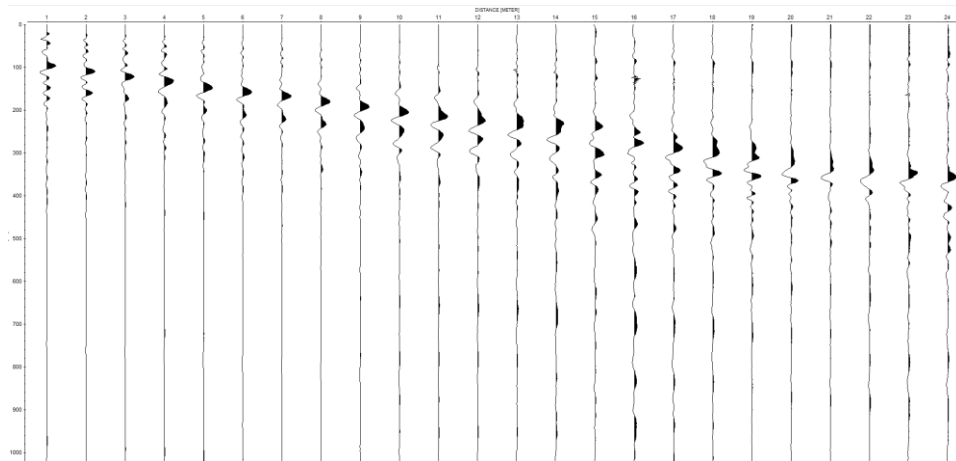


FIG. 2.5: MASW4 – registrazione di campagna

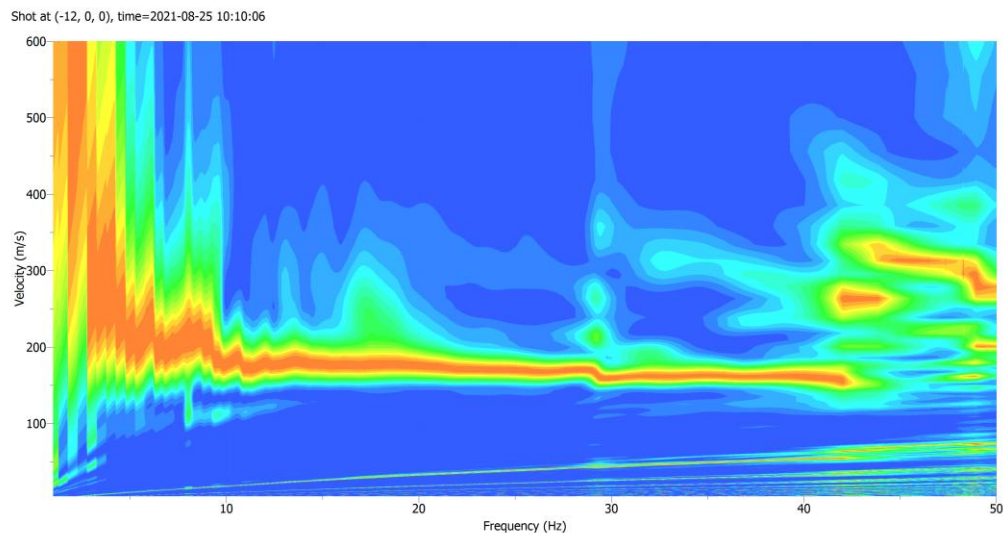


FIG. 2.6: MASW4– Curva di Dispersione

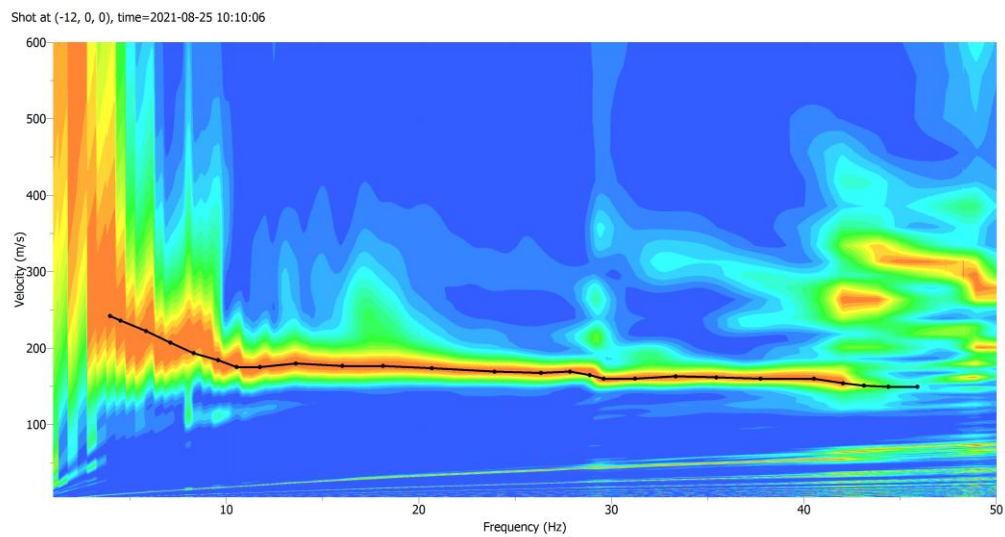


FIG. 2.7: MASW4 – Curva di dispersione sperimentale



FIG. 2.8 MASW4 - Foto stendimento

2. 3. ELABORAZIONE CONGIUNTA MASW4 + HVSR4

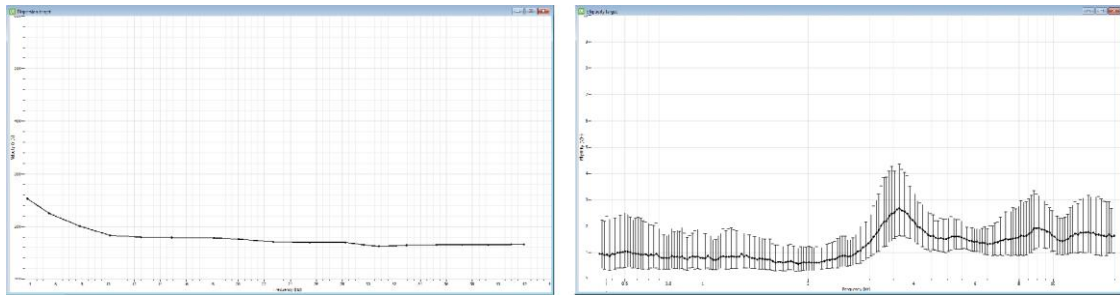


FIG. 2.9 Dati input per elaborazione congiunta

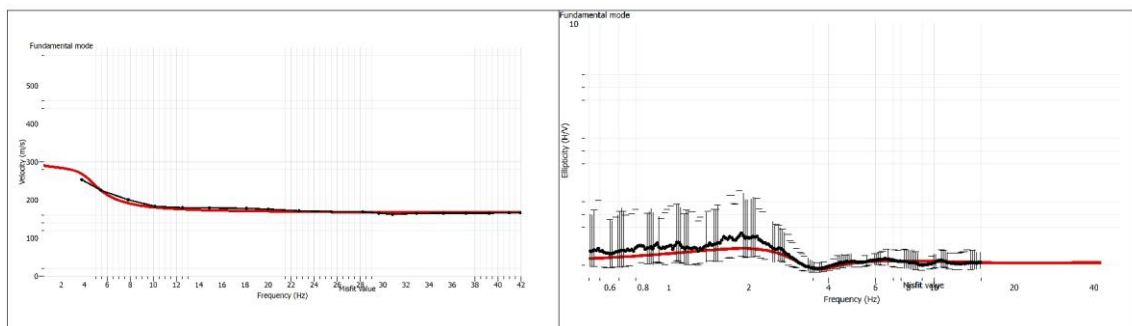


FIG. 2.10 Inversione del modello e confronto con i dati di input

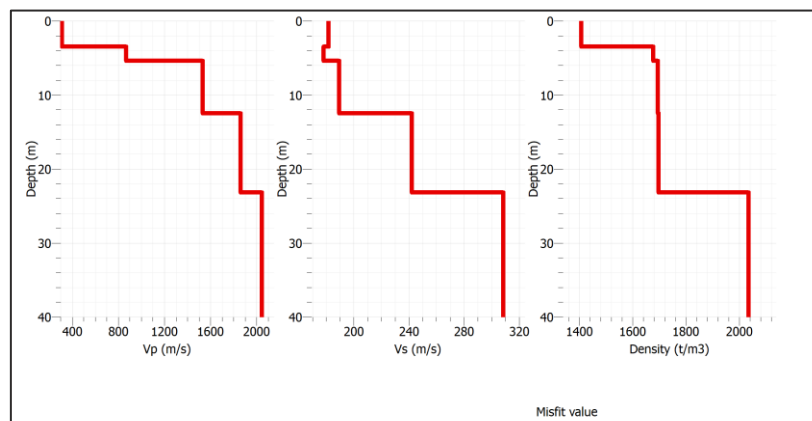


FIG. 2.11 Profili velocità onde P Velocità onde S e Densità

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1 | 313 | 182 | 3.45 | 3.45 | 46.40 | 1407 | 0.25 |
| 2 | 869 | 178 | 5.36 | 1.91 | 53.13 | 1677 | 0.48 |
| 3 | 1530 | 189 | 12.46 | 7.10 | 60.77 | 1694 | 0.49 |
| 4 | 1860 | 242 | 23.14 | 10.68 | 99.53 | 1697 | 0.49 |
| 5 | 2044 | 309 | 0.00 | 0.00 | 193.73 | 2035 | 0.49 |

Tab. 2.1. Parametrizzazione - Valori numerici

Indagine sismica passiva HVSR6



COMMITTENTE: TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.a.

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO, POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA, INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE, INTERMEDIA DI PIANURA, PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE), INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Coordinate e quote

Geografiche WGS84

Latitudine: 44°33'50.10150"N

Longitudine: 11°17'48.79257"E

Quota ell.

66.817

Quota s.l.m.

27.296 m

Piane Gauss-Boaga

Nord: 4937092.372

Est: 1682428.522

Rettilinee

Nord: 3164101.165

Est: 9889706.036

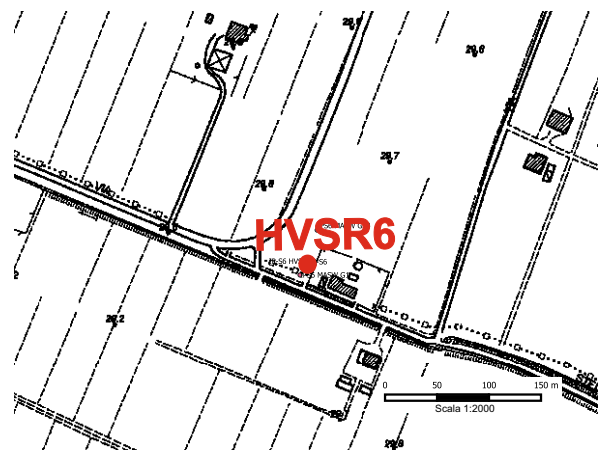
Documentazione Fotografica



Stralcio mappa Google Earth



Stralcio planimetrico



Descrizione: Ubicato a lato di un'abitazione, in via Stelloni Levante 25, nei pressi di un incrocio con via Guardatello, nel Comune di Calderara di Reno (BO).

Capisaldi di riferimento: Inquadramento 2016 e Raffittimento 2016 - I08, R08, R33, R106

Rilevato: 24/08/2021

3. Area di sito: IP-S6

3.1 HVSR6

3.1.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

- frequenza campionamento 172 Hz
- durata: 25 min

3.1.2 FINESTRE SELEZIONATE

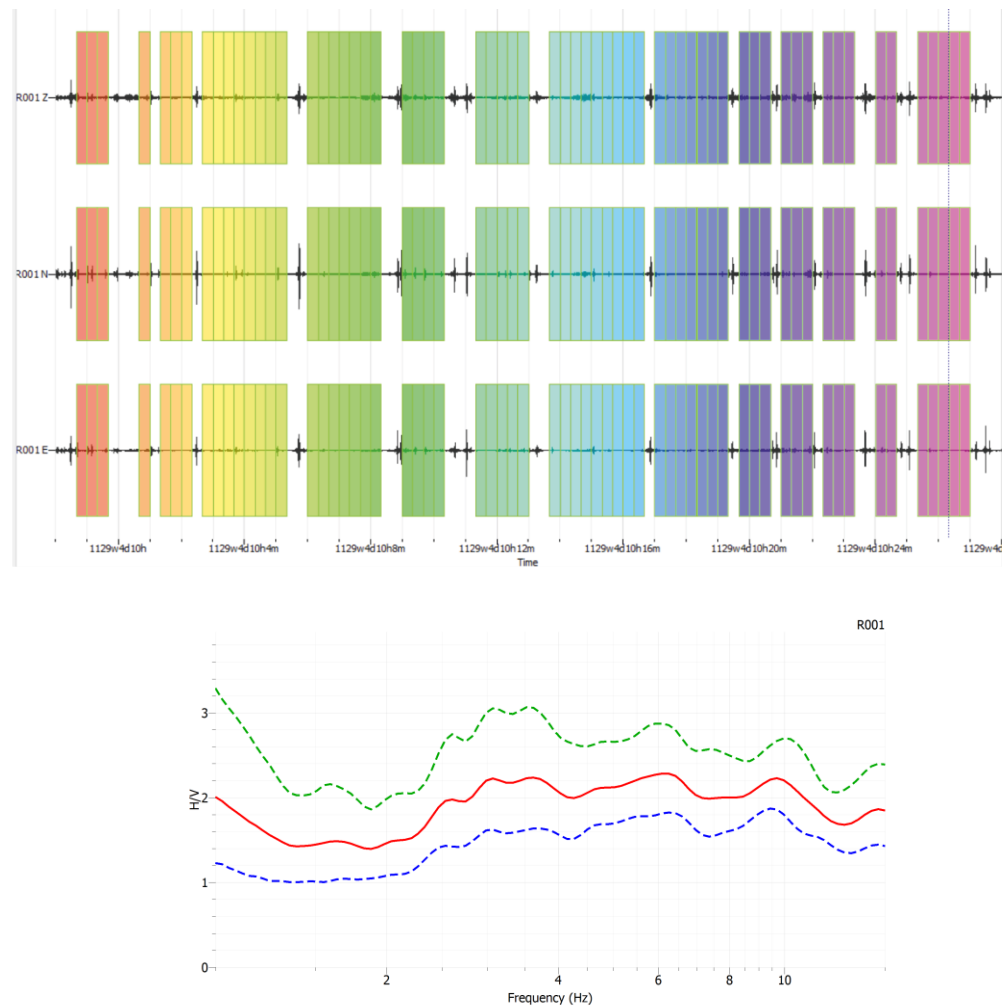


FIG. 3.1: HVSR6 - Selezione finestre temporali e calcolo rapporto H/V

3.1.3 VISUALIZZAZIONE E CALCOLO DEGLI SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI.

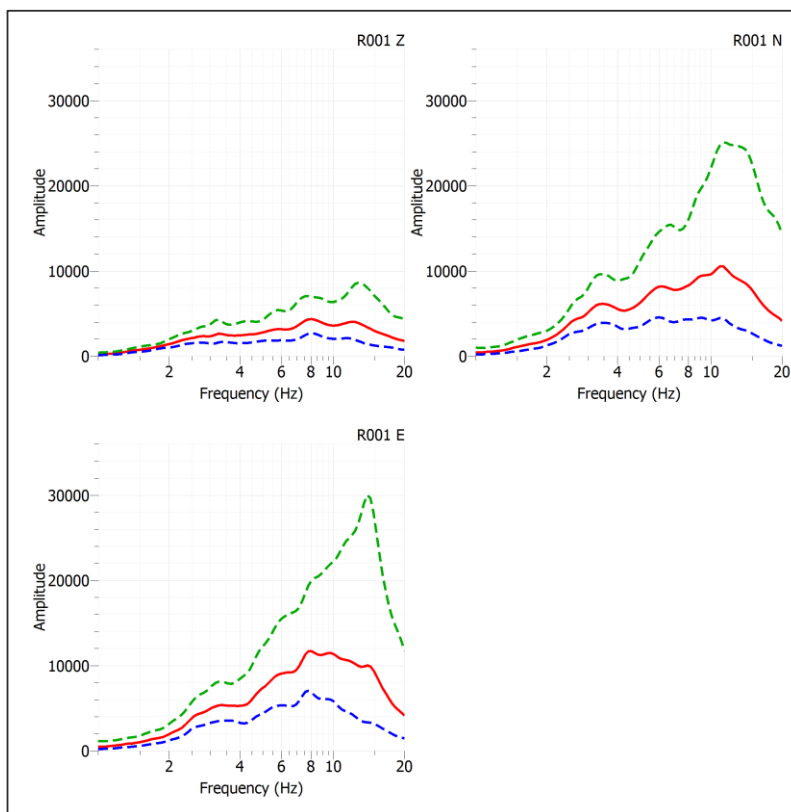


FIG. 3.2: HVSR6 - Spettri medi di tutte e tre le componenti con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra.

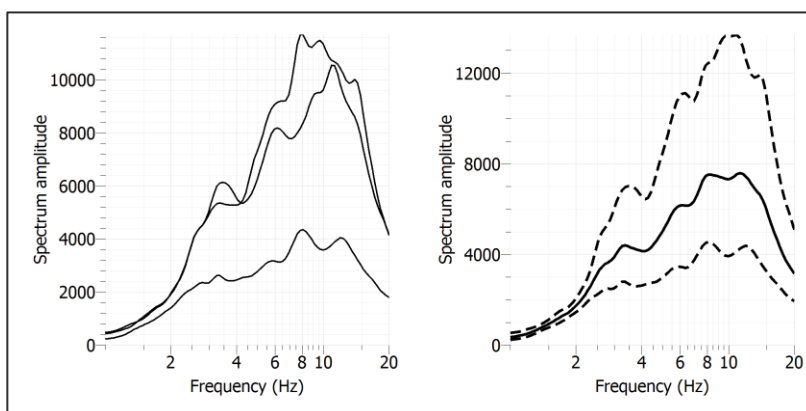


FIG. 3.3: HVSR6 – Nel grafico di sinistra sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti; Il grafico a destra rappresenta lo spettro medio complessivo e la sua deviazione standard.

3.1.4 STIMA BONTÀ DELL'INDAGINE HVSR: VALUTAZIONE DELLA STAZIONARIETÀ E DELLA DIREZIONALITÀ DEL RAPPORTO H/V.

Per stazionarietà si intende la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale.

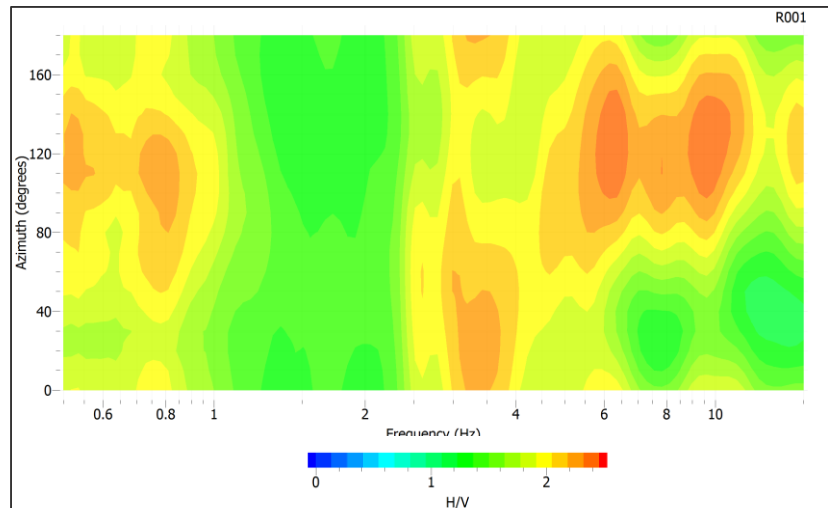


FIG. 3.4: HVSR6 – rapporto H/V per ogni 10° di rotazione, che riporta sulle ascisse la frequenza, sulle ordinate la rotazione e in cui il colore rappresenta l'ampiezza del rapporto.

3.1.5 VERIFICA CRITERI SESAME IP-HVSR6

Picco in frequenza: 1,77 Hz.

Criteri di affidabilità della curva H/V

| | |
|---|----|
| $f_0 > 10/l_w$ | Ok |
| $n_c(f_0) > 200$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$ | Ok |

Criteri di affidabilità di picco

| | |
|--|----|
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | Ok |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | NO |
| $A_0 > 2$ | Ok |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

3.6 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR6

(Classificazione proposta da Albarello et alii,2010 e Albarello & Castellaro, 2011)

La misura rientra in Classe B

Curva HVSR sospetta (da “valutare criticamente”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

Tipo 2

H/V affidabile e interpretabile: non ha un picco chiaro.

3.2. MASW6

Di seguito vengono riportati i risultati della prova eseguita.

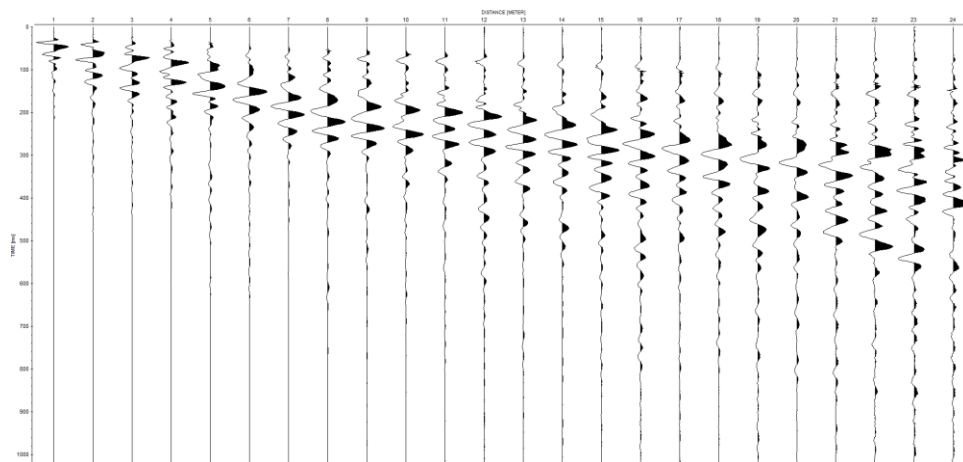


FIG. 3.5: MASW6 – registrazione di campagna

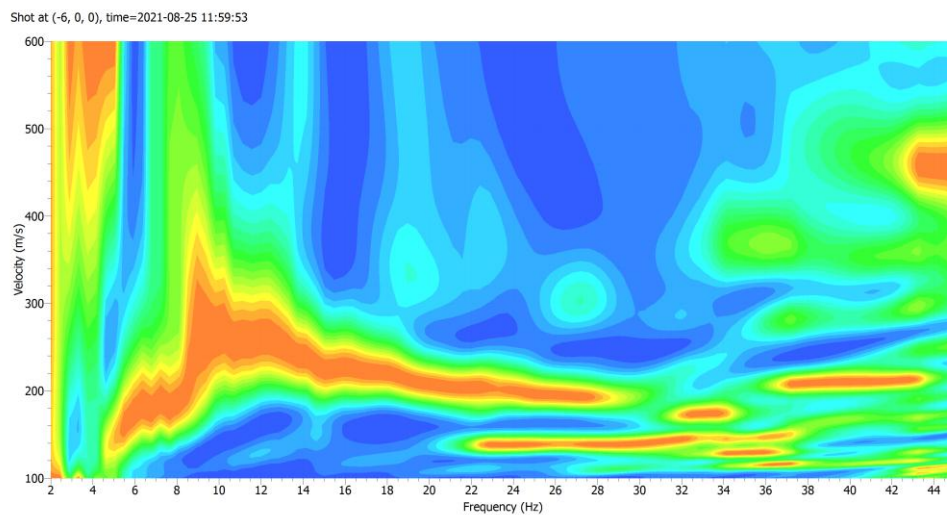


FIG. 3.6: MASW6– Curva di Dispersione

Shot at (-6, 0, 0), time=2021-08-25 11:59:53

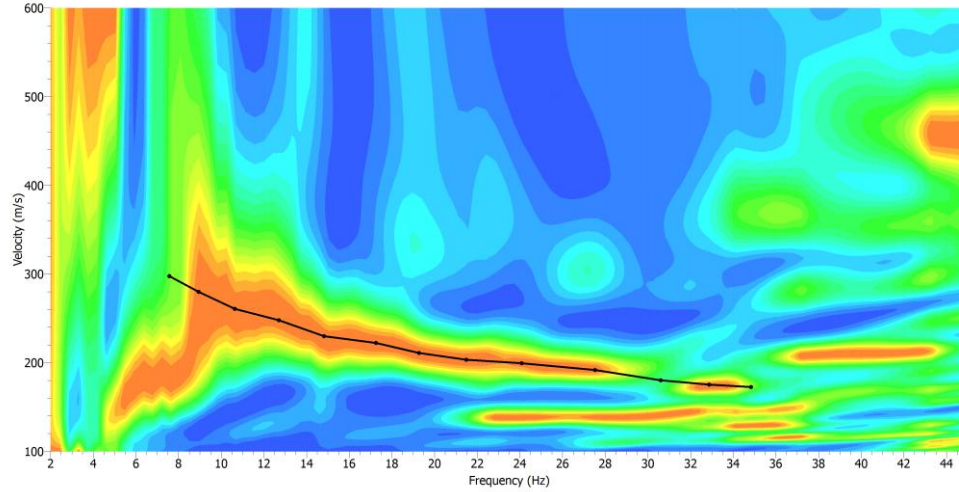


FIG. 3.7: MASW6 – Curva di dispersione sperimentale



FIG. 3.8: MASW6 – Foto stendimento

3. 3. ELABORAZIONE CONGIUNTA MASW6 + HVSR6

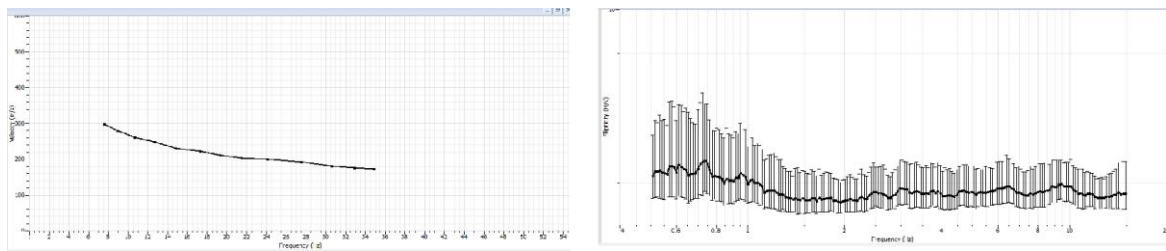


FIG. 3.9 Dati input per elaborazione congiunta

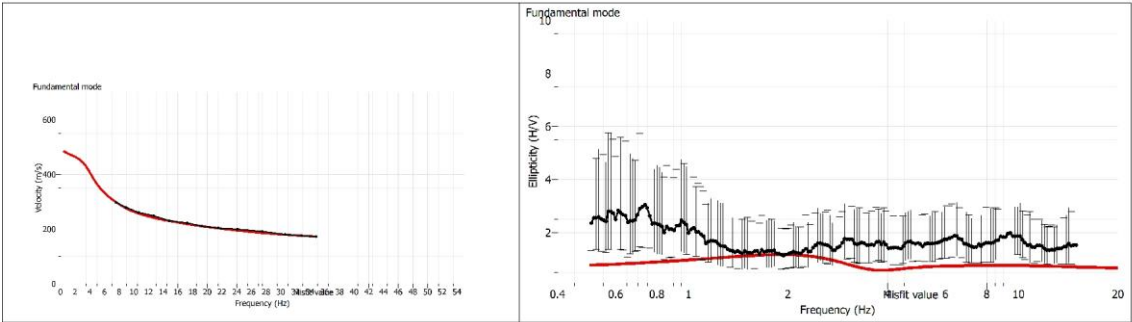


FIG. 3.10 Inversione del modello e confronto con i dati di input

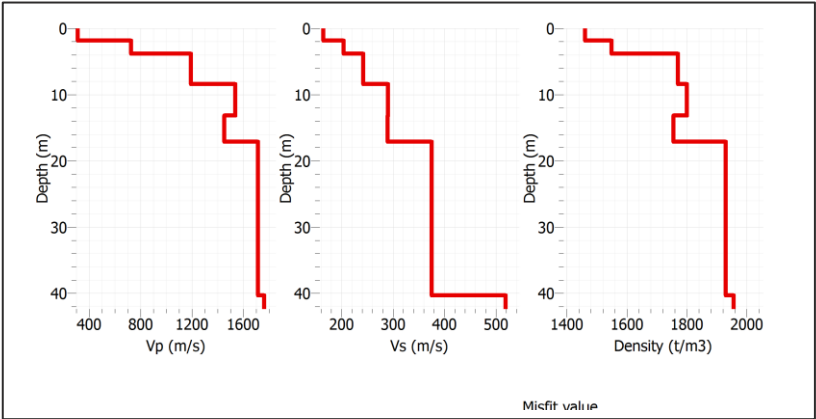


FIG. 3.11 Profili velocità onde P Velocità onde S e Densità

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1 | 310 | 165 | 1.80 | 1.80 | 39.69 | 1460 | 0.30 |
| 2 | 726 | 204 | 3.82 | 2.02 | 64.48 | 1549 | 0.46 |
| 3 | 1191 | 242 | 8.41 | 4.59 | 103.70 | 1770 | 0.48 |
| 4 | 1536 | 291 | 13.12 | 4.72 | 151.95 | 1800 | 0.48 |
| 5 | 1451 | 289 | 17.07 | 3.95 | 146.93 | 1755 | 0.48 |
| 6 | 1714 | 375 | 40.30 | 23.23 | 271.40 | 1930 | 0.47 |
| 7 | 1762 | 519 | 0,00 | 0,00 | 526.66 | 1956 | 0.45 |

Tab. 3.1. Parametrizzazione - Valori numerici

Indagine sismica passiva HVSR7



COMMITTENTE: TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.a.

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO, POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA, INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE, INTERMEDIA DI PIANURA, PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE), INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Coordinate e quote

Geografiche WGS84

Latitudine: 44°33'16.83125"N

Longitudine: 11°20'00.24258"E

Quota ell.

68.278

Quota s.l.m.

28.917 m

Piane Gauss-Boaga

Nord: 4936148.075

Est: 1685357.553

Rettilinee

Nord: 3163115.205

Est: 9892621.177

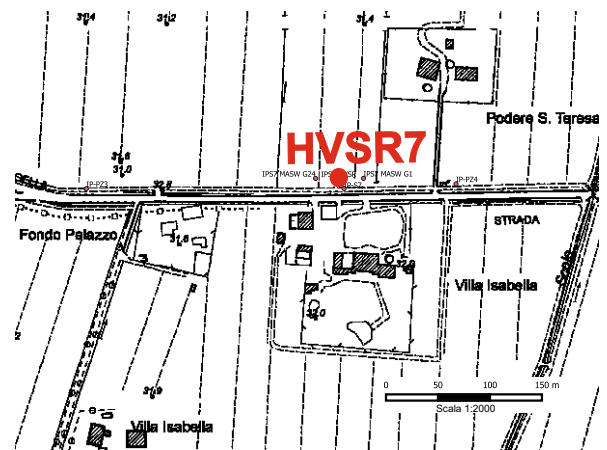
Documentazione Fotografica



Stralcio mappa Google Earth



Stralcio planimetrico



Descrizione: Ubicato a bordo strada in via Corticella, di fianco a una pista ciclabile, nel Comune di Castel Maggiore (BO).

Capisaldi di riferimento: Inquadramento 2016 e Raffittimento 2016 - I08, R08, R33, R106

Rilevato: 24/08/2021

4. Area di sito: IP-S7

4. HVSR7

4.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

- frequenza campionamento 172 Hz
- durata: 30 min

4.1.12 FINESTRE SELEZIONATE

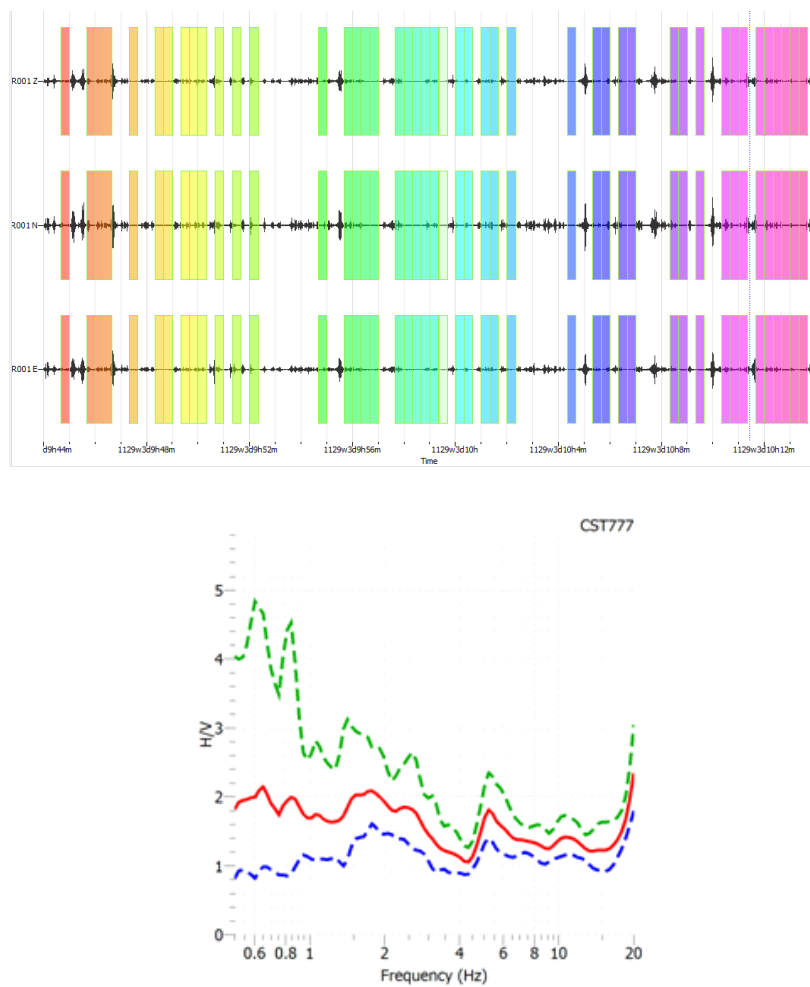


FIG. 4.1: HVSR7 - Selezione finestre temporali e calcolo rapporto H/V

4.1.3 VISUALIZZAZIONE E CALCOLO DEGLI SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI.

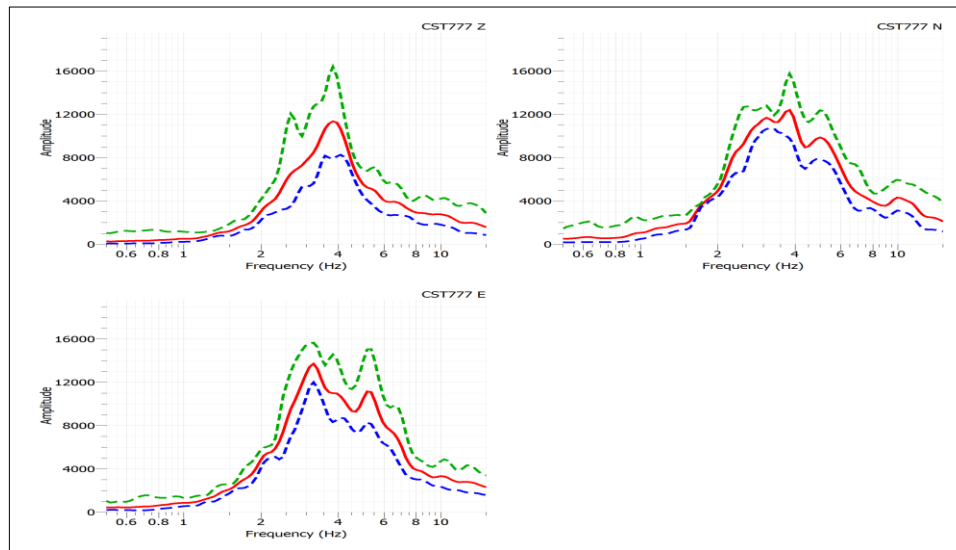


FIG. 4.2: HVSR7 - Spettri medi di tutte e tre le componenti con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra.

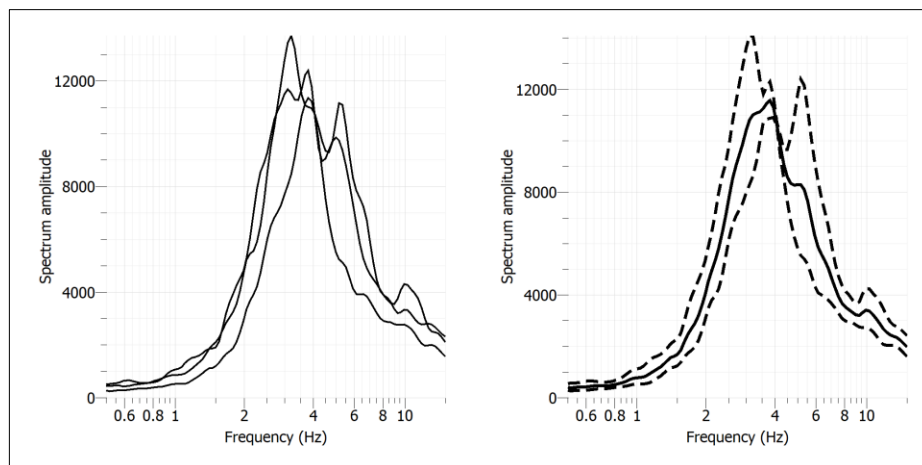


FIG. 4.3: HVSR7 – Nel grafico di sinistra sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti; Il grafico a destra rappresenta lo spettro medio complessivo e la sua deviazione standard.

4.1.4 STIMA BONTÀ DELL'INDAGINE HVSR: VALUTAZIONE DELLA STAZIONARIETÀ E DELLA DIREZIONALITÀ DEL RAPPORTO H/V.

Per stazionarietà si intende la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale.

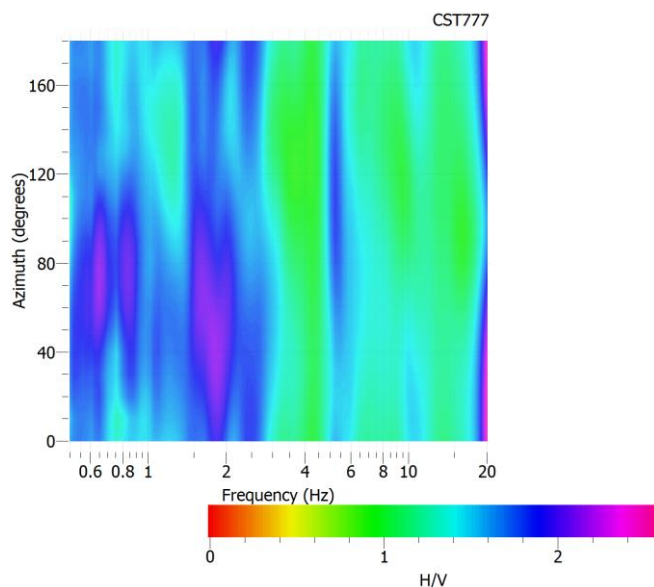


FIG. 4.4: HVSR7 – rapporto H/V per ogni 10° di rotazione, che riporta sulle ascisse la frequenza, sulle ordinate la rotazione e in cui il colore rappresenta l'ampiezza del rapporto.

4.1.5 VERIFICA CRITERI SESAME HVSR7

Picco in frequenza: 6,2 Hz.

Criteri di affidabilità della curva H/V

| | |
|---|----|
| $f_0 > 10/l_w$ | Ok |
| $n_c(f_0) > 200$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$: | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$: | Ok |

Criteri di affidabilità di picco

| | |
|--|----|
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | Ok |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | NO |
| $A_0 > 2$ | Ok |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

4.1.6 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR7

(Classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011)

La misura rientra in Classe B

Curva HVSR sospetta (da “valutare criticamente”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

Tipo 2

H/V affidabile e interpretabile: non ha un picco chiaro.

4.2. MASW7

Di seguito vengono riportati i risultati della prova eseguita.

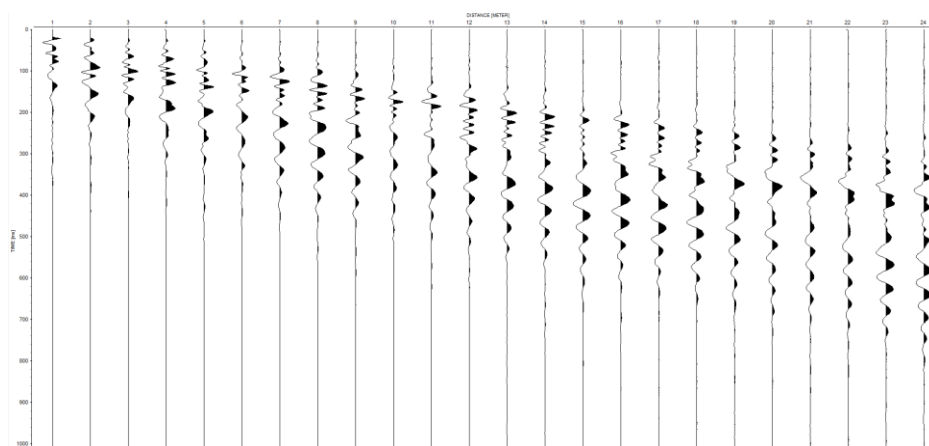


FIG. 4.5: MASW7 – registrazione di campagna

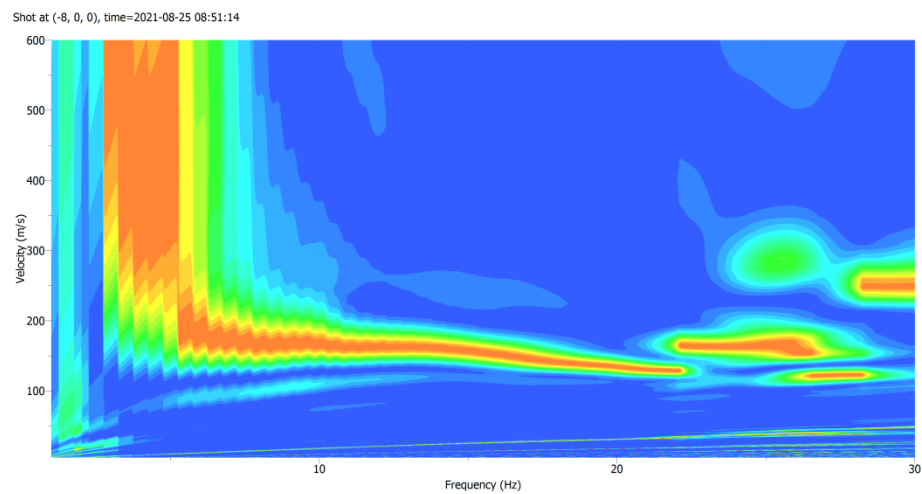


FIG. 4.6: MASW7 – Curva di Dispersione

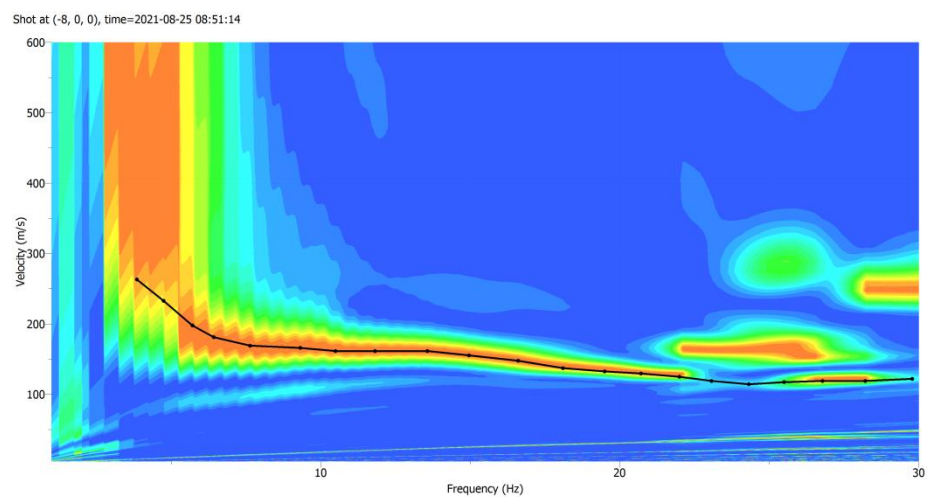


FIG. 4.7: MASW7 – Curva di dispersione sperimentale



FIG. 4.8: MASW7 – Foto stendimento

4.3. ELABORAZIONE CONGIUNTA MASW7 + HVSR7

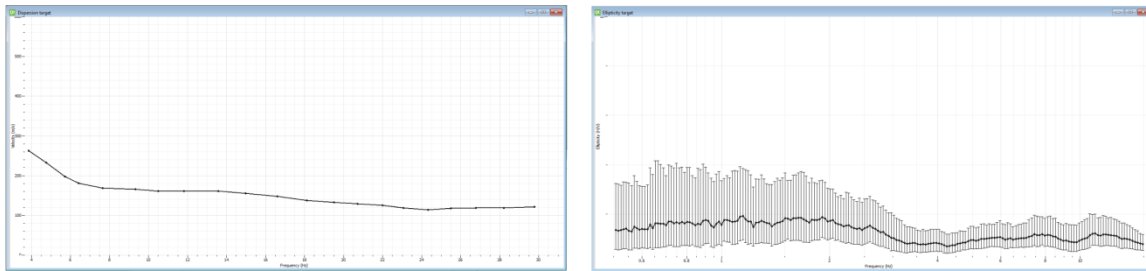


FIG. 4.9 Dati input per elaborazione congiunta

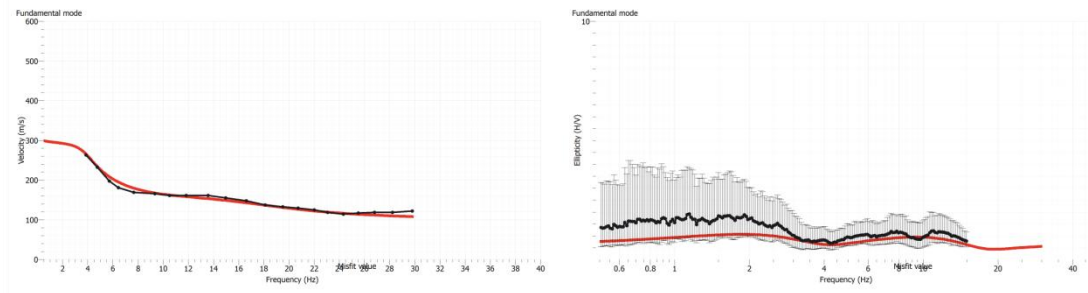


FIG. 4.10 Inversione del modello e confronto con i dati di input

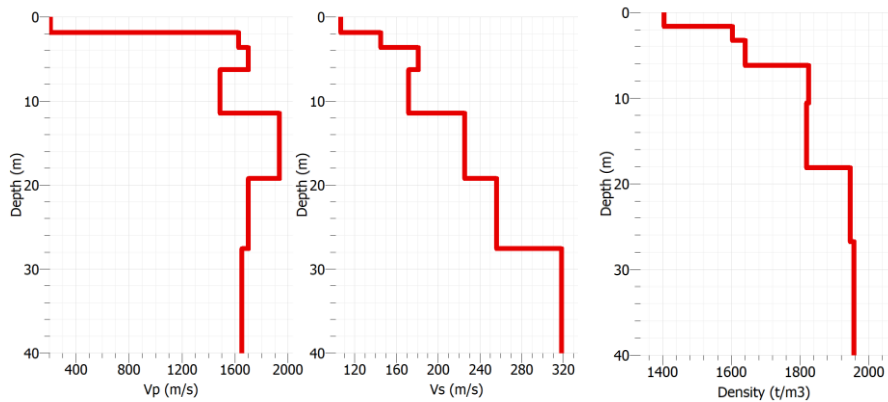


FIG. 4.11 Profili velocità onde P, Velocità onde S e Densità

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1 | 303 | 101 | 1,61 | 1,61 | 14,38 | 1.404 | 0,44 |
| 2 | 1.043 | 134 | 3,28 | 1,67 | 28,76 | 1.603 | 0,49 |
| 3 | 1.209 | 214 | 6,18 | 2,90 | 74,81 | 1.640 | 0,48 |
| 4 | 1.758 | 177 | 10,57 | 4,39 | 57,13 | 1.826 | 0,49 |
| 5 | 1.504 | 216 | 18,13 | 7,56 | 85,25 | 1.820 | 0,49 |
| 6 | 1.792 | 274 | 26,77 | 8,64 | 145,93 | 1.946 | 0,49 |
| 7 | 1.691 | 311 | 0,00 | 0,00 | 189,35 | 1.958 | 0,48 |

Tab. 4.1. Parametrizzazione - Valori numerici

Indagine sismica passiva HVSRR9



COMMITTENTE: TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.a.

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO, TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO, POTENZIAMENTO DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA, INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE, INTERMEDIA DI PIANURA, PROGETTO DEFINITIVO (REVISIONE), INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.

Coordinate e quote

Geografiche WGS84

Latitudine: 44°33'14.39229"N

Longitudine: 11°20'32.90175"E

Quota ell.

68.338

Quota s.l.m.

28.567 m

Piane Gauss-Boaga

Nord: 4936093.465

Est: 1686080.260

Rettilinee

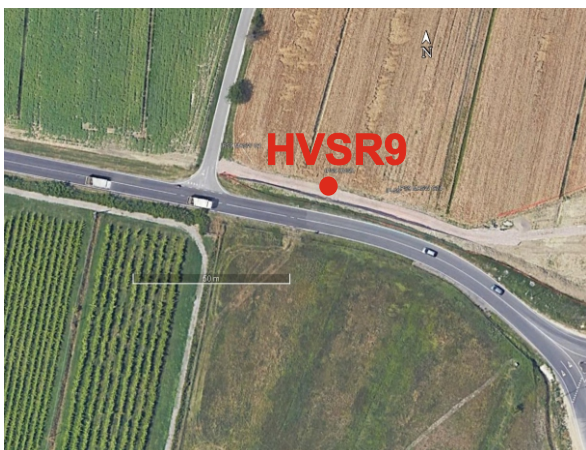
Nord: 3163050.292

Est: 9893342.997

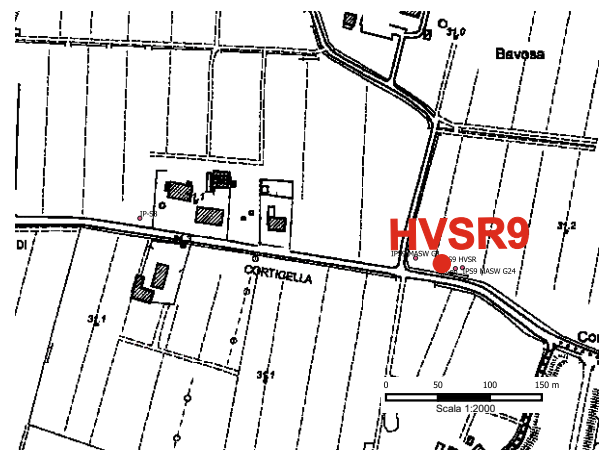
Documentazione Fotografica



Stralcio mappa Google Earth



Stralcio planimetrico



Descrizione: Ubicato a bordo strada in via Corticella, di fianco a una pista ciclabile, nei pressi della rotonda con Sp87 Nuova Galliera, nel Comune di Castel Maggiore (BO).

Capisaldi di riferimento: Inquadramento 2016 e Raffittimento 2016 - I08, R08, R33, R106

Rilevato: 24/08/2021

5. Area di sito: IP-S9

5.1. HVSR 9

5.1.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

- frequenza campionamento 172 Hz
- durata: 25 min

5.1.2 FINESTRE SELEZIONATE

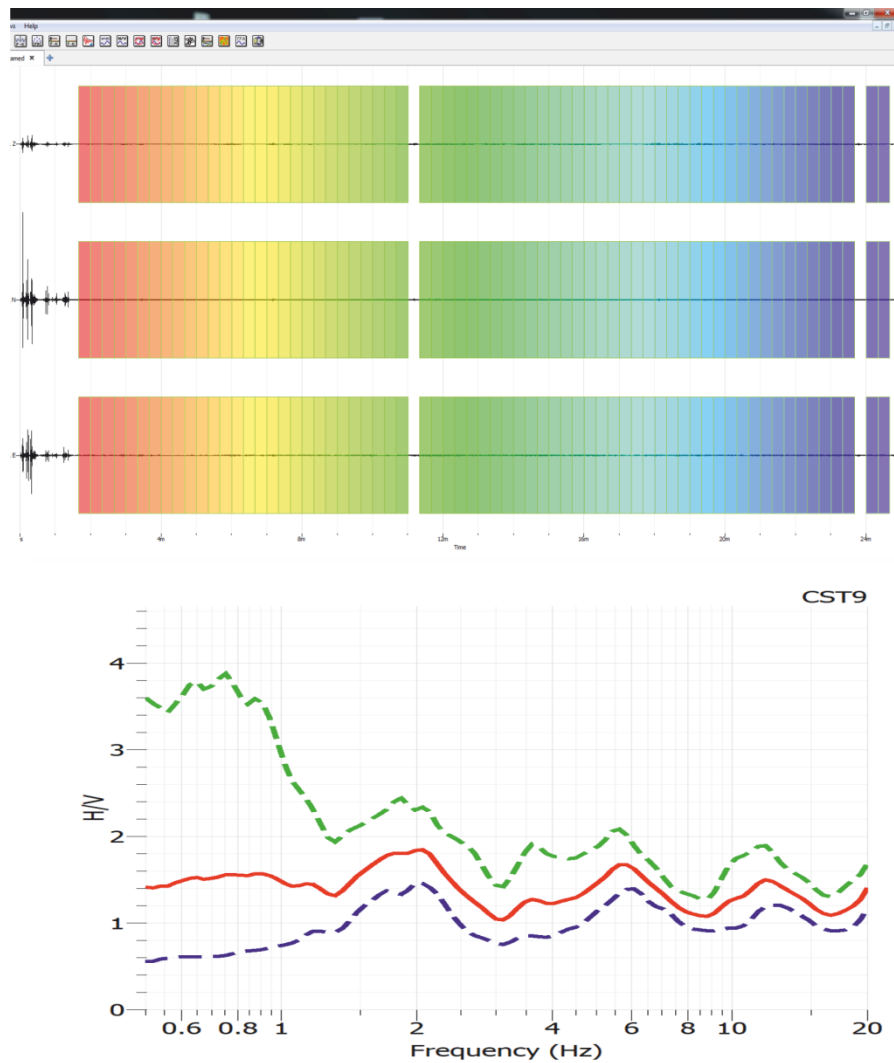


FIG. 5.1: HVSR9 - Selezione finestre temporali e calcolo rapporto H/V

5.1.3 VISUALIZZAZIONE E CALCOLO DEGLI SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI.

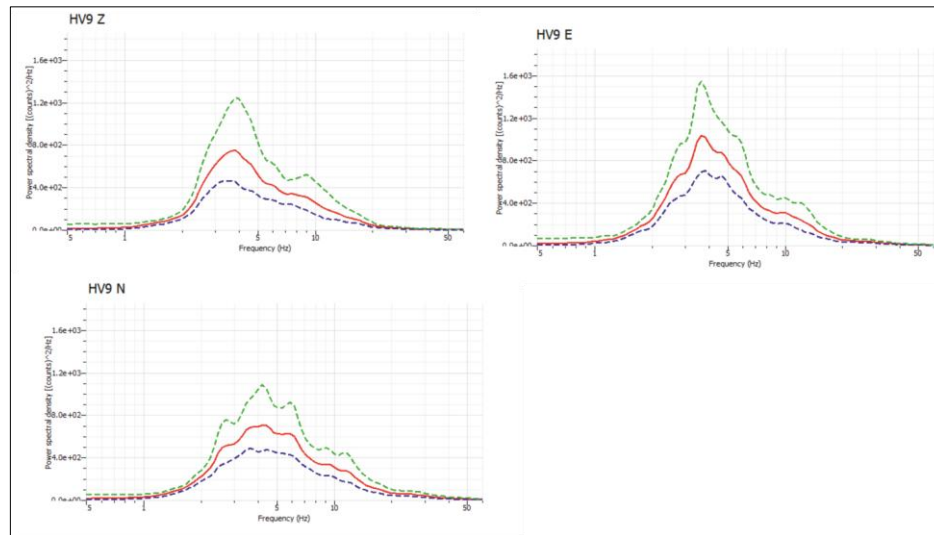


FIG. 5.2: HVSR9 - Spettri medi di tutte e tre le componenti con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra.

FIG. 5.3: HVSR9 – Nel grafico di sinistra sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti; Il

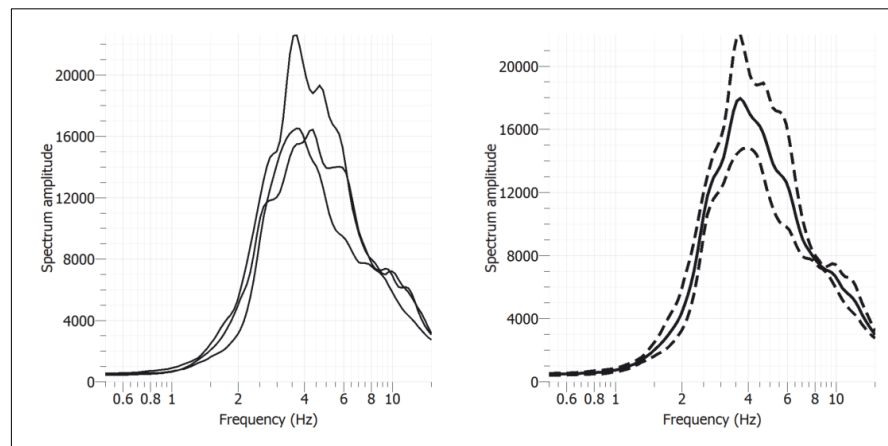


grafico a destra rappresenta lo spettro medio complessivo e la sua deviazione standard.

5.1.4 STIMA BONTÀ DELL'INDAGINE HVSR: VALUTAZIONE DELLA STAZIONARIETÀ E DELLA DIREZIONALITÀ DEL RAPPORTO H/V.

Per stazionarietà si intende la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale.

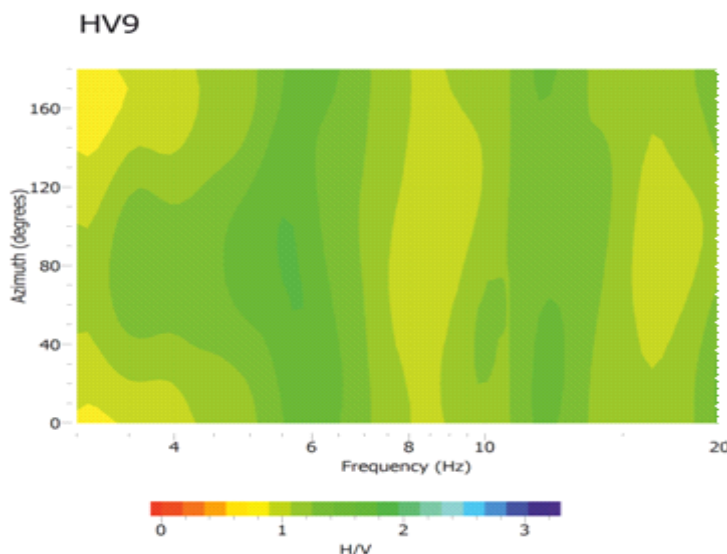


FIG. 5.4: IP-HVSR9 – rapporto H/V per ogni 10° di rotazione, che riporta sulle ascisse la frequenza, sulle ordinate la rotazione e in cui il colore rappresenta l'ampiezza del rapporto.

5.1.5 VERIFICA CRITERI SESAME IP-HVSR9

Picco in frequenza: 2,07 Hz.

Criteri di affidabilità della curva H/V

| | |
|---|----|
| $f_0 > 10/l_w$ | Ok |
| $n_c(f_0) > 200$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$ | Ok |

Criteri di affidabilità di picco

| | |
|--|----|
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | NO |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | NO |
| $A_0 > 2$ | NO |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

1.6 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE IP-HVSR9

(Classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011)

La misura rientra in Classe B

Curva HVSR sospetta (da “valutare criticamente”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

Tipo 2

H/V affidabile e interpretabile: non ha un picco chiaro.

5.2. MASW9

Di seguito vengono riportati i risultati della prova eseguita.

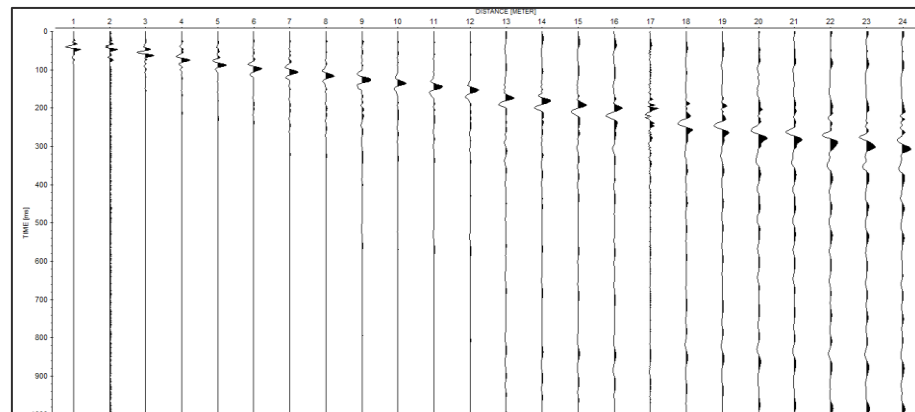


FIG. 5.5: MASW9 – registrazione di campagna

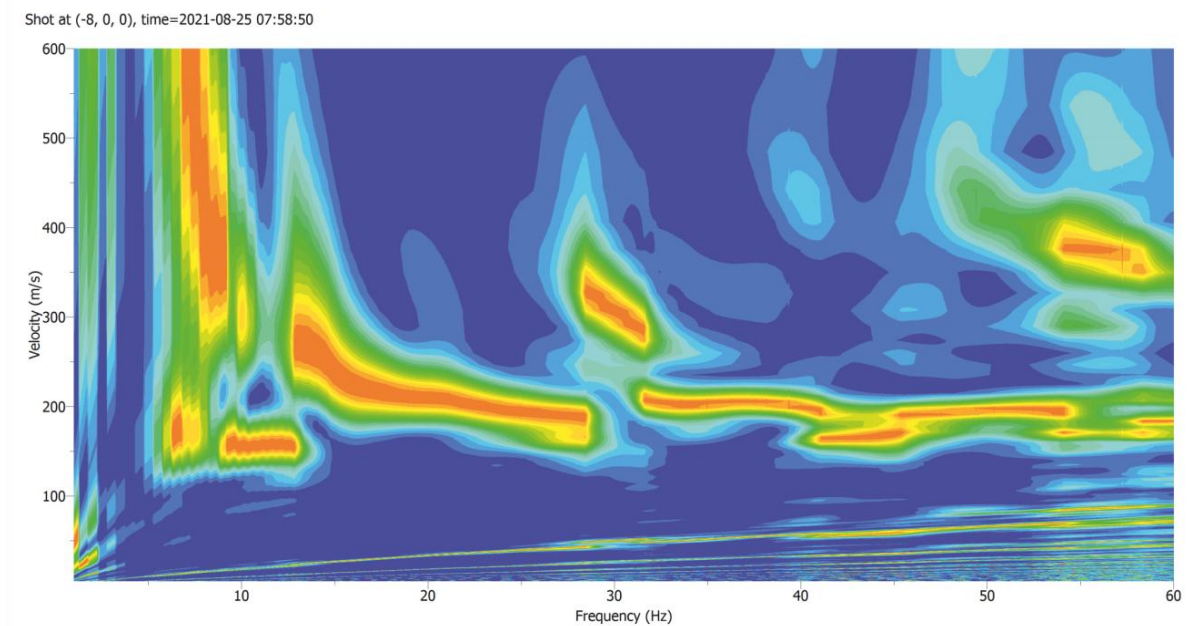


FIG. 5.6: MASW9 – Curva di Dispersione

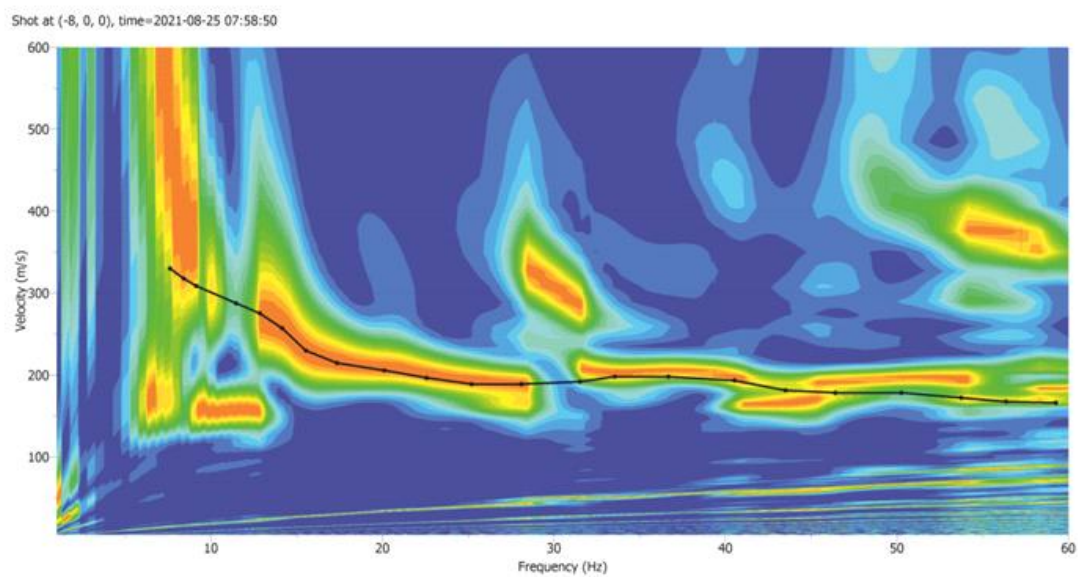


FIG. 5.7: MASW9 – Curva di dispersione sperimentale



FIG. 5.8: MASW9 – Foto stendimento

5.3. ELABORAZIONE CONGIUNTA MASW9 + HVSR9

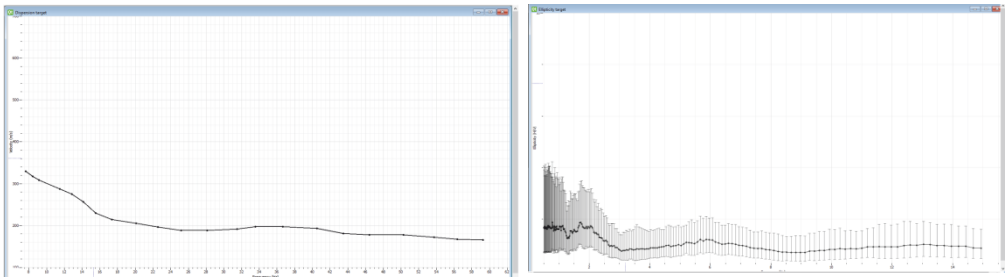


FIG. 5.9 Dati input per elaborazione congiunta

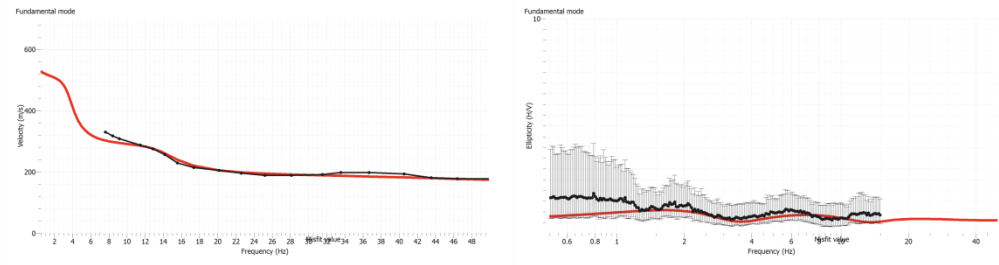


FIG. 5.10 Inversione del modello e confronto con i dati di input

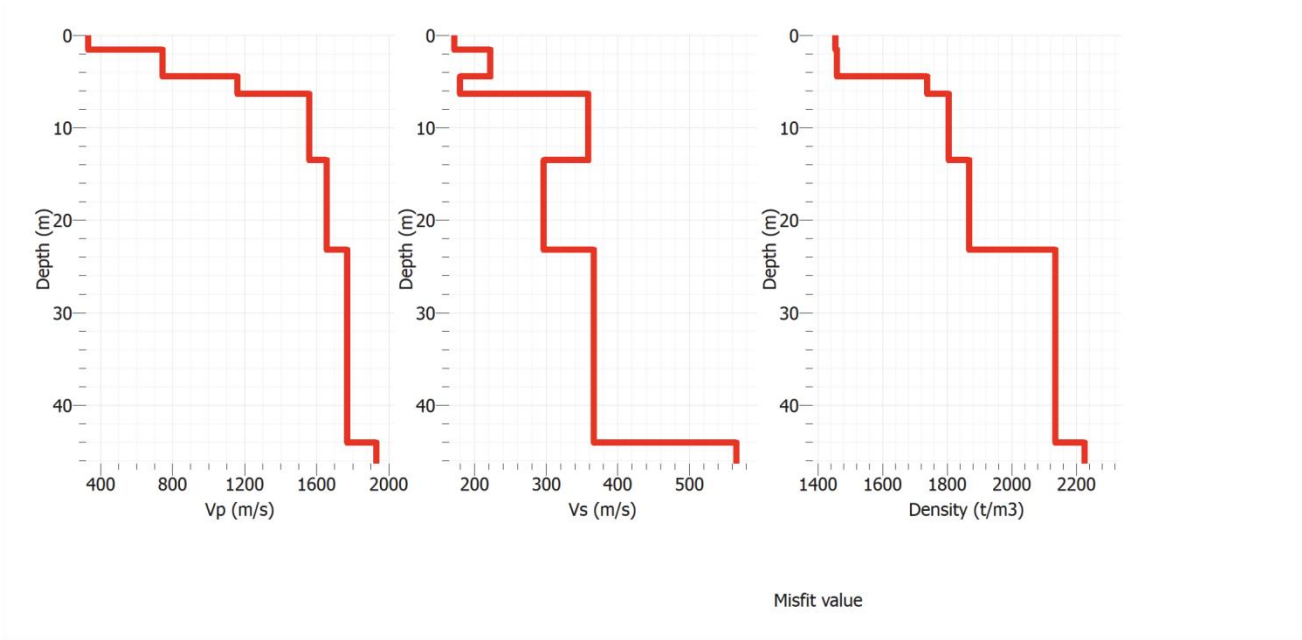


FIG. 5.11 Profili velocità onde P, Velocità onde S e Densità

| N. | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | Profondità (m) | Spessore (m) | Modulo di taglio (Mpa) | Densità (kg/m ³) | Poisson |
|----|---------------|---------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1 | 331 | 172 | 1,5 | 1,5 | 425,16 | 1454 | 0,31 |
| 2 | 744 | 222 | 4,4 | 2,9 | 712,10 | 1458 | 0,45 |
| 3 | 1159 | 179 | 6,3 | 1,8 | 557,19 | 1739 | 0,48 |
| 4 | 1558 | 359 | 13,45 | 7,15 | 2326,30 | 1805 | 0,47 |
| 5 | 1655 | 297 | 23,15 | 9,70 | 1637,54 | 1869 | 0,48 |
| 6 | 1769 | 366 | 44,05 | 20,90 | 2859,96 | 2135 | 0,47 |
| 7 | 1932 | 566 | - | - | 7127,92 | 2225 | 0,45 |

Tab. 5.1. Parametrizzazione - Valori numerici