



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

Area di Compensazione Ambientale e Paesaggistica "Il Piano di Manetti"
Relazione Geologica – Allegato B

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	CODICE FILE
PFTE	00	Settembre 2022	FLR-MPL-PFTE-CAP4-011B-GL-RT_Manetti Rel Geol B
			TITOLO RIDOTTO
			Manetti Rel Geol B

00	09/2022	Prima Emissione	TERRA E OPERE	F. BOSI	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 Arch. Filippo Bosi Ordine degli Architetti di Firenze n°9004	
POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito		
POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini		

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 Eliosoft.

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>Eliosoft-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>Roxel</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>Ciclic 1D</i>	<i>software libero-liquefazione</i>

Sistemi di energizzazione

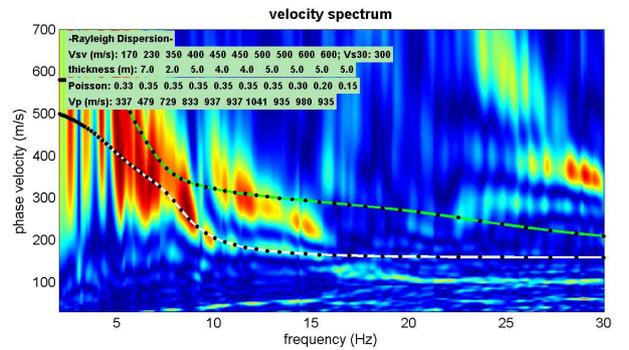
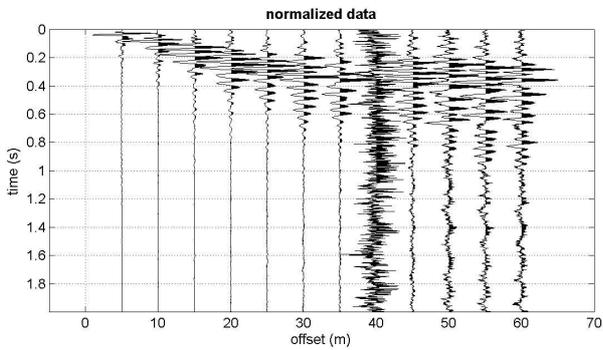
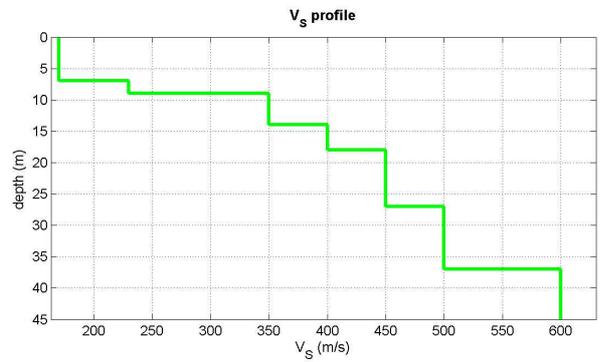
Generazione di onde P ed energizzazione per rilievo MASW: massa battente (mazza da 8 kg)

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.

MASW 12 – MEAN MODEL

Vs (m/s)	170	230	350	400	450	450	500	500	600	600
Thickness (m)	7	7	2	5	4	4	5	5	5	5
Density (gr/cm ³)	1.79	1.88	1.98	2.01	2.04	2.04	2.06	2.04	2.05	2.04
Dynamic Shear Modulus (MPa)	52	99	242	322	413	413	516	509	738	734
Vs₃₀ = 300 m/s										



MASW 13 - STL051017B (Onde di Love)
AMBIENTE sc - Geol. Bignotti Luigi
“Area di compensazione Ecologica e Idraulica “Il Piano” SIGNA (FI)

Numero di canali 24
Distanza intergeofonica 2,5 metri
Lunghezza 57,5 metri
Azimuth N045° (NE-SW)

Coordinate Gauss-Boaga Geofono G1:
X = 1669779.6938 Y = 4851098.6280
Coordinate Gauss-Boaga Geofono G24:
X = 1669747.1429 Y = 4851051.2287

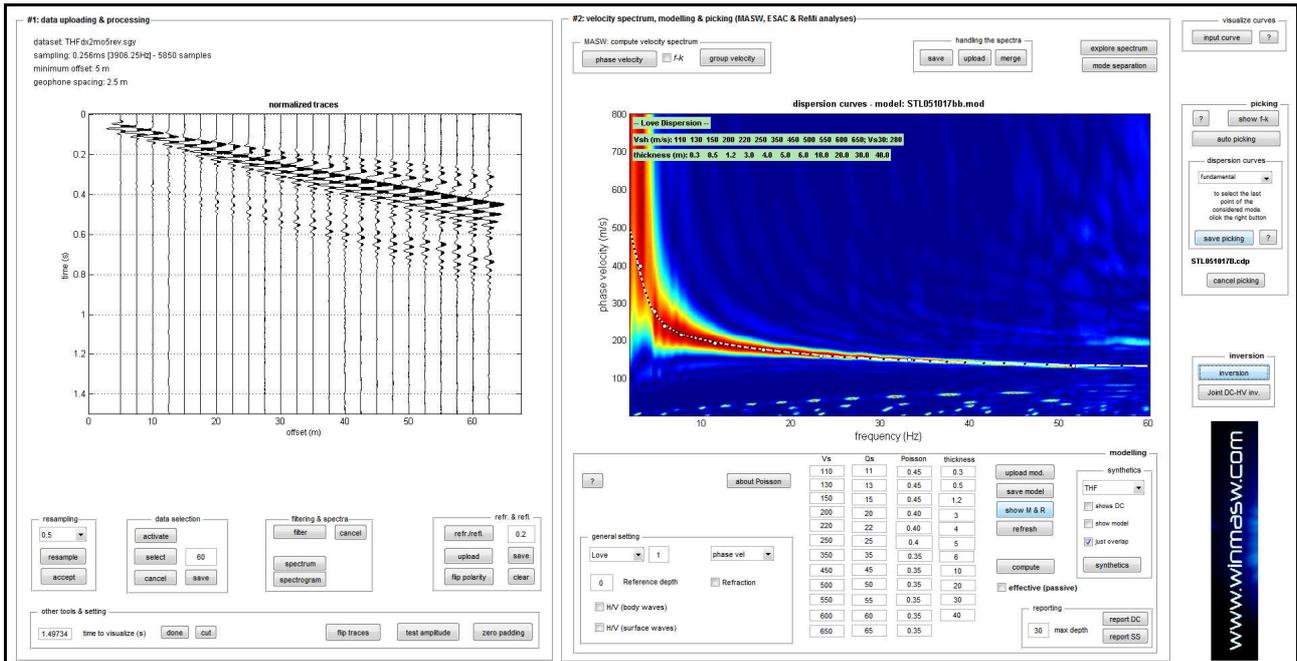


Fig.1: Sismogramma (THFdx2,5mo5rev) e spettro delle velocità con “picking”

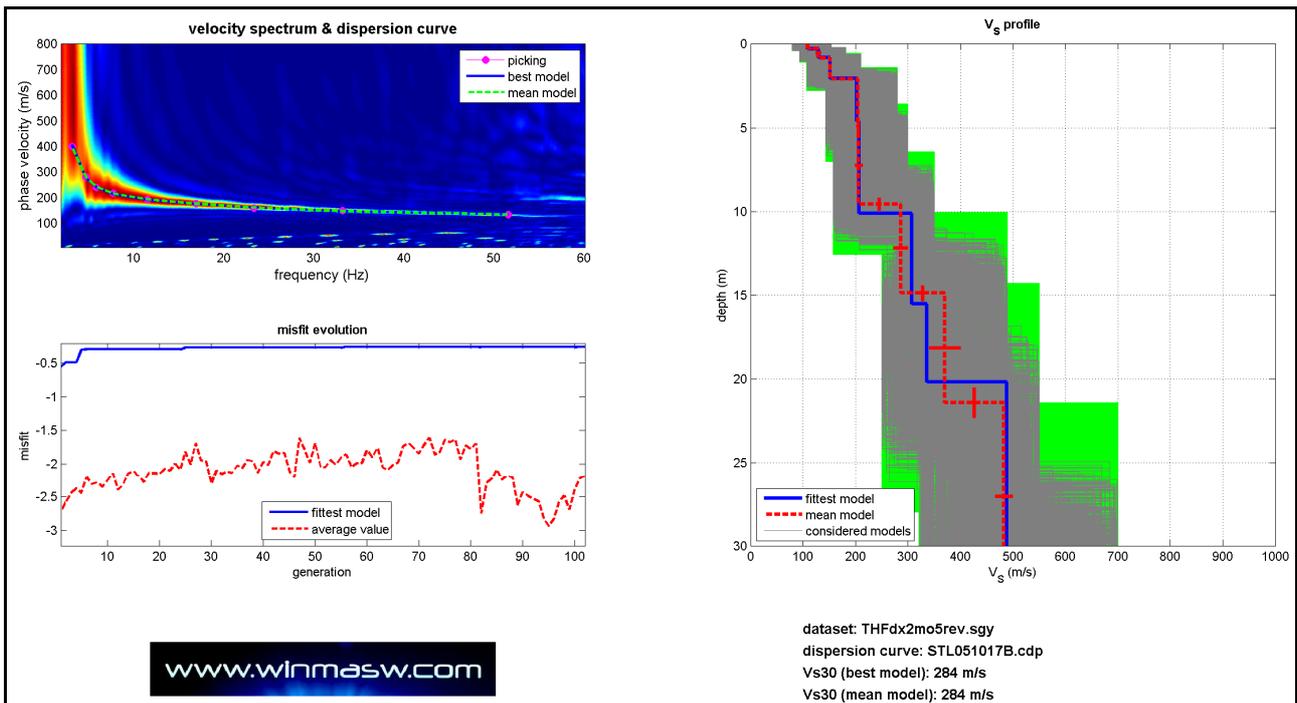


Fig.2: Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S

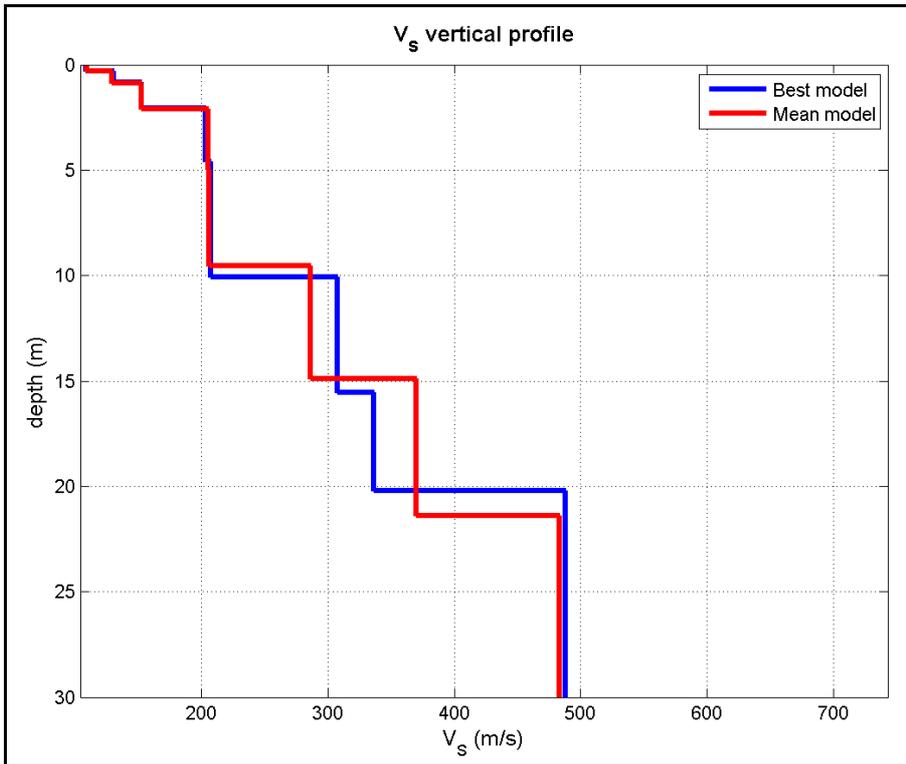


Fig.3: Profilo verticale Vs (Modello medio/Modello migliore)

Mean model

Vs (m/s): 109, 129, 152, 205, 206, 286, 370, 483, 572, 554, 659, 763

Thickness (m): 0.3, 0.6, 1.2, 2.9, 4.6, 5.3, 6.5, 11.3, 22.8, 35.1, 48.5

$V_{s,30} = 284 \text{ m/s (best model)} \div 284 \text{ m/s (mean model)}$

a partire dal piano campagna

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO – C

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)”.

SCHEMA ESECUTIVO



MASW 14 - STL061017A (Onde di Love)
AMBIENTE sc - Geol. Bignotti Luigi
“Area di compensazione Ecologica e Idraulica “Il Piano” SIGNA (FI)

Numero di canali 24
Distanza intergeofonica 2,5 metri
Lunghezza 57,5 metri
Azimuth N040° (NE-SW)

Coordinate Gauss-Boaga Geofono G1:
X = 1669866.9127 Y = 4851311.8818
Coordinate Gauss-Boaga Geofono G24:
X = 1669834.3618 Y = 4851264.4826

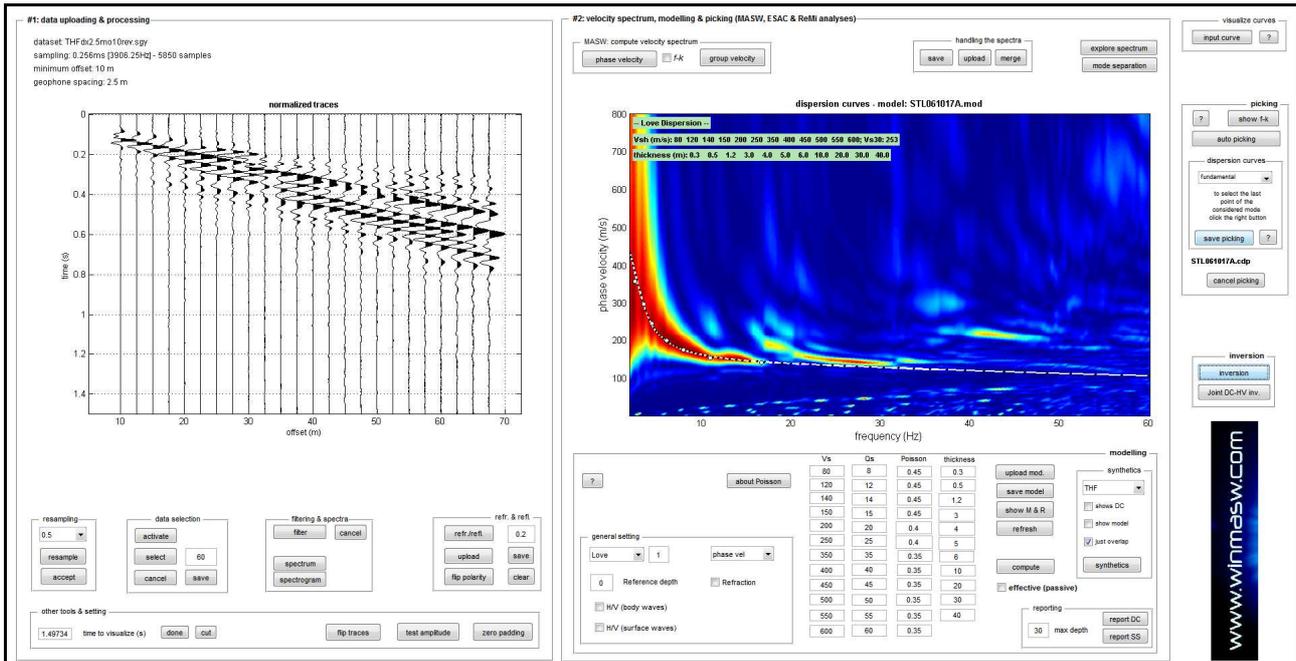


Fig.1: Sismogramma (THFd_x2,5mo10rev) e spettro delle velocità con “picking”

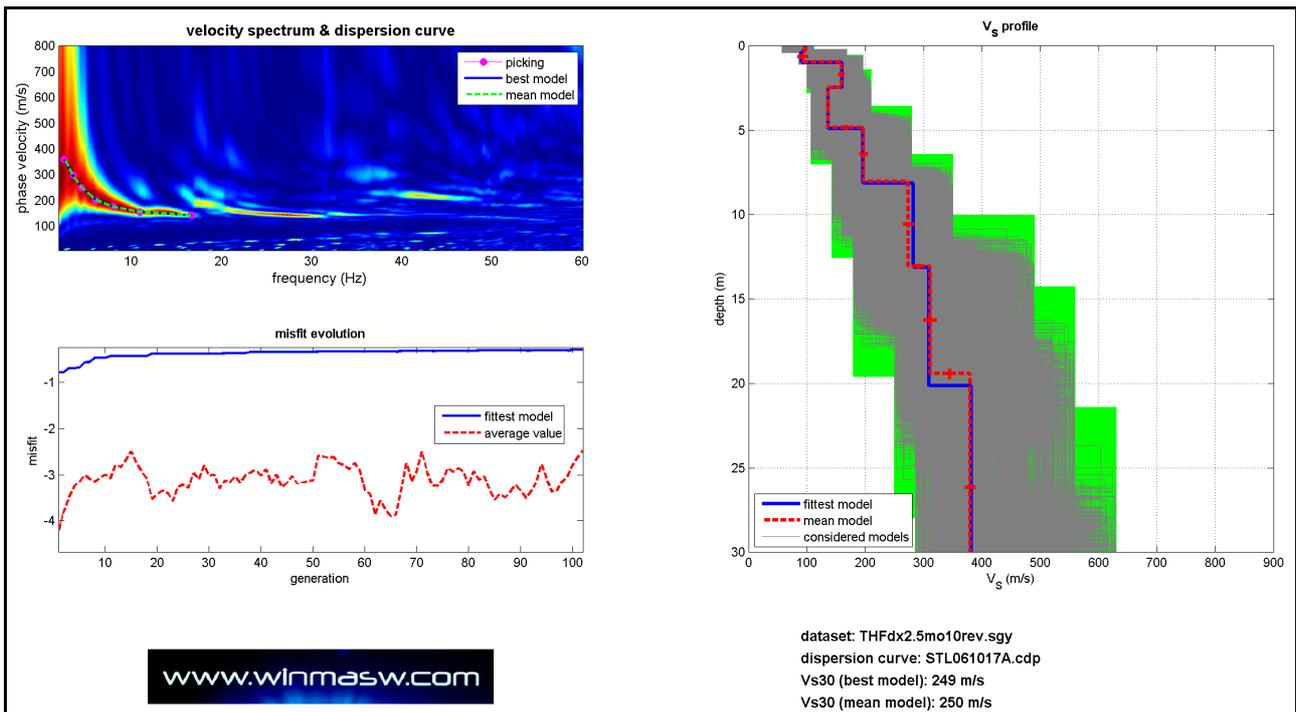


Fig.2: Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S

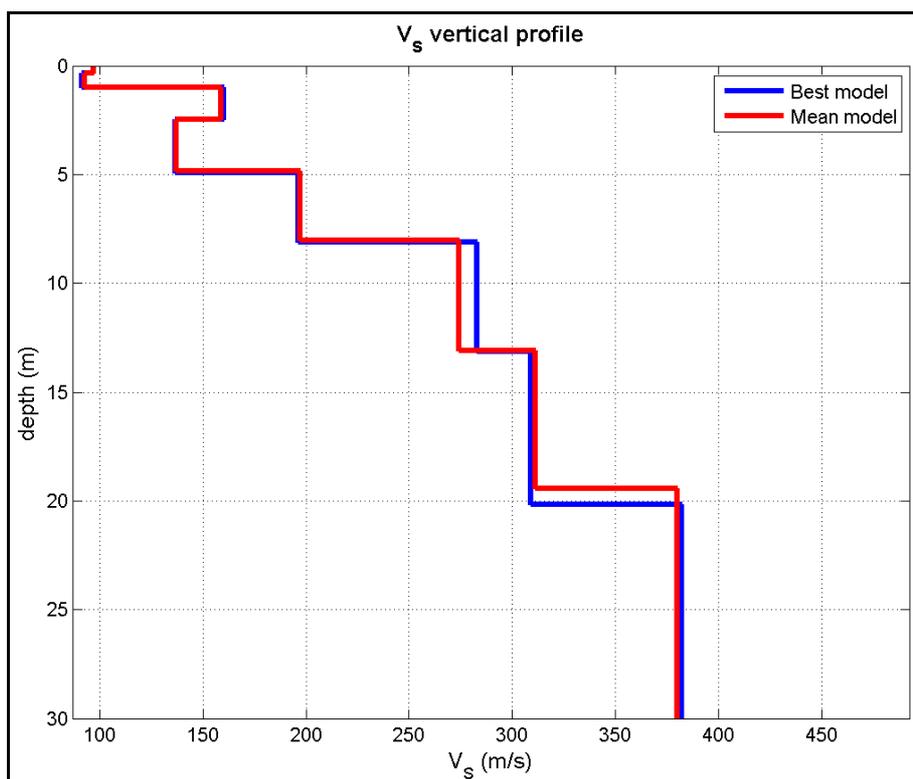


Fig.3: Profilo verticale Vs (Modello medio/Modello migliore)

Mean model

Vs (m/s): 97, 93, 159, 137, 197, 274, 311, 380, 456, 448, 442, 714
Thickness (m): 0.3, 0.6, 1.5, 2.4, 3.2, 5.1, 6.3, 13.5, 20.5, 24.5, 35.0

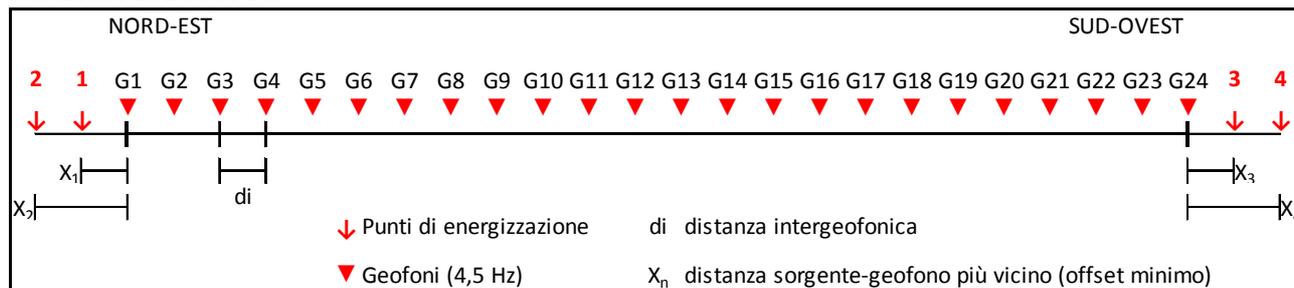
$V_{s,30} = 249 \text{ m/s (best model)} \div 250 \text{ m/s (mean model)}$

a partire dal piano campagna

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO – C

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)”.

SCHEMA ESECUTIVO



MASW 15 - STL051017A (Onde di Love)
AMBIENTE sc - Geol. Bignotti Luigi
“Area di compensazione Ecologica e Idraulica “Il Piano” SIGNA (FI)

Numero di canali 24
Distanza intergeofonica 2,5 metri
Lunghezza 57,5 metri
Azimuth N215° (SW-NE)

Coordinate Gauss-Boaga Geofono G1:
X = 1670205.3484 Y = 4851706.6239
Coordinate Gauss-Boaga Geofono G24:
X = 1670238.3290 Y = 4851753.7251

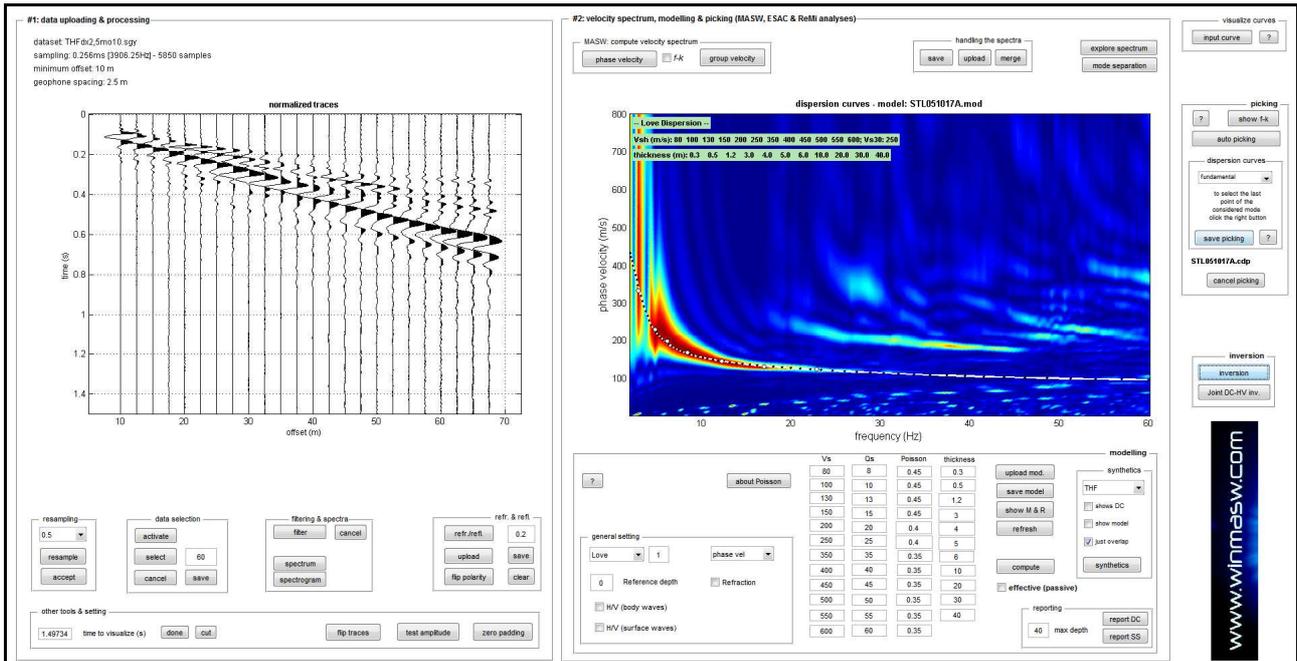


Fig.1: Sismogramma (THFdx2,5mo10) e spettro delle velocità con “picking”

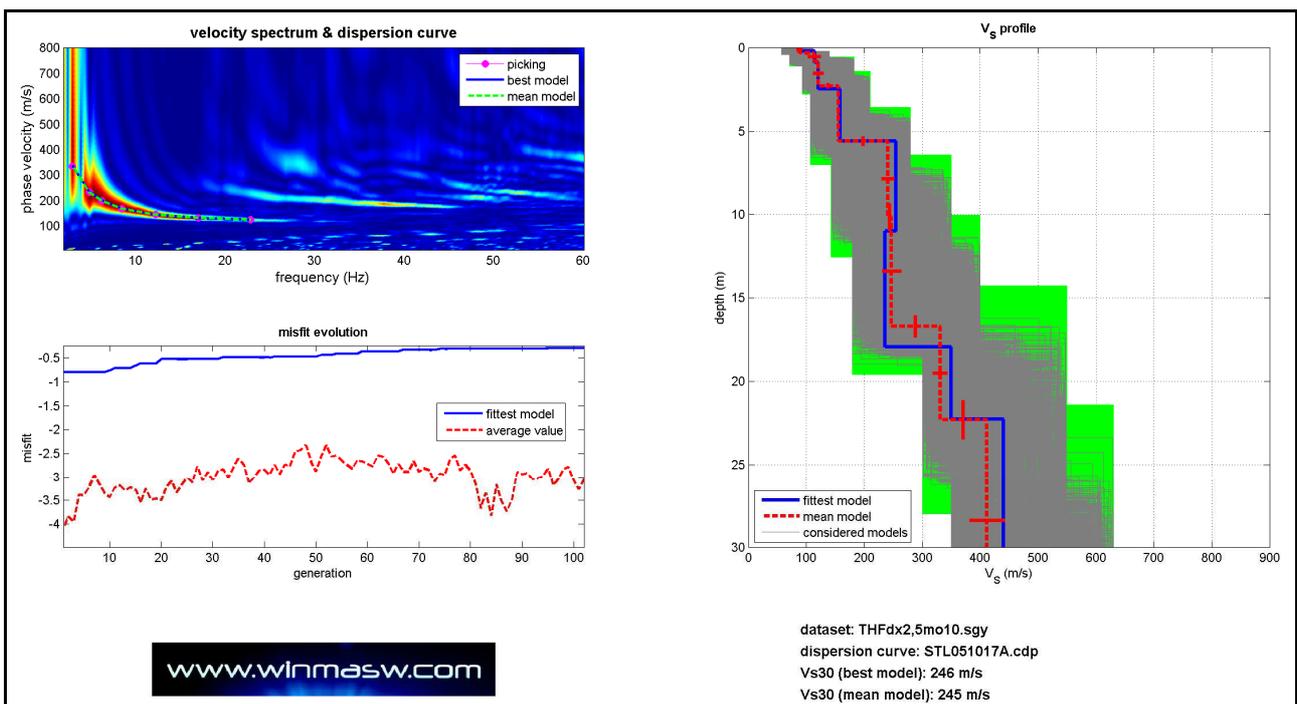


Fig.2: Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S

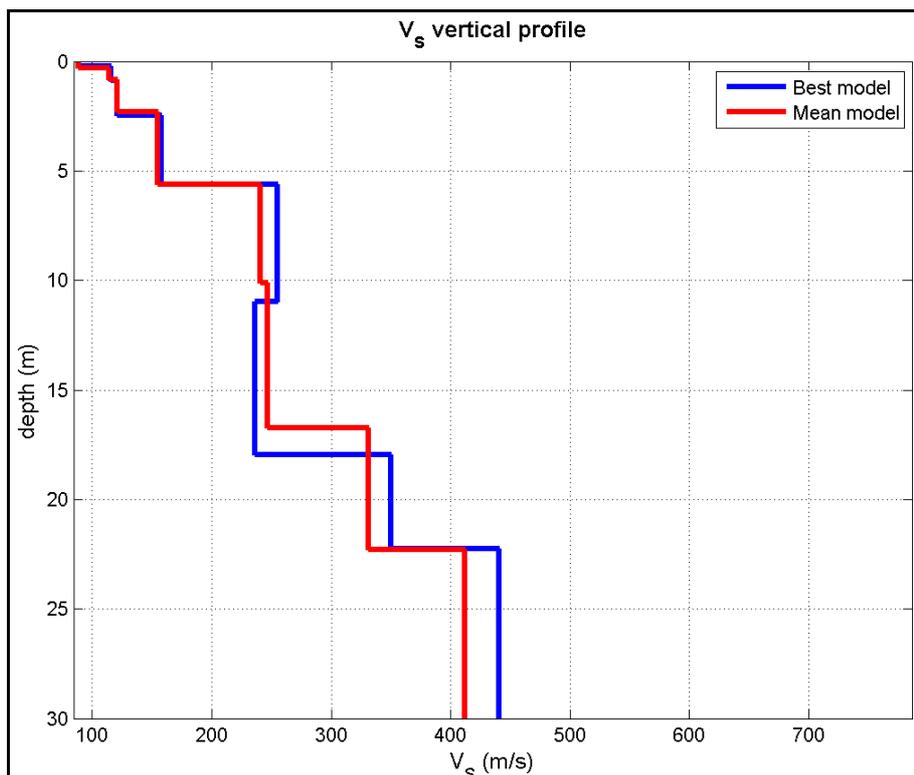


Fig.3: Profilo verticale Vs (Modello medio/Modello migliore)

Mean model

Vs (m/s): 88, 114, 121, 155, 241, 247, 331, 412, 540, 443, 499, 609

Thickness (m): 0.3, 0.5, 1.5, 3.3, 4.5, 6.6, 5.6, 12.2, 21.7, 32.6, 35.1

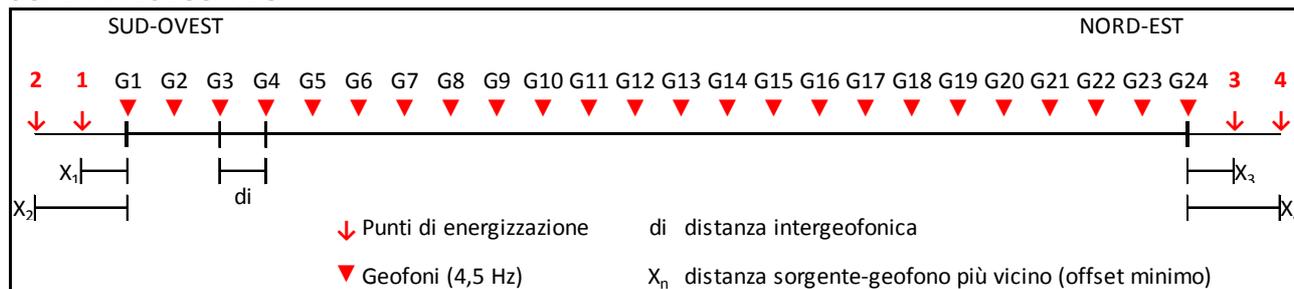
$V_{s,30} = 246 \text{ m/s (best model)} \div 245 \text{ m/s (mean model)}$

a partire dal piano campagna

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO – C

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)”.

SCHEMA ESECUTIVO





Toscana Aeroporti Engineering s.r.l.

Report delle attività di indagine

Campagna di indagini geognostiche integrative nell'area di
compensazione ecologica e idraulica "Il Piano"

ALLEGATO 4: INDAGINI GEOELETTRICHE

INDICE

1. - Premessa	2
2. - Tomografia geoelettrica	3
2.1 - Sistema d'acquisizione, procedura e elaborazione dati	4
2.2 - Logistica delle prospezioni	5
2.3 - Risultati ottenuti e loro interpretazione	6

1. - Premessa

Per incarico ricevuto da TAE, in data 22 gennaio 2018, sono state eseguite indagini geofisiche finalizzate alla valutazione dello stato del materiale costituente l'argine destro del Fiume Bisenzio, in Via Argine Strada nel Comune di Signa (FI), nell'ambito del progetto di realizzazione di "nuova pista, opere accessorie e di compensazione dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci".

Nello specifico sono state realizzate n.3 prospezioni geoelettriche con sviluppo lungo la sommità arginale.

L'area e la logistica delle indagini sono riportate in tav.1 e nella figura seguente.



Fig.1 – Ubicazione stese geoelettriche

2. - Tomografia geoelettrica

La geoelettrica è un metodo geofisico che per caratterizzare il sottosuolo utilizza come parametro la resistività elettrica del terreno. La resistività è una grandezza fisica delle rocce e dei terreni, misurata in ohm per metro ($\Omega \cdot m$) ed indica la resistenza incontrata dalla corrente elettrica nell'attraversare una formazione rocciosa o il terreno sciolto. Il valore di resistività che si misura è una resistività apparente perché le linee di corrente che consentono di valutare tale parametro, attraversano generalmente più formazioni rocciose. Misuriamo cioè un valore anomalo rispetto al valore che si misurerebbe in un sottosuolo omogeneo ed isotropo.

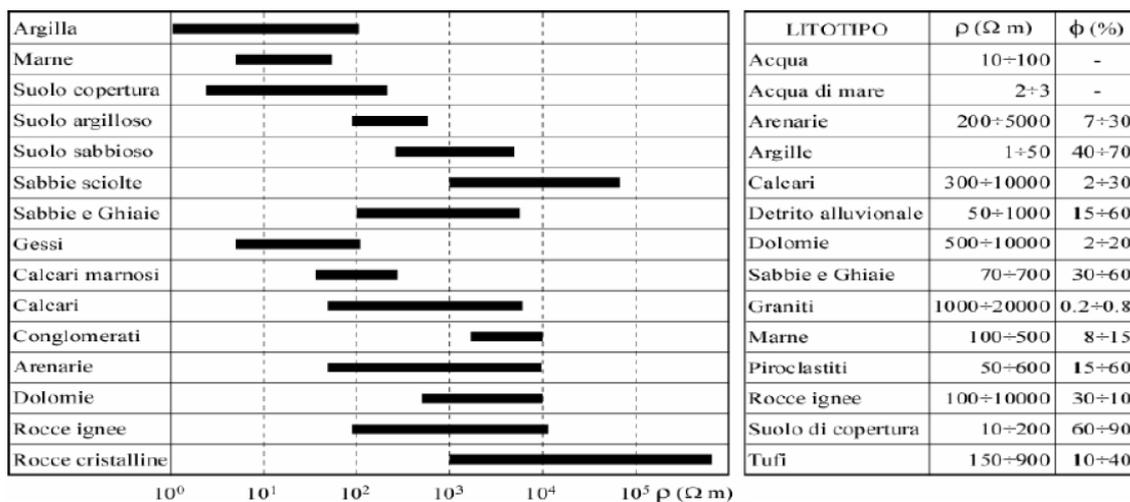
Il metodo d'indagine geoelettrico si basa sull'immissione di una corrente elettrica I nel terreno al fine di misurarne la resistività apparente, un parametro utile nell'indagine del sottosuolo poiché influenzato dalla tessitura, dalla porosità, dal contenuto in argilla, dal grado di saturazione e dalla temperatura della roccia, oltre che dalla permeabilità, dalla temperatura e dalla salinità della soluzione acquosa che imbibisce la formazione. Attraverso la misura della differenza di potenziale ΔV tra due punti nel terreno in cui viene fatta circolare la corrente I è possibile ricavare, attraverso le leggi fisiche, il valore della resistività apparente.

$$\rho_a = K \Delta V / I$$

dove K è un coefficiente geometrico che dipende dalla geometria del sistema quadri-polare utilizzato.

Una metodologia di indagine comunemente utilizzata nell'indagine del sottosuolo con il metodo della geoelettrica è il profilo di resistività. Tali profili vengono utilizzati qualora si è interessati a mettere in evidenza variazioni laterali di resistività e definire le strutture responsabili di tali variazioni.

I valori di resistività per le rocce e per i suoli più comuni viene riportata di seguito:



Tab.1 – Valori indicativi di resistività ($Ohm*m$) di alcuni litotipi

Tab.2 – Valori indicativi di resistività ($Ohm*m$) e di porosità (%) di alcuni litotipi

Dalla tabella in figura si ricava che i valori di resistività più alti sono dati da rocce di natura ignea o metamorfica. Bisogna però tener conto del fatto che tali valori possono essere suscettibili a variazioni se il mezzo considerato presenta un alto grado di fratturazione o un’alta percentuale di fratture riempite d’acqua. Noto ciò si può fare una stima di massima sul range di valori di resistività che si possono attendere in campagna.

2.1 - Sistema d’acquisizione, procedura e elaborazione dati

La strumentazione impiegata consiste in un georesistivometro digitale multielettrodo modello “MANGUSTA SYSTEM MC 48E” della Ambrogeo di Piacenza dotato di 48 elettrodi, con 48 morsetti utilizzati per unire gli elettrodi ai due cavi di corrente costituiti da 24 canali ognuno. I dati acquisiti in campagna vengono poi processati in studio tramite il software di elaborazione RES2DINV della GEOTOMO INTERNATIONAL.

Il metodo della Tomografia geoelettrica si articola in tre passaggi successivi:

- Acquisizione della resistività apparente del terreno da effettuarsi in campagna con apposita strumentazione;
- Costruzione di una pseudosezione di resistività apparente (ricavata attraverso le misure di corrente immesse e di potenziali ricavati);
- Inversione della precedente pseudosezione di resistività apparente per ottenere la resistività reale del terreno attraverso modello tomografico.

Il primo punto riguarda la prova di tomografia geoelettrica eseguita "in situ" per ottenere la pseudosezione di resistività apparente. I passaggi successivi fanno riferimento all'elaborazione dei dati acquisiti in campagna mediante il pc, utilizzando potenti software in grado di filtrare e invertire i dati.

Al fine di indagare l'andamento del sito in esame si è scelto di procedere con una configurazione geometrica di tipo WENNER che consente di ottenere medesimi risultati con un minor numero di misure rispetto alle altre geometrie, garantendo una buona copertura orizzontale. La sensitività è distribuita perlopiù orizzontalmente attraverso il centro del profilo, ecco perché è indicato per rilevare variazioni verticali più che orizzontali. Tale metodo ha consentito di effettuare un'indagine del sottosuolo con la tecnica della tomografia elettrica 2D.

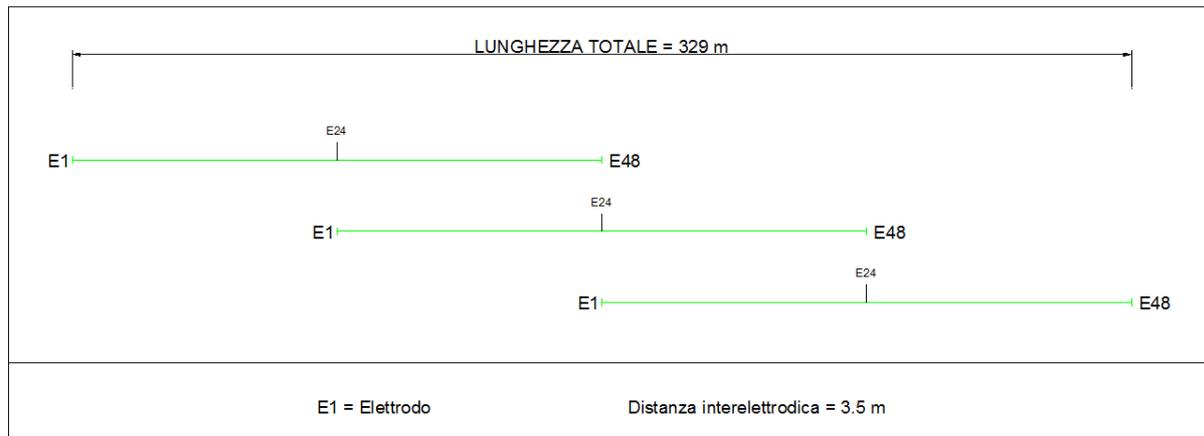
La tomografia elettrica, da noi utilizzata per l'analisi del sottosuolo, è una moderna metodologia d'indagine geofisica frutto dell'evoluzione delle classiche metodologie d'indagine geoelettrica. Essa restituisce rappresentazioni bidimensionali e tridimensionali ad alta risoluzione delle caratteristiche elettriche del sottosuolo, attraverso l'utilizzo di particolari software.

L'acquisizione dati nella tomografia elettrica conserva il principio fisico del metodo geoelettrico tradizionale, ma avviene energizzando e misurando da più elettrodi (16, 24, 32, 48 ecc.) con cui è possibile ottenere un numero molto alto di combinazioni, indagando quindi non più solo lungo una verticale, ma lungo tutta una sezione, ottenendo un'informazione bidimensionale. I risultati delle prospezioni vengono riportati nel § 2.3 ed includono le sezioni tomografiche di resistività.

2.2 - Logistica delle prospezioni

Nell'area di studio sono state eseguite n.3 prospezioni geoelettriche tomografiche. Sono stati utilizzati elettrodi in acciaio non polarizzati per evitare i fenomeni di potenziali spontanei.

Ogni stesa è costituita da 48 elettrodi, con distanza interelettrodica pari a 3.5 metri e lunghezza complessiva di 164.5 metri. Per raggiungere la lunghezza d'indagine totale richiesta, le tre stese sono state sovrapposte ogni volta partendo dalla metà dello stendimento precedente, come indicato nel seguente schema:



Tab. 3 – Schema logistico degli stendimenti.

2.3 - Risultati ottenuti e loro interpretazione

Le tre stese sono state elaborate singolarmente secondo la tecnica tomografica e successivamente unite in un unico profilo geoelettrico comprensivo di tutte le acquisizioni effettuate, come mostrato nelle seguenti figure.

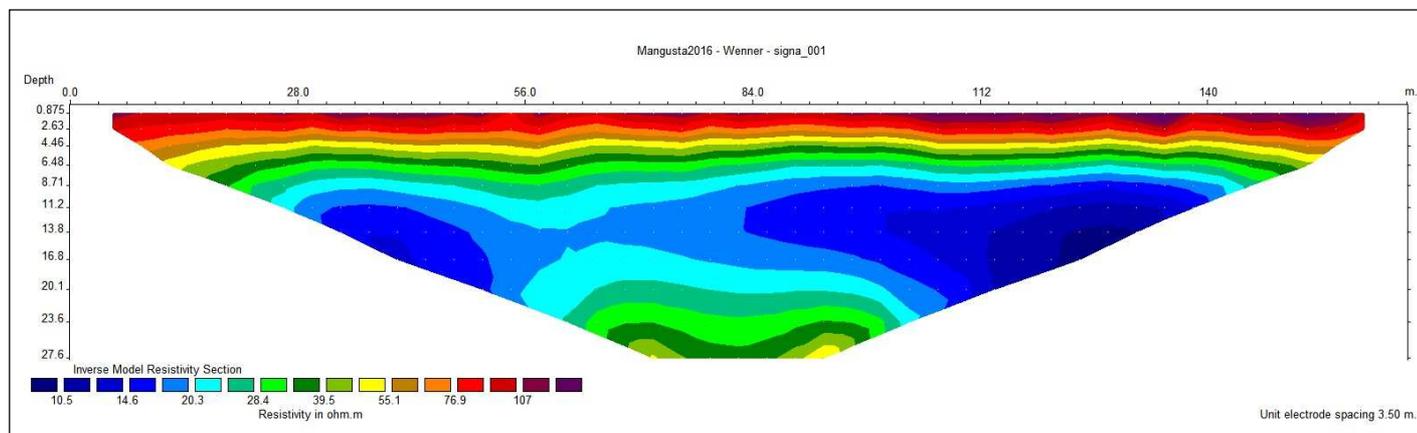


Fig.2 – Tomografia geoelettrica stesa n.1

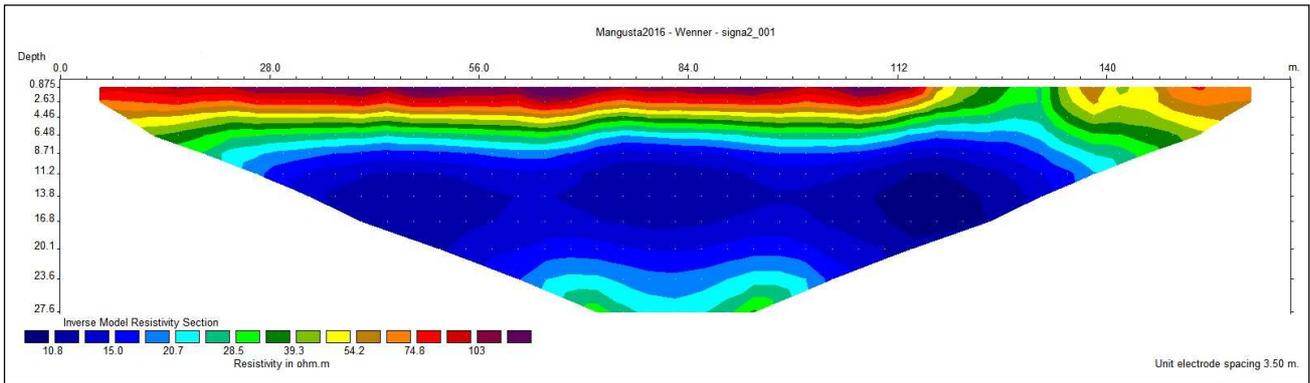


Fig.3 – Tomografia geoelettrica stesa n.2

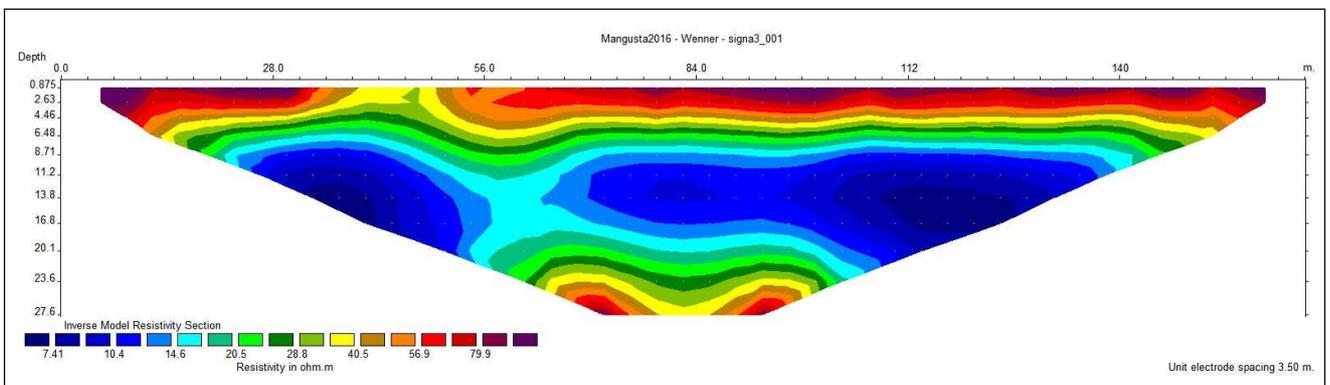


Fig.4 – Tomografia geoelettrica stesa n.3

L'unione delle tre sezioni geoelettriche ha permesso di ottenere una tomografia rappresentativa di tutta la porzione di argine indagato, come mostrato di seguito.

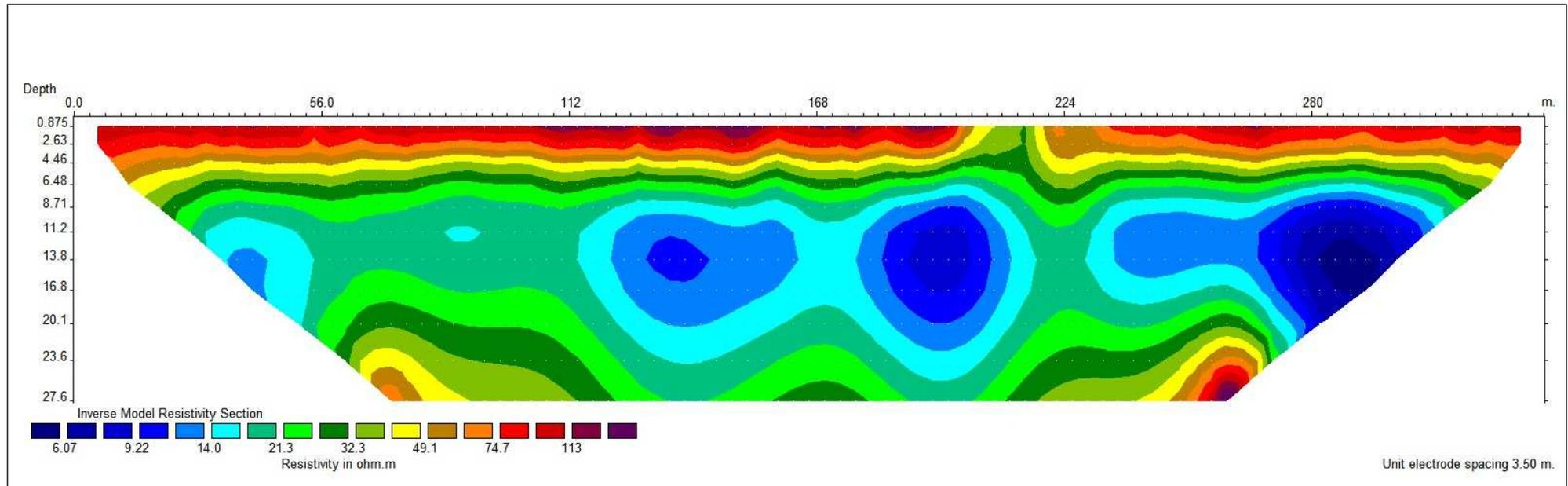


Fig. 5 – Tomografia geoelettrica ricostruita su 3 stese

In sezione è possibile notare una sostanziale omogeneità del corpo arginale, in cui si ha un elettrostrato (elettrostrato n.1) più superficiale ad elevata resistività (mediamente 80 – 100 Ohm*m), di spessore pari a circa 5-6 metri.

La resistività all'interno di questo livello decresce progressivamente con la profondità, fino ad una fascia (elettrostrato n.2) a bassa resistività che va da 6 metri circa fino a, mediamente, 20 metri di profondità. Tale livello potrebbe corrispondere alla quota del Fiume Bisenzio adiacente.

Al di sotto dei 20 metri di profondità la resistività aumenta nuovamente (elettrostrato n.3), riportandosi su valori fino a 60 – 70 Ohm*m.

Si segnala la presenza di un'anomalia tra le progressive 203 e 220 metri circa, in cui appare una zona a resistività relativamente bassa rispetto alle porzioni di argine circostanti e la cui natura andrà verificata.