



MINISTERO DELLE
INFRASTRUTTURE E DELLA
MOBILITÀ SOSTENIBILI



E.N.A.C.
ENTE NAZIONALE per
L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035

Titolo Documento

Pista di volo 11-29, Taxiways e Aprons
Allegato B - RWY 11-29

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	CODICE FILE
PFTE	00	Settembre 2022	FLR-MPL-PFTE-RWY3-003-GL-SC_Geo All B RWY 11-29
			TITOLO RIDOTTO
			Geo All B RWY 11-29

00	09/2022	Prima Emissione	TERRA E OPERE	R. SORRENTINO	L. TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE	PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
 ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti	 DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	 PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Dott. Geol. Michele Sani Ordine dei Geologi della Toscana n°383
POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Raffaello Sorrentino Ordine degli Ingegneri di Perugia n. A-2813	
POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito		
POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini		

B) Indagini sismiche

CENNI TEORICI - ANALISI CON ONDE SUPERFICIALI: MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto; negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sulle analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su una energizzazione sismica artificiale del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999): la curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Pertanto, è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curva di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità"; l'analisi ed interpretazione delle tracce è ottenuta mediante software Winmasw 1.7 della EliaSoft.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sismografo AMBROGEO ECHO 24-2010 a 24 canali
- Geofoni da 4,5 Hz
- Geometria dei rilievi: distanza intergeofonica di 5 m per un totale di 60 m
- Tromino Micromed

SOFTWARE UTILIZZATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DATI

Acquisizione dei dati

SISMOPC 1.0 - PASI AMBROGEO

Elaborazione e filtraggio

<i>Visual Sunt 20</i>	<i>Wgeosoft-filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>Seismic Unix</i>	<i>Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>WinMasw Pro</i>	<i>EliaSoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione</i>
<i>Grilla</i>	<i>Tromino-H/V</i>
<i>Geopsy</i>	<i>Software Libero-H/V</i>
<i>Winsism 11.2</i>	<i>Wgeosoft-sismica a rifrazione</i>
<i>Rayfract</i>	<i>Intelligent resource-sismica a rifrazione</i>

Modelli 1 D e rischio sismico

<i>Deep Soil</i>	<i>software libero-Risposta di sito modellazione 1D</i>
<i>Rexel</i>	<i>software libero-risposta di sito-terremoto di progetto</i>
<i>Shake 2000</i>	<i>Geo Motions-risposta di sito-modellazione 1D-liquefazione</i>
<i>Cyclic 1D</i>	<i>software libero-liquefazione</i>

Sistemi di energizzazione

Generazione di onde P ed energizzazione per rilievo MASW: massa battente (mazza da 8 kg)

GEOMETRIA DEI RILIEVI

Sono stati eseguiti 10 indagini geofisiche MASW con lunghezza dello stendimento pari a 60 m. Al centro dello stendimento è stata eseguita una indagine HVSR, consultabile in nota separata.

RISULTATI OTTENUTI – CONSIDERAZIONI GENERALI

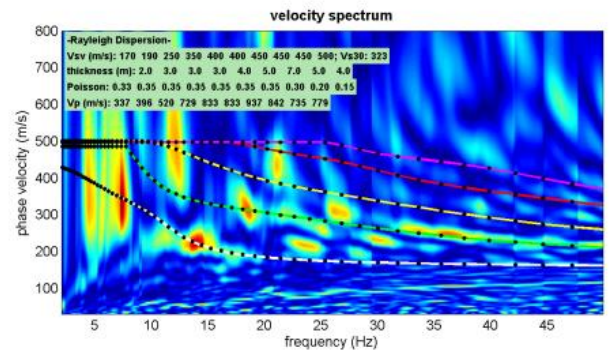
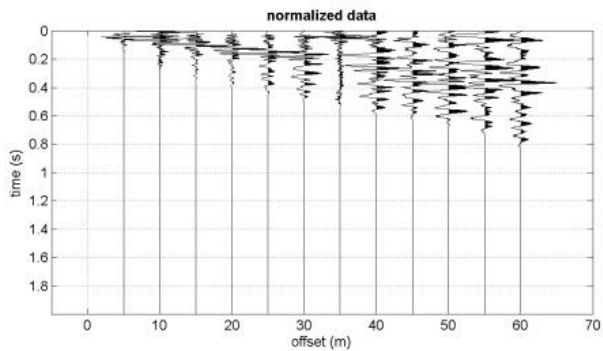
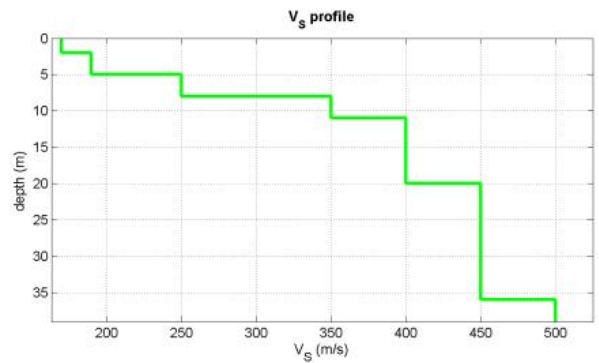
Analizzando nel complesso i risultati dei MASW eseguiti, si nota innanzitutto che questi confermano il modello di sottosuolo derivante dall'analisi della sismica a rifrazione in onde P ed Sh.

In particolare si rileva la presenza di uno spessore superficiale di sedimenti dotati di compattezza mediocre dello spessore compreso fra 5 e 10 m ai quali seguono livelli a compattazione maggiore con un graduale incremento delle velocità con la profondità.

MASW 6 – MEAN MODEL

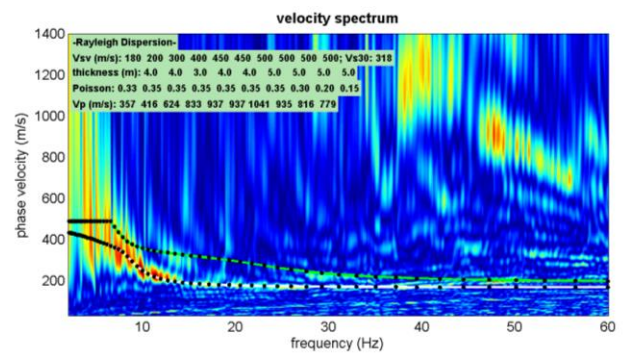
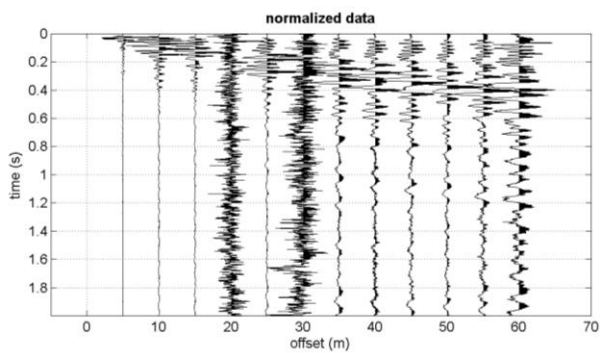
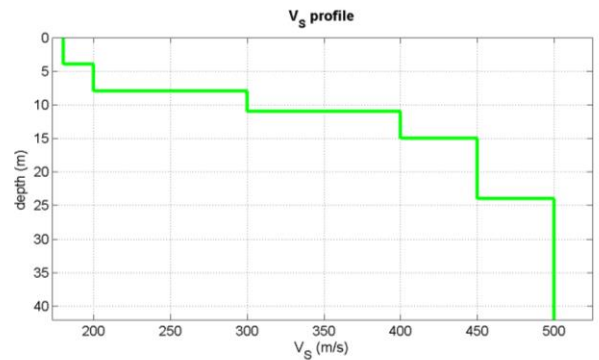
Vs (m/s)	170	190	250	350	400	400	450	450	450	500
Thickness (m)		2	3	3	3	4	5	7	5	4
Density (gr/cm ³)	1.79	1.83	1.90	1.98	2.01	2.01	2.04	2.01	1.98	1.99
Dynamic Shear Modulus (MPa)	52	66	118	242	322	322	413	407	401	498
Vs₃₀ = 323 m/s										

www.winmasw.com



MASW 9 – MEAN MODEL

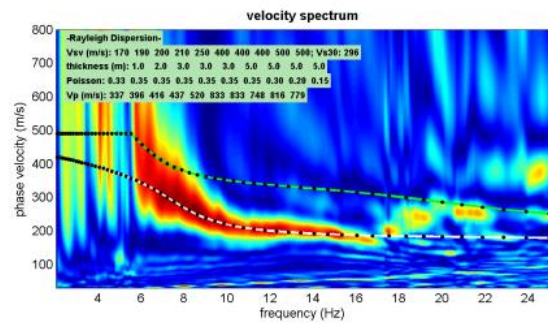
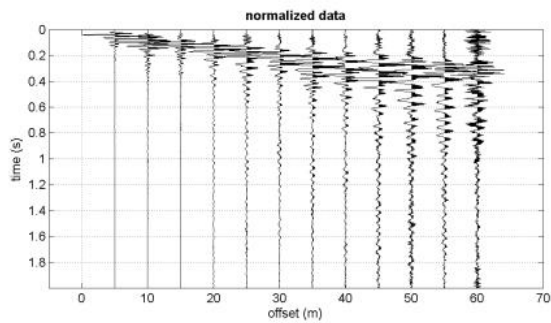
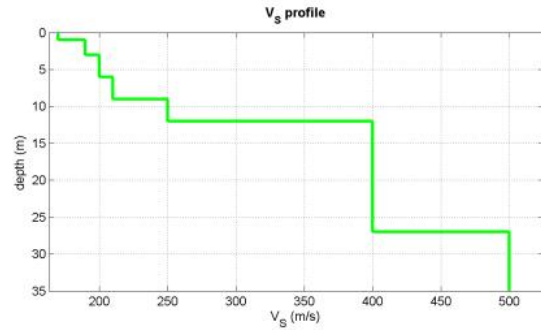
Vs (m/s)	180	200	300	400	450	450	500	500	500	500
Thickness (m)	4	4	3	4	4	5	5	5	5	5
Density (gr/cm ³)	1.81	1.84	1.94	2.01	2.04	2.04	2.06	2.04	2.00	1.99
Dynamic Shear Modulus (MPa)	58	74	175	322	413	413	516	509	501	498
Vs₃₀ = 318 m/s										



MASW 10 – MEAN MODEL

Vs (m/s)	170	190	200	210	250	400	400	400	500	500
Thickness (m)		1	2	3	3	3	5	5	5	5
Density (gr/cm ³)	1.79	1.83	1.84	1.85	1.90	2.01	2.01	1.98	2.00	1.98
Dynamic Shear Modulus (MPa)	52	66	74	82	118	322	322	317	501	498
Vs₃₀ = 296 m/s										

www.winmasw.com



HVSR 6

Strumento: TRZ-0135/01-11

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)

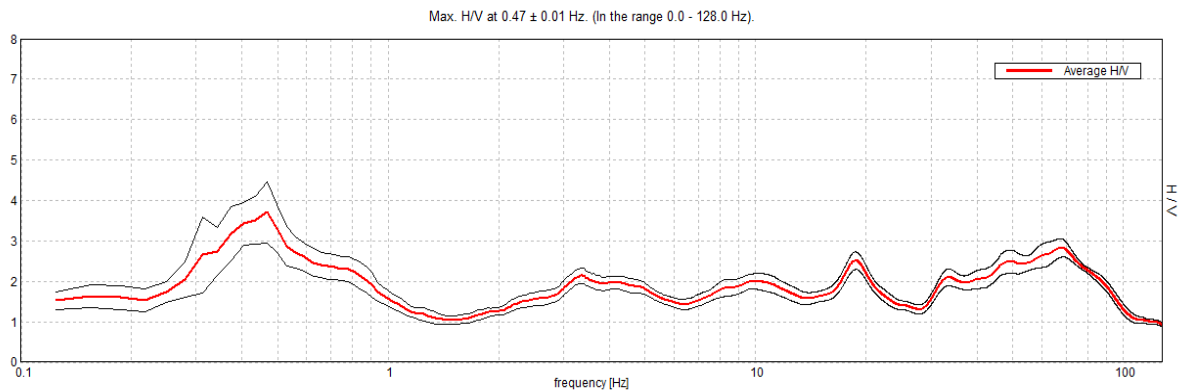
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

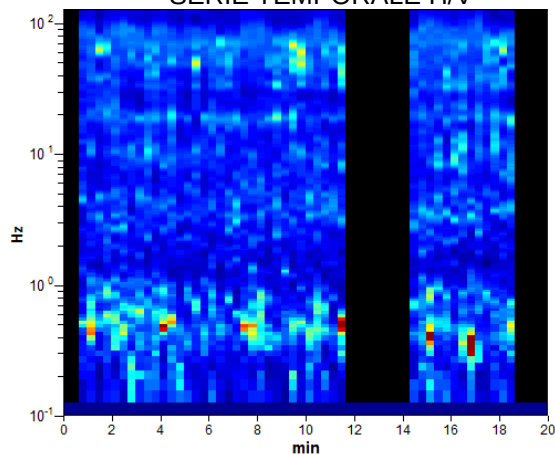
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

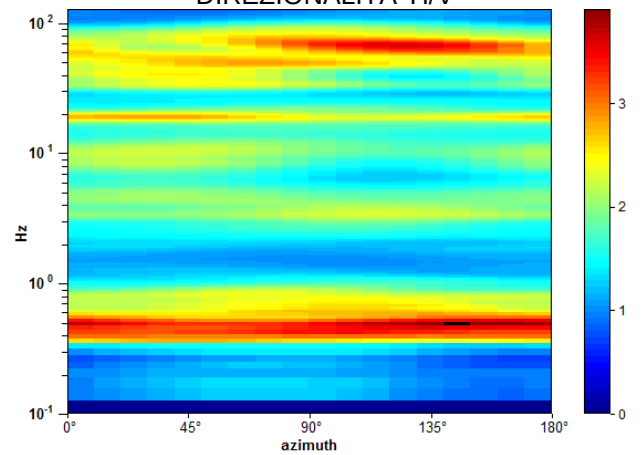
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



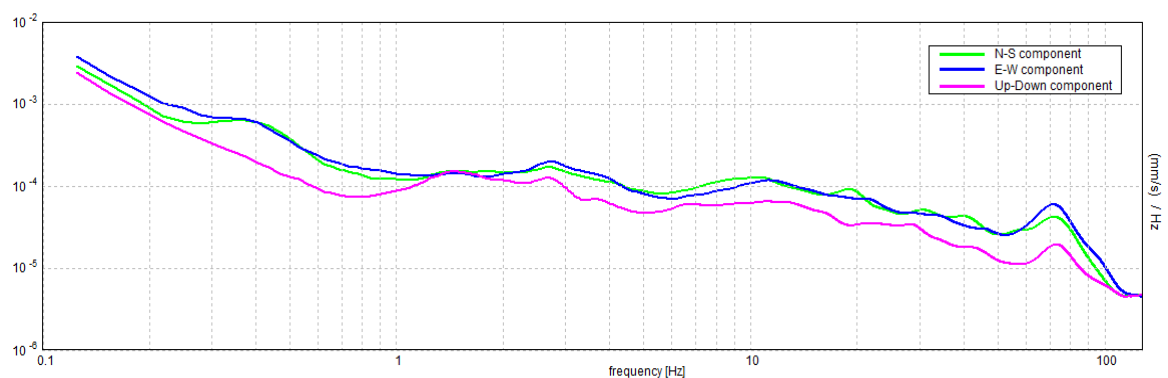
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.47 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.47 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$431.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 24	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.71 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03108 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01457 < 0.09375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7494 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

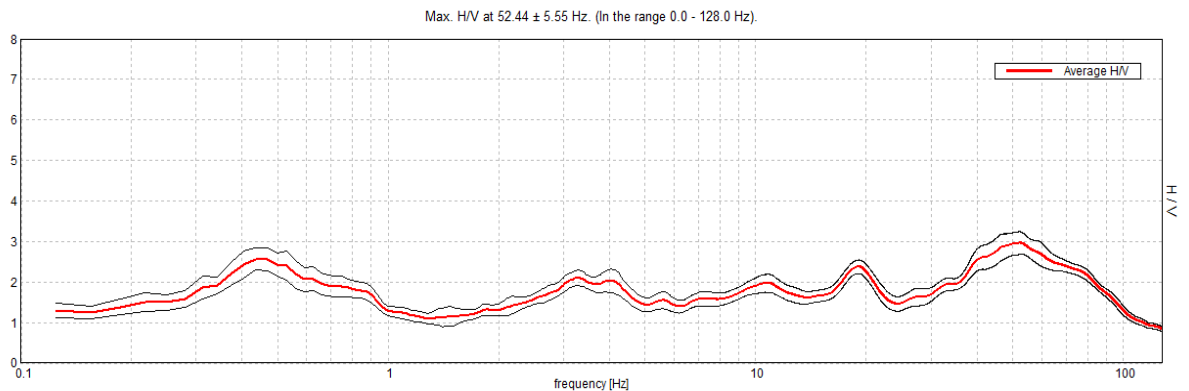
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

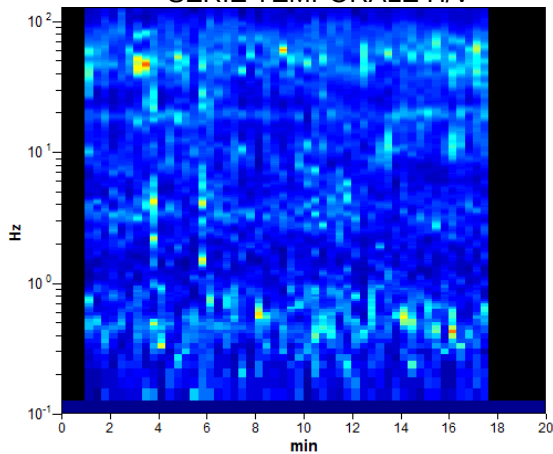
HVSR 9

- Strumento: TRZ-0135/01-11
- Formato dati: 16 byte
- Fondo scala [mV]: n.a.
- Inizio registrazione: 17/01/00 19:12:03 Fine registrazione: 17/01/00 19:32:03
- Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
- Dato GPS non disponibile
- Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)
- Freq. campionamento: 256 Hz
- Lunghezza finestre: 20 s
- Tipo di lisciamento: Triangular window
- Lisciamento: 10%

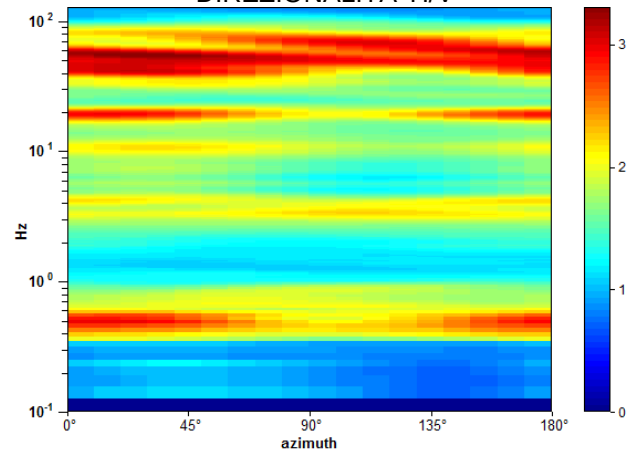
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



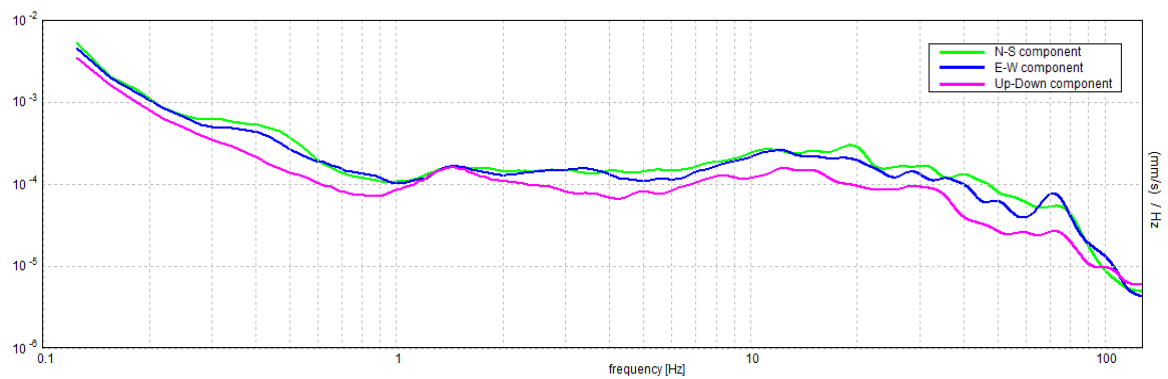
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 52.44 ± 5.55 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$52.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$52437.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 2518	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	24.969 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	96.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.96 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.10579 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$5.54737 < 2.62188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2799 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

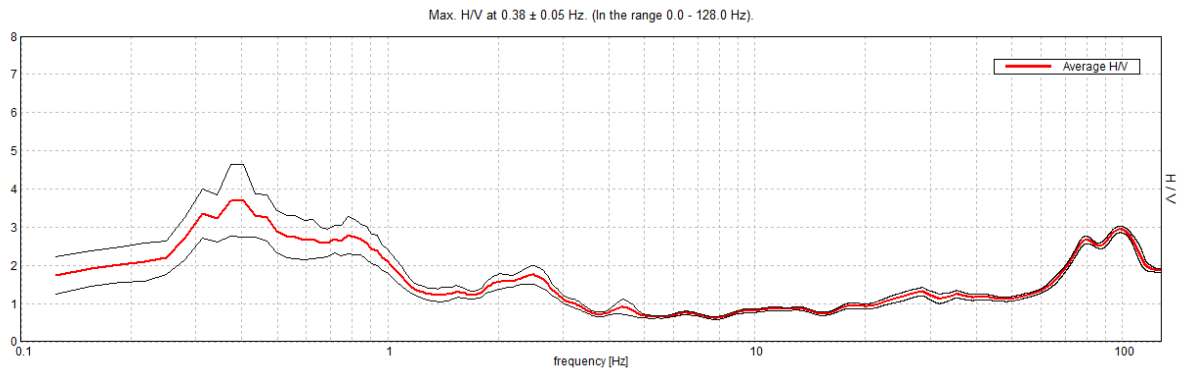
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

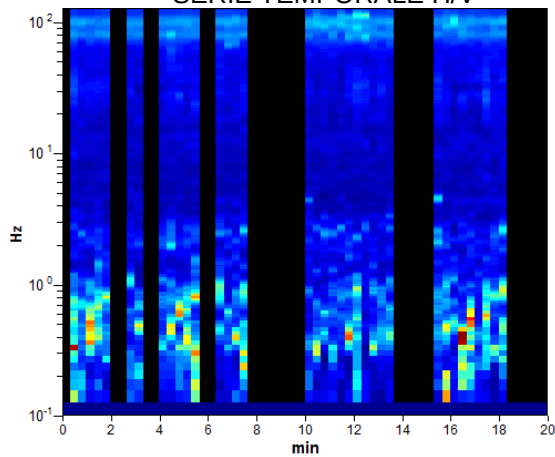
HVSR 10

- Strumento: TRZ-0135/01-11
- Formato dati: 16 byte
- Fondo scala [mV]: n.a.
- Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
- Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 60% tracciato (selezione manuale)
- Freq. campionamento: 256 Hz
- Lunghezza finestre: 20 s
- Tipo di lisciamento: Triangular window
- Lisciamento: 10%

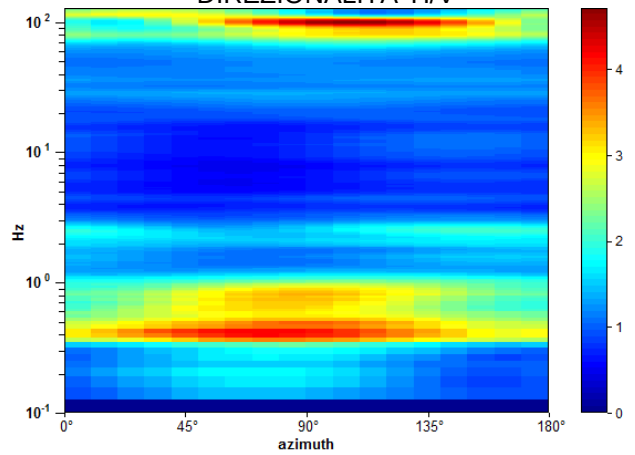
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



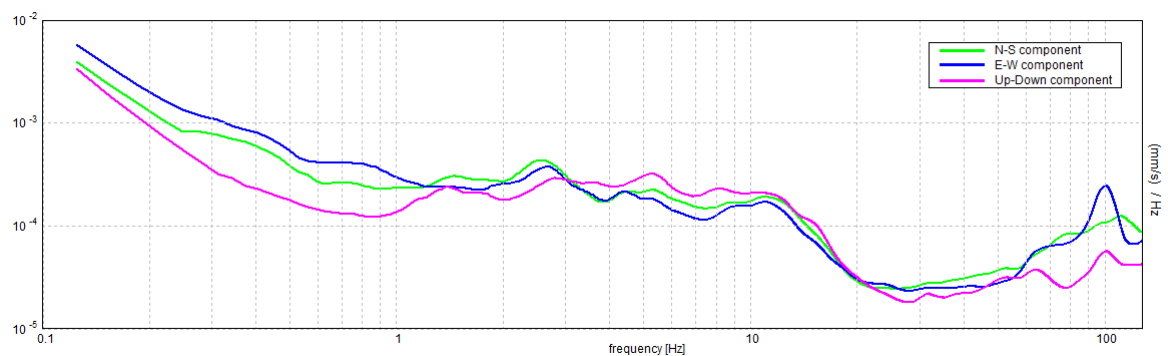
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.38 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.38 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$270.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 19	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.125 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.063 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.70 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.14367 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05388 < 0.075$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9449 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CENNI TEORICI - SISMICA A RIFRAZIONE

La metodologia della sismica a rifrazione consiste nel produrre delle onde sismiche nel terreno tramite un'energizzazione (scoppio); tale energia può essere generata tramite un grave che percuote il terreno (martello o peso), oppure tramite lo scoppio di una carica esplosiva. In particolare la sismica a rifrazione studia il comportamento dell'onda rifratta. Tale onda, viaggiando all'interfaccia fra due mezzi a differente velocità, manda in superficie una serie di segnali (vibrazioni) che vengono registrati da dei velocimetri (geofoni). Tali geofoni, posti ad una equidistanza nota l'uno dall'altro vanno a formare la stesa sismica. L'indagine procede energizzando in posizioni note. Il segnale così registrato è convogliato ad una scheda di conversione A/D, e quindi registrato e conservato in memoria.

L'acquisizione dei dati da parte del sismografo parte quando un particolare circuito "trigger" è attivato dall'energizzazione nel terreno. Per ogni registrazione viene registrato un segnale, costituito da una traccia per ciascun geofono, riconoscendo su ciascuna traccia il primo arrivo dell'onda rifratta si genera una retta, detta dromocrona, dalla inclinazione della quale si può risalire alla velocità ed alla geometria (interpolando più dromocrone) dei rifrattori.

Le metodologie di interpretazioni dei dati vanno dalle più semplici (metodo delle intercette) che richiedono solo 2 scoppi per profilo, al metodo del reciproco (Hokins 1957) e del reciproco generalizzato (G.R.M. Palmer 1980) che richiedono 5-7 scoppi per profilo, fino alle tecniche tomografiche, che richiedono almeno 7 scoppi per stendimento. Le basi su cui si fonda ogni tecnica sono differenti, così come è crescente la complessità dell'elaborazione, tant'è che i G.R.M e soprattutto le tecniche tomografiche sarebbero improponibili senza l'ausilio di computer. L'elaborazione che restituisce ogni tecnica risulta via via più completa e dettagliata, fino ad arrivare ad una mappatura di discontinuità molto articolate ottenibile con le più moderne tecniche tomografiche.

Il limite principale della sismica a rifrazione sta nel fatto che tale tecnica presuppone un incremento costante della velocità andando in profondità. Se, ad esempio, abbiamo un modello in cui al disotto di uno strato continuo di argilla dura abbiamo della sabbia molle, e al disotto di questa roccia, il passaggio fra argilla e sabbia non produce rifrazione, ed il modello che andrò a ricostruirmi sarà un modello di terreno errato. Per questo le indagini sismiche andranno sempre accoppiate, soprattutto in situazioni dove inversioni di velocità sono frequenti (ad esempio i depositi quaternari) ad indagini geotecniche dirette.

Tali inconvenienti sono stati parzialmente risolti dalle tecniche tomografiche, dove tramite il ray tracing è possibile stabilire il percorso del raggio sismico ed individuare zone (sempre che siano limitate ad una parte interna allo stendimento) dove è avvenuta un'inversione di velocità, caratterizzate da un'assenza di copertura dei medesimi.

CENNI TEORICI - HVSR

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Consideriamo un sistema dove gli strati si distinguono per diverse densità e velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel primo mezzo viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a $f_r = VP1/(4h)$ mentre quella relativa alle onde S è $f_r = VS1/(4h)$.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sismografo AMBROGEO ECHO 24-2010 a 24 canali
- Geofoni da 14 hz

SOFTWARE UTILIZZATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DATI

Acquisizione dei dati

SISMOPC 1.0 - PASI AMBROGEO

Elaborazione e filtraggio

Visual Sunt 20	Wgeosoft-filtraggio dati (sismica a riflessione)
Seismic Unix	Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)
WinMasw Pro	Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione
Grilla	Tromino-H/V
Geopsy	Software Libero-H/V
Winsism 11.2	Wgeosoft-sismica a rifrazione
Rayfract	Inteligent resource-sismica a rifrazione

Modelli 1 D e rischio sismico

Deep Soil	software libero-Risposta di sito modellazione 1D
Rexel	software libero-risposta di sito-terremoto di progetto
Shake 2000	Geo Motions-risposta di sito-modellazione 1D-liquefazione
Ciclic 1D	software libero-liquefazione

Sistemi di energizzazione

Generazione di onde P ed energizzazione per rilievo MASW: massa battente (mazza da 8 kg)

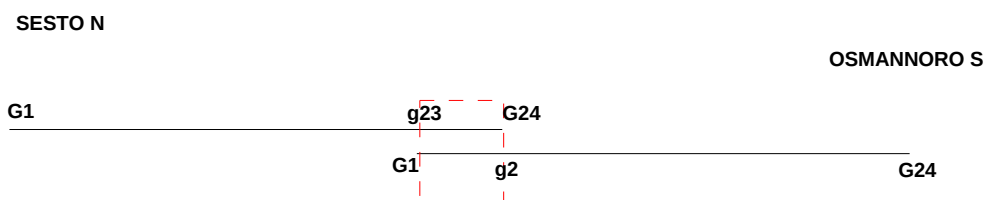
GEOMETRIA DEI RILIEVI

Sono stati eseguiti 10 rilievi di 230 metri in onde P ed Sh.

I rilievi sono stati eseguiti sovrapponendo 2 rilievi consecutivi di 2 geofoni (g23 stendimento xx'A sovrapposto a G1 stendimento xx'B, g24 stendimento xx'A sovrapposto a G2 stendimento xx'B).

Ogni singola linea (ad esempio 22') sarà formata da 4 rilievi, 2 in onde P e 2 in onde Sh, sovrapposte di 2 geofoni.

La linea è composta da 2 linee consecutive 22'A e 22'B; il primo geofono della prima linea è in direzione Sesto (circa N) e si concludono (G24 della seconda linea) in direzione Osmannoro (circa S), seguendo lo schema:



Per ogni linea sono state eseguite un minimo di 5 energizzazioni.

Per i rilievi in Sh il bilancio energetico è avvenuto in campagna eseguendo più stack ed inversione di polarità. Per quello che riguarda le onde P per ogni stazione si sono eseguiti più stack.

La qualità del segnale variava da buona a sufficientemente chiara da definire una dromocrona certa su tutte le linee, con la sola eccezione della rifrazione 6 dove la prossimità

della viabilità ha molto influenzato la qualità del segnale, riuscendo comunque a determinare il punto di flesso delle dromocrone.

RISULTATI OTTENUTI – CONSIDERAZIONI GENERALI

Gli stendimenti eseguiti nell'area in studio hanno delle caratteristiche stratigrafiche che permettono di delineare le seguenti caratteristiche comuni:

- Energizzando in onde Sh i terreni mostrano nei primi 5/10 metri velocità generalmente comprese fra i 150 ed i 250 m/s; tali velocità tendono ad aumentare con la profondità.
- Generalmente, a profondità comprese fra 7 e 10 metri, si rileva un aumento della velocità in onde Sh, con velocità superiori a 300 m/s che possono arrivare fino a 500/600 m/s.
- Energizzando in onde P assistiamo ad forte incremento delle velocità che, partendo dalla superficie, tendono a stabilizzarsi su valori compresi fra 1200 e 1440 m/s, circa in corrispondenza del salto della velocità in onde Sh. Questo può essere spiegato con la presenza di una falda estesa al contatto.

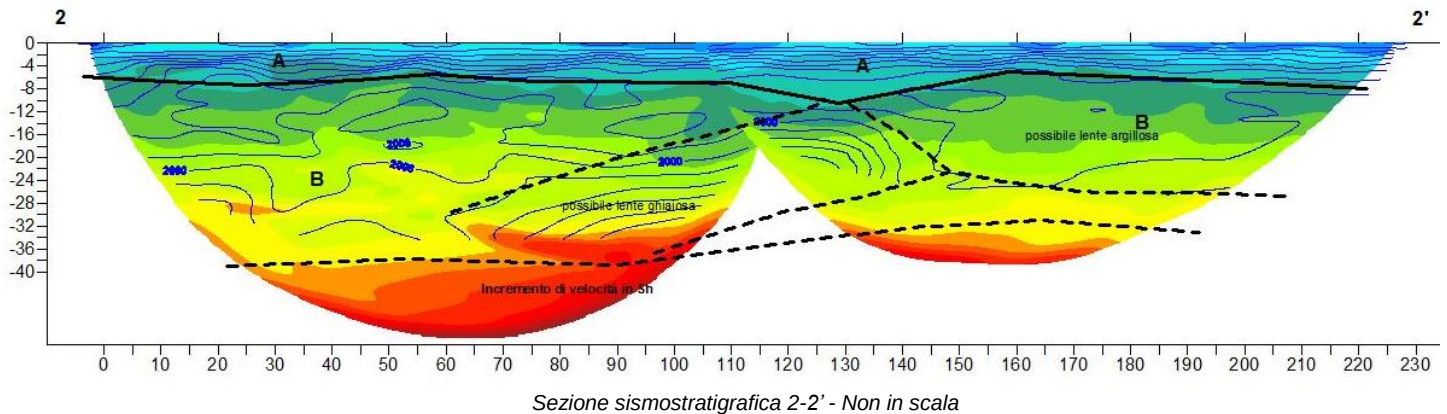
Generalizzando, gli stendimenti eseguiti hanno evidenziato la presenza di 2 sismostrati (A e B) che possono essere così sommariamente descritti:

- a) Sismostrato A. E' caratterizzato da velocità delle onde Sh comprese fra 150 e 250 m/s e delle onde P inferiori a 1400 m/s. Si evidenzia un incremento costante della velocità sia onde P che Sh (maggiormente marcato in P) fino al contatto con il sismostrato sottostante, che avviene generalmente fra 5 m e 10 m rispetto al piano campagna.
- b) Sismostrato B. Le velocità, rispetto al sismostrato A, tendono ad aumentare sia in P (dove possono raggiungere valori superiori a 2500 m/s) che in Sh (dove possono raggiungere valori sopra i 500 m/s). L'andamento generale del sismostrato B evidenzia un gradiente continuo di velocità all'aumentare della profondità, mentre l'andamento del raggio sismico risulta a volte discontinuo, con la presenza quasi costante di zone d'ombra e corsie preferenziali di percorrenza del raggio sismico. Tale fatto ci indica la presenza di inversioni di velocità con possibile presenza di una alternanza di strati con differenti livelli di compattazione.

I dati vengono ritenuti affidabili nei primi 10 metri, con una buona evidenza del passaggio fra l'orizzonte A e B; l'andamento di B al di sotto del contatto, soprattutto in profondità, andrà considerato come puramente indicativo.

SEZIONE 2-2'

Si riscontrano 2 livelli sismostratigrafici principali, A e B. Il contatto fra le 2 unità avviene circa a 8 metri di profondità, tranne che a circa 130 metri dal punto 0 dove sembra scendere sui 12 metri. All'interno del sismostrato B si rinvencono una serie di anomalie con una zona a maggior velocità al centro, una possibile zona argillosa nella parte finale ed un livello con incremento delle velocità in sh nella parte bassa della sezione.

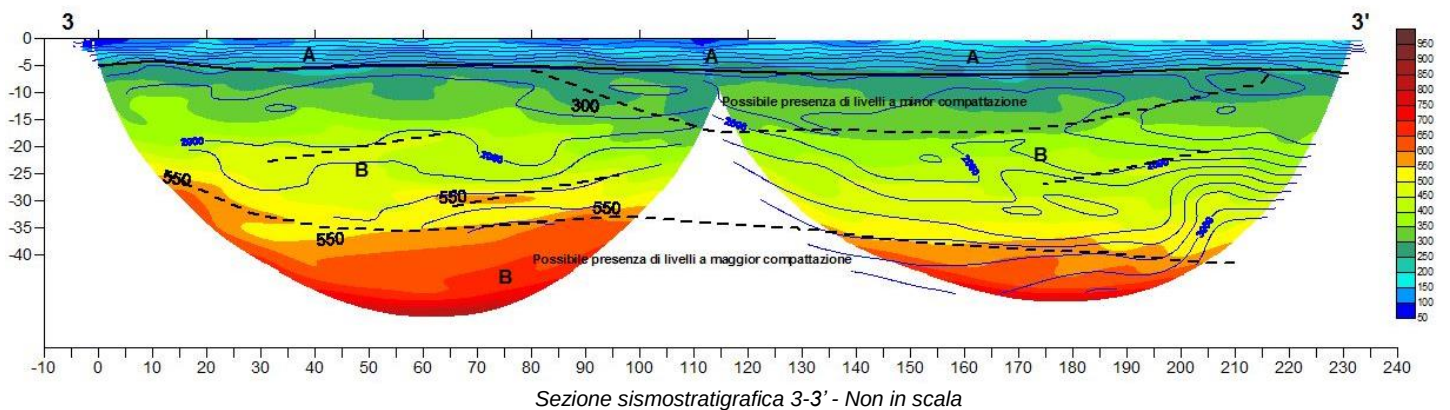


SEZIONE 3-3'

Si riscontrano 2 livelli sismostratigrafici principali, A e B. Nel livello A troviamo un incremento continuo della velocità delle onde P, fino al contatto con B, che ci fa presupporre la presenza di una falda all'interfaccia. Per quello che riguarda l'andamento delle onde Sh si segnalano zone a bassa velocità concentrate all'inizio della sezione.

Nel livello B si rilevano diverse anomalie. In particolare, nella parte bassa della sezione, compaiono livelli caratterizzati da un forte incremento delle velocità. Tale fatto potrebbe essere correlato alla presenza di un differente sismostrato profondo, anche se in realtà, alla luce anche degli altri stendimenti eseguiti, si tratta con tutta probabilità di un livello spesso e a velocità maggiore molto esteso potenzialmente associabile ad una lente di ghiaia di notevole estensione.

Al contrario, nella porzione superficiale del sismostrato B ad una distanza compresa fra 80 m e 215 m rispetto allo 0, si rileva una area estesa caratterizzata da una velocità relativamente minore, imputabile ad un probabile incremento in percentuale della componente fine.

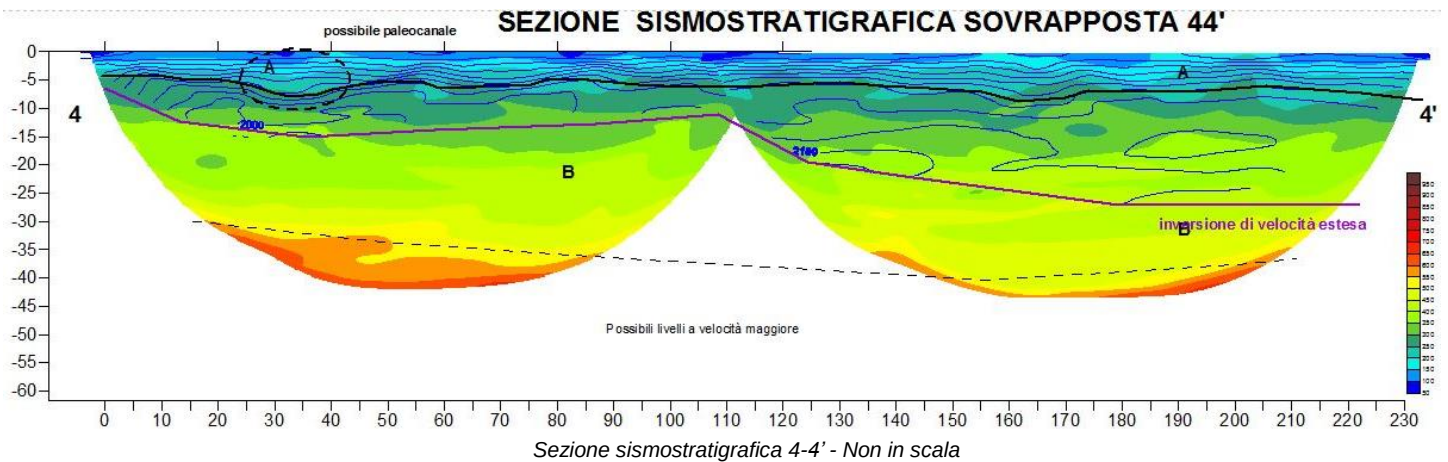


SEZIONE 4-4'

La sezione risulta dominata dalla forte differenza di velocità fra il sismostrato A ed il sismostrato B.

Nel sismostrato A si notano livelli superficiali con velocità molto basse dislocate grossomodo lungo tutta l'estensione della sezione. Si nota anche una anomalia la cui forma particolare, rilevata sia nelle acquisizioni in onde P che in Sh, potrebbe essere associata alla presenza di un paleocanale.

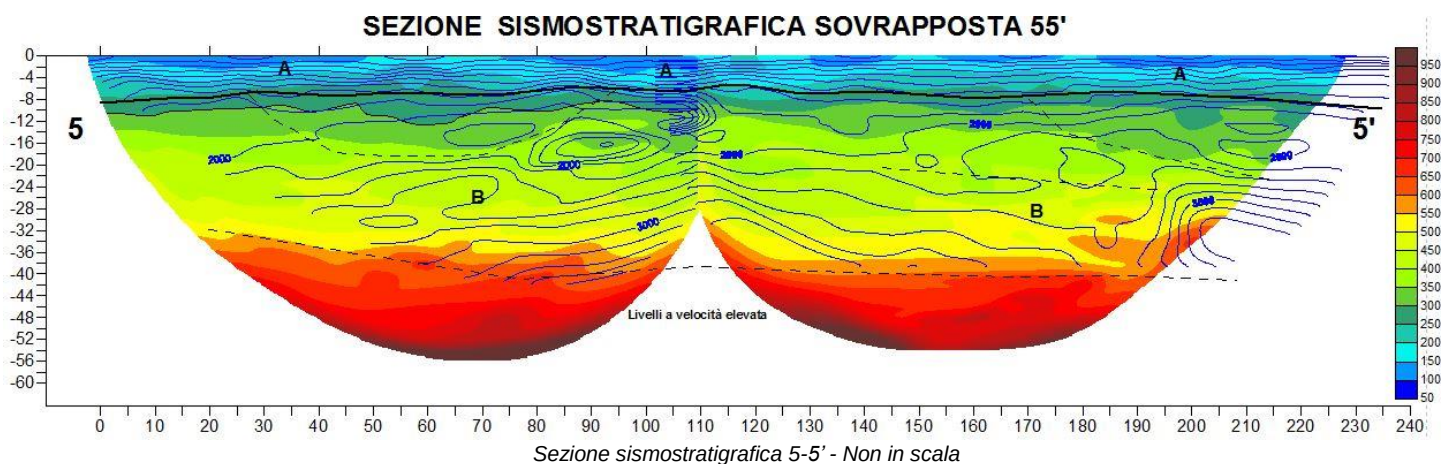
All'interno del livello B è presente una forte inversione di velocità, che limita la penetrazione delle onde a profondità superiori a 30 m, soprattutto dei rilievi in onde P. Anche in onde Sh il raggio sismico penetra con molta difficoltà, rendendo massima l'incertezza della natura dei sedimenti presenti sotto i 30 m e del possibile contatto posto a circa 40 metri di profondità dal piano campagna, dove si dovrebbero incontrare livelli caratterizzati da elevata compattezza.



SEZIONE 5-5'

In questa sezione il contatto fra il sismostrato A ed il sismostrato B sembra essere meno marcato rispetto alle altre sezioni analizzate; il contatto si assesta per tutta la lunghezza dell'acquisizione ad una profondità di circa 9 metri rispetto al piano campagna.

Si nota all'interno del sismostrato A un aumento sia delle velocità onde P che in Sh fino al contatto con l'orizzonte B. Il contatto, come detto in precedenza, appare più sfumato con possibili lenti a velocità minore al tetto dello strato B e discontinuità lineari a velocità maggiore all'interno dello strato. Anche in questo caso, analizzando la risposta delle onde Sh, si rinviene un livello basale con velocità prossime ai 600 m/s.



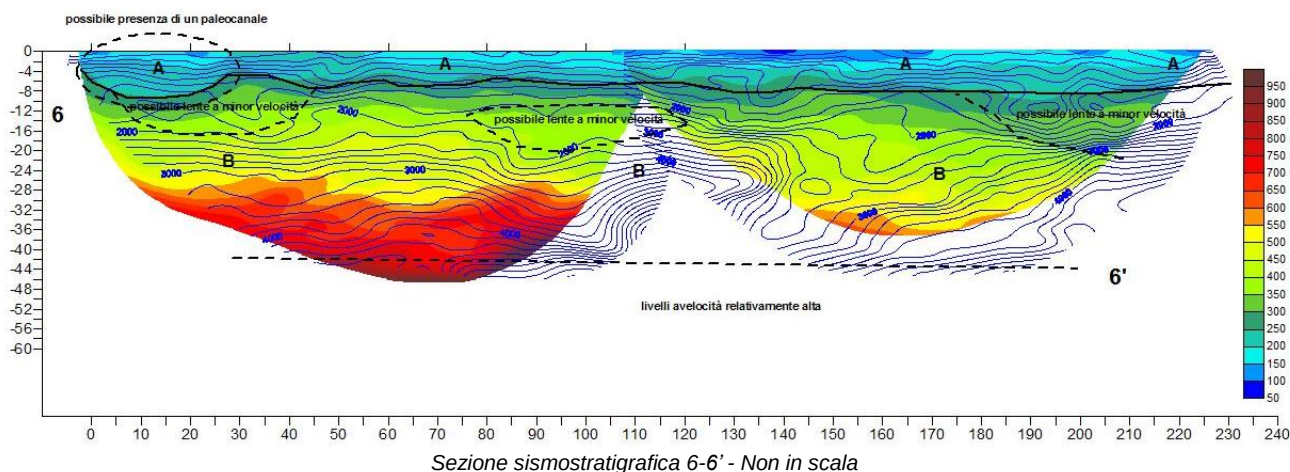
SEZIONE 6-6'

La sezione 6-6' è la più incerta da un punto di vista della qualità della misura, vista la prossimità della viabilità che genera un rumore di fondo di entità non trascurabile; comunque, anche con tali difficoltà operative, si riesce a determinare il punto di flesso delle dromocrone.

Si nota che l'interfaccia fra il sismostrato A e B si mantiene su quote prossime agli 8 metri rispetto al piano campagna, con terreni che mostrano velocità in Sh, soprattutto nel primo tratto di acquisizione 66'A, superiori a quelle riscontrate nelle sezioni precedenti. Le medesime sembrano scendere nella parte centrale della sezione sovrapposta. A inizio sezione si trova una tipica forma a concava correlabile con un possibile paleoalveo.

All'interno del sismostrato B si rilevano alcune zone caratterizzate da velocità relativamente minori rispetto alle aree circostanti, a testimonianza dell'elevata eterogeneità granulometrica e di costipazione del livello B.

A profondità maggiori di 40 m la sismostratigrafia evidenzia una fascia contraddistinta da un incremento netto delle velocità delle onde P ed Sh.

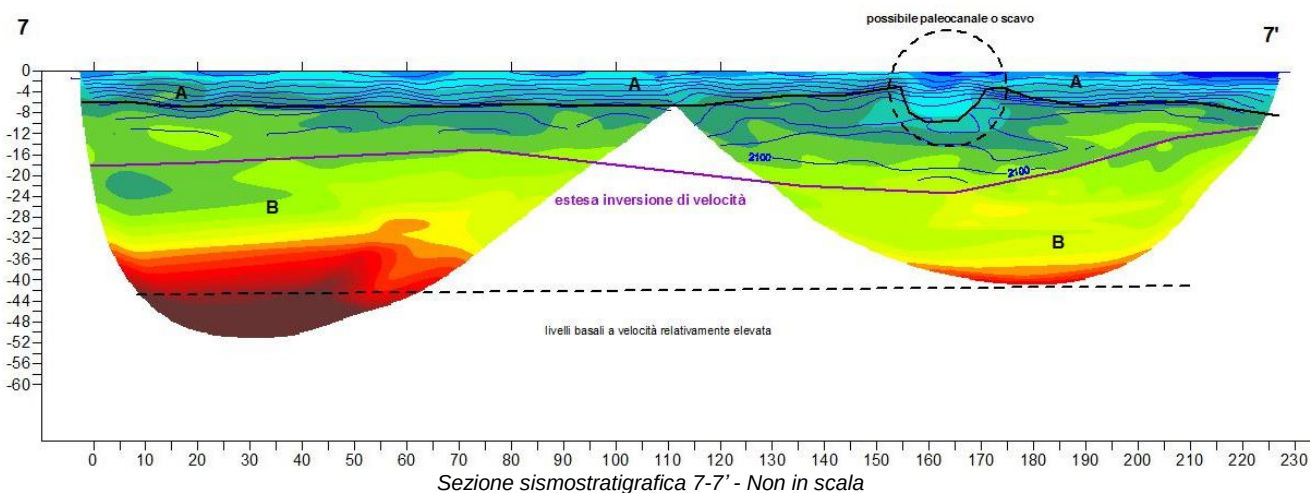


SEZIONE 7-7'

Il contatto fra il sismostrato A e B si attesta attorno a quote prossime agli 8 metri rispetto al piano campagna. A 160 metri dal punto 0 dello stendimento è centrata un'anomalia netta a forma concava assimilabile ad un possibile scavo reinterrato o ad un paleocanale.

Segue quindi il livello B, che risulta dominato da una forte inversione di velocità attorno a 20 metri rispetto al piano campagna; tale inversione, che interessa soprattutto le acquisizioni in onde P, determinando elevate difficoltà interpretative. Nelle acquisizioni in onde Sh il raggio sismico riesce ad oltrepassare tale inversione di velocità, e si può definire, seppure in maniera molto approssimativa, la presenza di livelli profondi a velocità relativamente elevata.

Nel complesso l'affidabilità della sezione al disotto della linea di inversione risulta molto bassa.

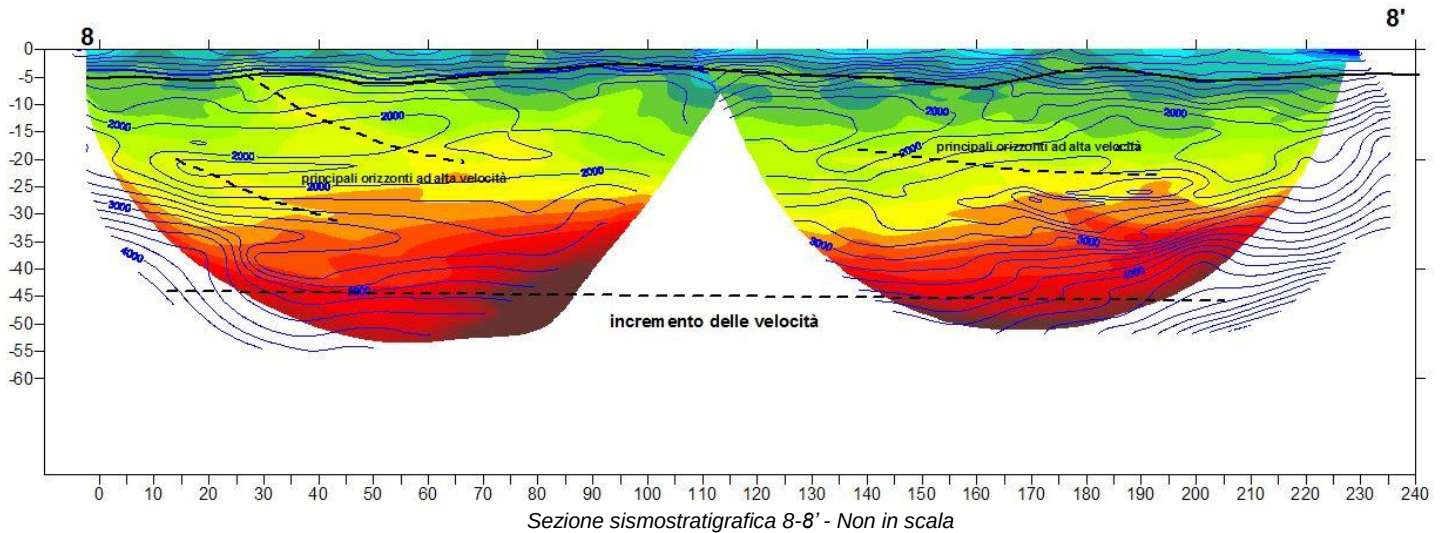


SEZIONE 8-8'

I terreni superficiali sembrano avere una compattezza superiore rispetto alle altre sezioni eseguite nell'area in analisi; l'orizzonte di contatto fra i sismostrati A e B è posto ad una profondità di circa 5 m rispetto al piano campagna, contro gli usuali 8/10 m degli altri stendimenti geofisici.

Il sismostrato B mostra una serie di inversioni di velocità e zone a velocità minore, caratteristiche tipiche delle successioni stratigrafiche di sedimenti a granulometria eterogenea. Localmente si rileva che tali aree contraddistinte da alta velocità relativa sono subsuperficiali, con quote prossime al piano campagna.

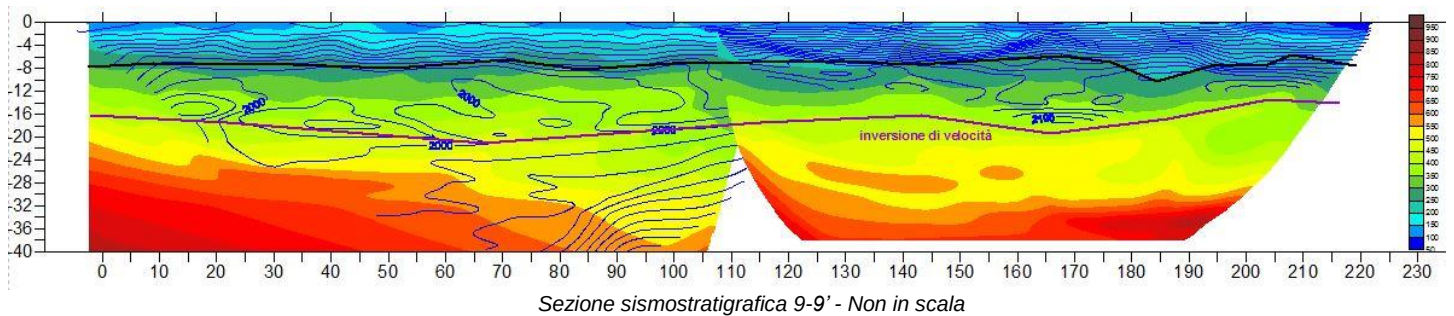
A circa 45 metri rispettiamo al piano campagna si rileva un netto incremento delle velocità.



SEZIONE 9-9'

Il contatto fra i due sismostrati è posto a profondità comprese fra 7 e 8 metri rispetto al piano campagna. Le velocità delle onde Sh nell'orizzonte superficiale compreso entro 5 metri rispetto al piano campagna sono inferiori a 200 m/s. Si assiste inoltre ad un leggero ispessimento delle coltri di copertura man mano che ci avviciniamo alla parte terminale della sezione; si rileva inoltre una diminuzione delle velocità in onde Sh.

Il sismostrato B è caratterizzato da una serie di inversioni di velocità fino alla profondità di 20 m rispetto al piano campagna.

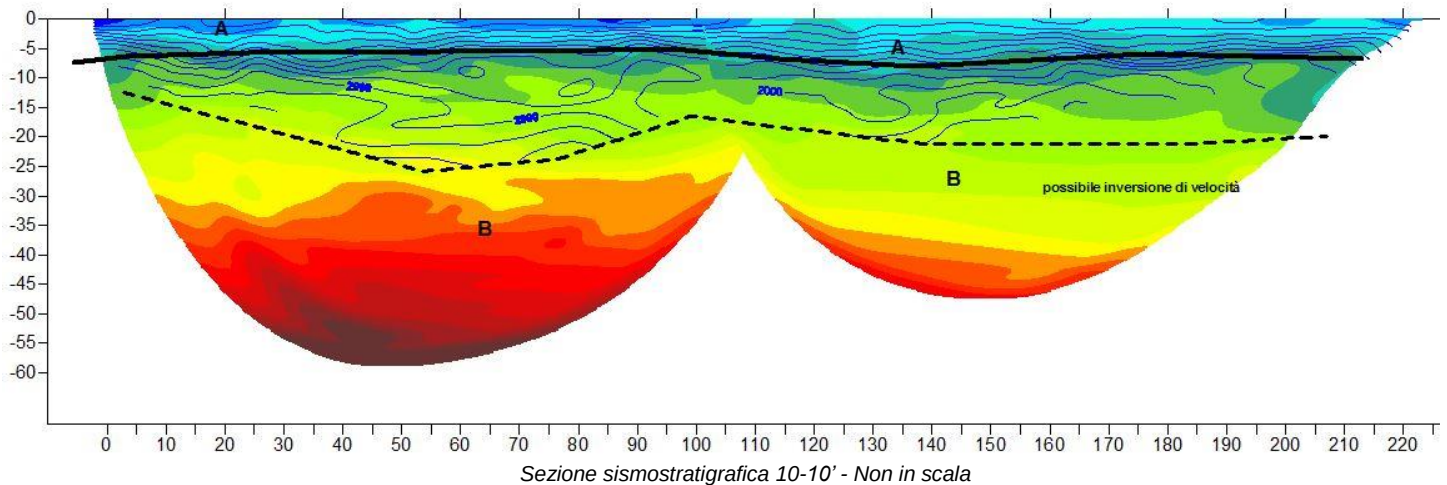


SEZIONE 10-10'

Il contatto fra i due principali sismostrati A e B varia da profondità comprese fra 6 m e 10 m. da piano campagna.

Nella parte iniziale della sezione si riscontrano livelli a bassa compattazione fino a circa 3 metri di profondità; tale fatto è ben visibile soprattutto nell'indagine in onde Sh, mentre l'indagine in onde P evidenzia velocità in aumento costante fino al contatto con il sismostrato B. Fino a profondità comprese fra 20 e 25 metri le velocità hanno un comportamento caotico, con un susseguirsi di variazioni laterali sia in onde Sh che onde in P; al di sotto di tali profondità, una potente inversione oscura le onde di compressione.

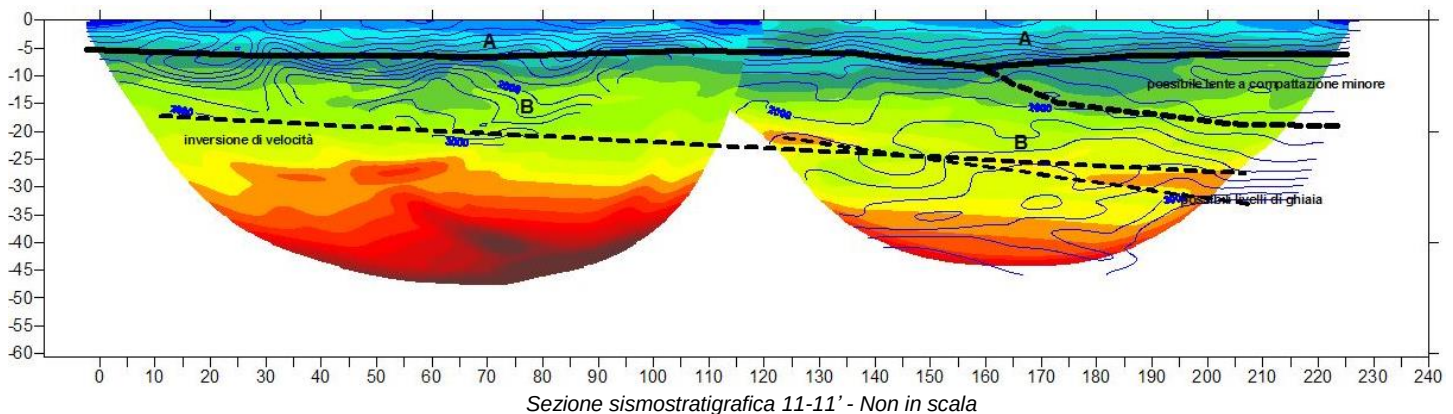
Le onde Sh risentono in modo minore di tale fenomeno; l'indagine con tale metodologia pertanto rileva la presenza di un orizzonte a maggiore compattazione ubicato a profondità comprese fra 40 e 50 m.



SEZIONE 11-11'

Il contatto fra i due principali sismostrati A e B varia da profondità comprese fra 5 m e 10 m da piano campagna. Le onde P fra i due sismostrati incrementano in modo assai repentino, con possibile presenza di falda al contatto.

Si rilevano livelli a compattazione minore nella parte iniziale della sezione. Anche in questo caso assistiamo ad una inversione delle velocità, riscontrata in maniera più importante nella prima parte della sezione.





Toscana Aeroporti Engineering s.r.l.

Report delle attività di indagine

Campagna di indagini geognostiche e chimiche per la realizzazione della
nuova pista e delle opere accessorie
aeroporto internazionale di Firenze
"Amerigo Vespucci"

ESECUZIONE PROVE DOWN-HOLE

Settembre 2017

GENERALITA'

La prova Downhole consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde, P e S, che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde SH). Mediante due ricevitori (geofoni) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S.

STRUMENTAZIONE

Come sorgenti energizzanti sono stati utilizzati: per le onde P una mazza da 10 kg con piattello di battuta; per le onde SH un parallelepipedo (traversina) di legno percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg, in grado di generare onde SH di notevole contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno, in accordo con le disposizioni del Prof. P. Signanini e delle Istruzioni Tecniche aggiornate: in particolare è stato riportato sopra la massicciata costituita da ghiaietto uno strato di terreno limoso-sabbioso di circa 20 cm, dove è stata posta la trave.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dai fori di sondaggio, ad una distanza di circa 3 m (per la misura precisa veder lo schema di acquisizione di ciascun sondaggio).

Il sistema di ricezione è costituito da un geofono tridimensionale. L'accoppiamento del sistema con le pareti del foro è garantito da 2 stantuffi pneumatici comandati dall'esterno, con pressione regolabile fino a 10 atm..

Il sistema di acquisizione è costituito da un sismografo digitale a 24 canali mod. Ambrogeo Seismic Unit 2010/24, acquisizione dati a 24 bit.

Tutte le registrazioni (vedi allegati) sono state effettuate con metodo cross-over, ovverossia facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra (bilanciamento energetico): in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.



Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

INTERPRETAZIONE SISMOGRAMMI ED ESTRAPOLAZIONE DELLA DROMOCRONA

I sismogrammi di campagna sono stati visualizzati direttamente in campagna tramite software Ambrogeo 7.0 della Ambrogeo. I files così ottenuti sono stati trattati tramite Visual Sunt della Wgeosoft, dove direttamente si è svolta la sommatoria delle tracce per avere un miglior controllo energetico

Le tracce sono state riallineate metro per metro, così, per ogni profondità si è potuto visualizzare direttamente le 4 tracce registrate (S) in due battute o le due tracce in p.

Quindi, tramite un'analisi visuale delle tracce si è proceduto a scegliere quella con le migliori doti di leggibilità e le altre sono state eliminate.

Si è ricavato quindi un sismogramma con una traccia per metro, e partendo da questo si è effettuato il picking scegliendo la finestra temporale più adeguata per ciascuna registrazione (100ms per le p, 400 ms per le S).

S118

profondità	tempo orizzontale	tempo orizzontale	tempo verticale	tempo verticale
	s	p	s	p
-1	7.8	6.2	3.5	2.0
-2	11.3	6.8	8.0	3.8
-3	17.8	7.7	14.8	5.4
-4	23.7	8.5	21.2	6.8
-5	29.4	9.5	27.3	8.1
-6	33.7	10.3	32.0	9.2
-7	35	10.4	33.7	9.6
-8	38.5	11.7	37.4	11.0
-9	42	12.9	41.0	12.2
-10	45.1	13.6	44.2	13.0
-11	48.3	13.7	47.5	13.2
-12	52	15.2	51.3	14.7
-13	56.4	14.3	55.7	13.9
-14	58.2	14.7	57.6	14.4
-15	64.3	15.4	63.7	15.1
-16	66.2	15.8	65.7	15.5
-17	69.4	16.5	68.9	16.2
-18	71.5	16.9	71.1	16.7
-19	73.8	16.8	73.4	16.6
-20	75.7	17.3	75.3	17.1
-21	78.3	18.1	77.9	17.9
-22	79.4	17.4	79.1	17.2
-23	81.2	18.5	80.9	18.3
-24	85.3	16.7	85.0	16.6
-25	87.4	19.8	87.1	19.7
-26	91.5	21.4	91.2	21.3
-27	93.7	22	93.4	21.9
-28	95.3	22.5	95.1	22.4
-29	94.9	23	94.7	22.9
-30	97.1	23.1	96.9	23.0
-31	99.5	23.3	99.3	23.2
-32	102	23.5	101.8	23.4

RISULTATI OTTENUTI

Le velocità dei vari strati sono state determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità. In particolare per ogni tratto individuato è stata tracciata una retta di correlazione tramite foglio di lavoro excel.

Le profondità dei punti interpolati (compresi gli estremi) sono indicati nella sottostante tabella. Si sono riconosciuti i seguenti sismostrati:

S118

profondità	vsh	profondità	Vp
0-6	188	0-8	635
8-16	297	8-16	1194
18-32	416	16-32	1802

Per i vari rilievi possiamo sintetizzare i seguenti valori del V.S.30 a profondità da 0 a -2 mt dal p.c.

vs30	s118
0	310
-1	313
-2	320

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.

Il sito in esame nel suo complesso è risultato avere caratteristiche abbastanza omogenee, tanto che tutti i vs 30 determinati ricadono in classe C.

Da un punto di vista operativo la qualità del segnale è stata generalmente medio-bassa, con la presenza di forti disturbi ambientali.

E' stato possibile definire in maniera certa il parametro Vs30, mentre per un andamento sismo stratigrafico si è scelto di semplificare al massimo i risultati, introducendo la presenza di tre sismostrati.

