Studio d'Impatto Ambientale

Per il rinnovo concessione di grande derivazione del Campo pozzi per uso idropotabile di Caperana – Chiavari



Allegato d

Prospezioni Geofisiche

REDATTO DA	Dr.ssa Geol. Laura Spalluto		EMISSIONE	Finale
			REVISIONE	0
			n° di pagine	20
Data di emissione	Marzo 2014			

Geofisica e Ambiente sas
di G. Baudoino & C.
INDAGINI GEOGNOSTICHE • INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINE GEOFISICA DI TIPO NOISE ANALYSIS SURFACE WAVES NASW E DI TOMOGRAFIA ELETTRICA ESEGUITA NEL COMUNE DI LAVAGNA

Zona Caperana.

COMMITTENTE: IDROTIGULLIO

Genova, 14 MARZO 2014

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Indice

1. Premessa pag. 2
2. Descrizione del metodo NASW pag. 2
2.1 Acquisizione ed Elaborazione del Noise sismico pag. 3
Strumentazione
2.2 Risultati pag. 5
3. Tomografia elettrica pag. 12
3.1 Acquisizione dati pag. 13
3.2 Risultati
4. Conclusioni pag.15

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

1. Premessa

Nel mese di marzo 2014 è stata eseguita, nel Comune di Lavagna, un'indagine sismica di tipo Noise Analysis Surface Waves NASW su onde di taglio e un'indagine di tomografia elettrica. La correlazione dei due diversi metodi d'indagine permette di definire una stratigrafia di massima (terreno a granulometrie variabili con differente grado di addensamento e di saturazione, substrato roccioso più o meno fratturato e/o alterato ecc..) e la possibile presenza di acqua nei livelli di terreno indagati.

2. Descrizione del metodo NASW - ReMi

Il metodo d'indagine sismica passiva denominato NASW (Noise Analysis of Surface Waves), o come comunemente chiamato ReMi (acronomo di refraction microtremors) si basa sulle particolari leggi fisico-matematiche, che governano la propagazione delle onde sismiche superficiali, in mezzi stratificati (monodimensionali o 1-D) Ciò che tale metodo analizza è la dispersione delle onde di superficie che vengono prodotte da sorgenti di cui non si sa la provenienza ad esempio il traffico urbano attività varie ecc… In tali condizioni, sia le onde di Love sia le onde di Rayleigh, hanno carattere dispersivo: si ha una forte dipendenza della velocità di propagazione (V_R per le onde di Rayleigh e V_R per le onde di Love) dalla frequenza del moto sismico. In ipotesi di mezzo stratificato, le caratteristiche della "curva di dispersione" $V_R = V_R (f)$ sono strettamente collegate alle caratteristiche stratigrafiche dell'area indagata: la struttura della curva di dispersione dipende quasi esclusivamente dal profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs = Vs (z). Ad esempio, nel caso di un aumento di velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità, la curva di dispersione assume un andamento caratteristico, evidenziando bassi valori di velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in corrispondenza di alte frequenze mentre mostrano alti valori di velocità in corrispondenza di basse frequenze. La totalità dei metodi d'indagine sismologica basati sull'analisi delle onde superficiali, sia essi passivi sia attivi, prevedono specifiche tecniche di acquisizione dei segnali sismici, identificazione delle onde superficiali, stima della curva di dispersione ed inversione o modeling di questa ultima, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

La peculiare caratteristica che differenzia in modo sostanziale il metodo NASW dai metodi d'indagine attivi, basati su un'artificiale energizzazione sismica del terreno (SASW Nazarena and Stokoe 1984; MASW Park et al., 1999), risiede nell'utilizzo del rumore

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

sismico di fondo (“noise sismico” o “microtremore”) come sorgente d’onde superficiali. L'analisi sperimentale dei microtremori ha, infatti, evidenziato che il rumore sismico presente nell’ambiente possiede, in genere, caratteristiche spettrali particolarmente adatte all’esplorazione del primo sottosuolo (significativa densità di energia nella banda 3 – 25 Hz). L'utilizzo di sorgenti sismiche “naturali” rende il metodo ReMi particolarmente idoneo per indagini in contesti urbani rumorosi, dove l'utilizzo di efficaci sorgenti sismiche comporterebbe, un proibitivo aumento dei costi dell'indagine geofisica.

Per una dettagliata ed esaustiva descrizione delle tecniche di misura e delle metodologie d’analisi del noise sismico si rimanda a:

➢ NaKamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics extimation of subsurface using microtremor on ground surface. QR Raylw Tech. Res.Inst., 30, 25-33.

- Nazarian S. e Stokoe K. H. 1984. In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves in Proceedings of the world Conference on Earthquake Engineering, Vol. 8, San Francisco, 21-28.

- Louie J. N. 2001 “shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arreys” Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 2 347-364 pp.

- Okada 2004, Saito M. 1979 “Computation of reflectivity and surface wave dispersion curves for layered media” Butsuri-Tanko 32, n°5 15 -26pp

2.1 Acquisizione ed elaborazione del “Noise” sismico

Strumentazione

- sismometro Abem Terraloc Mark 6 - 24 canali 24 bit di dimnamica
  24 geofoni di frequenza caratteristica pari a 4.5 Hz.
- 2 cavi geofonici da 12 prese ciascuno.

La tecnica ReMi viene eseguita tramite uno stendimento di geofoni di tipo lineare.

Le tracce sismiche sono state acquisite lungo due profili.

Profilo 1: interdistanza geofonica di 7 m per una lunghezza totale dello stendimento di 161 m.

Profilo 2: interdistanza geofonica di 5 m per una lunghezza totale dello stendimento di

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

115 m.

Il segnale sismico è stato acquisito con passo di campionamento di 2 ms e con numero di campioni di 16384, tali parametri hanno consentito di registrare segnali sismici di lunghezza pari a 32768 ms. Sono state registrate 15 “finestre” di rumore sismico per entrambi i profili.

Le principali fasi di “processing” possono essere riassunti nei seguenti punti:

- Pre-processing dei records di noise sismico (analisi delle caratteristiche medie del “noise”, per verificarne la qualità sia in termini di stazionarietà spazio-temporale e sia in termini di coerenza spettrale) che consente di individuare il range di frequenze ottimale (2.5 – 25 Hz) da utilizzare nelle fasi successive di elaborazione.
- Trasformazione dei records di noise sismico secondo due passaggi successivi. In primo luogo è stata operata la trasformazione dal dominio T-X (tempo – distanza) al dominio tau-p (tempo intercetta -“slowness” o reciproco della velocità apparente) e successivamente dal dominio tau-p al dominio f-p (frequenza - 1/V) p-f Image (un’elaborazione statistica di tutti i records di tipo p-f ed una procedura di normalizzazione hanno consentito di ottenere il diagramma indicato come p-f image).
- picking della curva di dispersione, (è associato ad un certo numero di punti uno o più rapporti 1/V per alcune frequenze.

Nell’immagine “1/V-frequency” (p-f) (spettro di potenza normalizzato in funzione della frequenza f e del parametro p), sono messi in evidenza gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo, da quelle associabili ad altri tipi di onde (onde di Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

La curva di dispersione $V_R = V_R(f)$ è stata utilizzata per stimare il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio, adottando una metodologia di modeling diretto (Saito 1984), che consente di ottenere, attraverso approssimazioni successive (“trial and error”), una funzione $Vs = Vs(z)$, tale da minimizzare il misfit tra la curva di dispersione teorica e curva di dispersione osservata.

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

2.2 Risultati

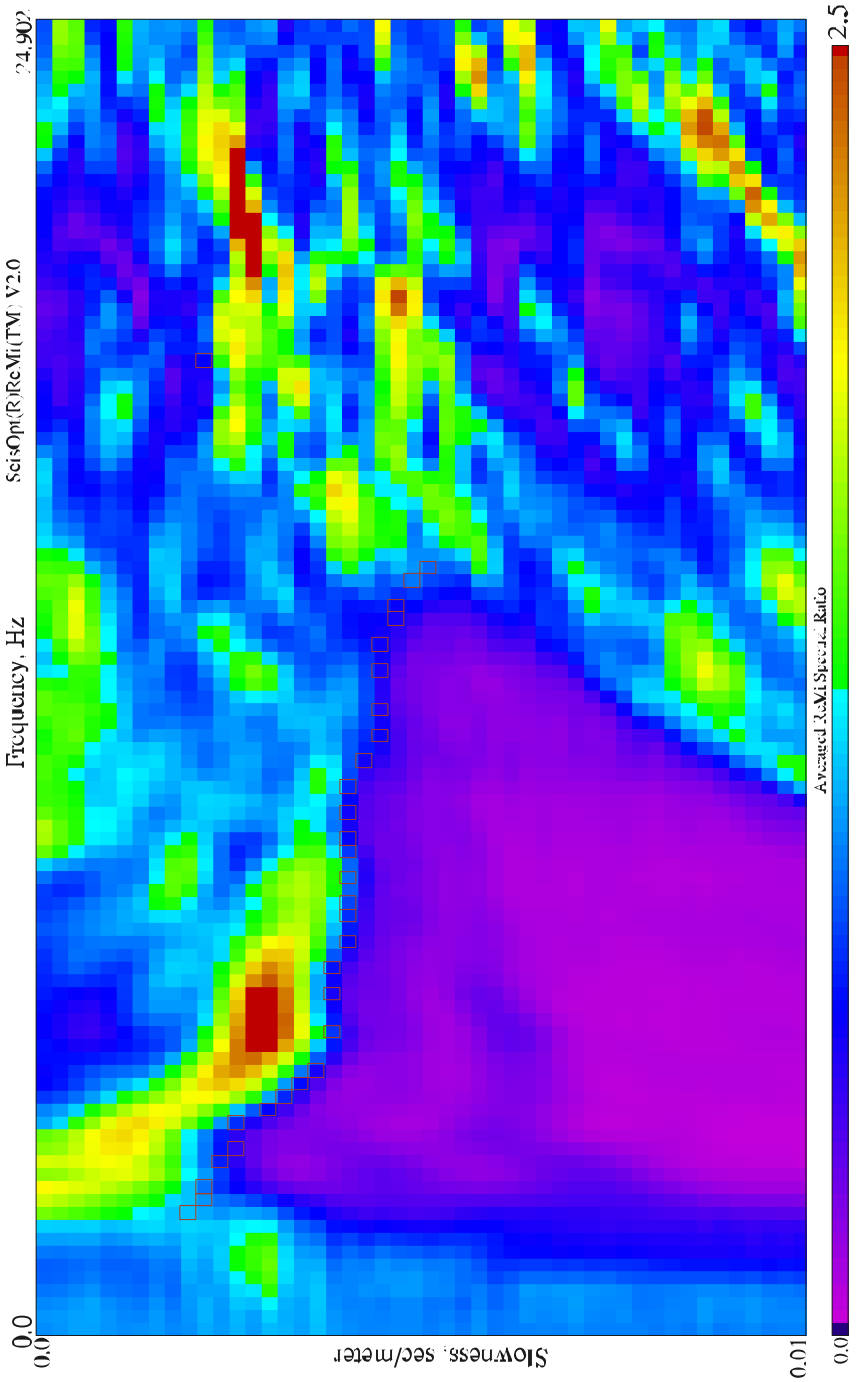
Per ogni indagine di tipo NASW verranno di seguito riportati:

a) Rappresentazione in scala cromatica dello spettro di potenza “p-f Image” utilizzato per fare il “picking” della curva di dispersione sperimentale.

b) Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs =Vs(z).

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

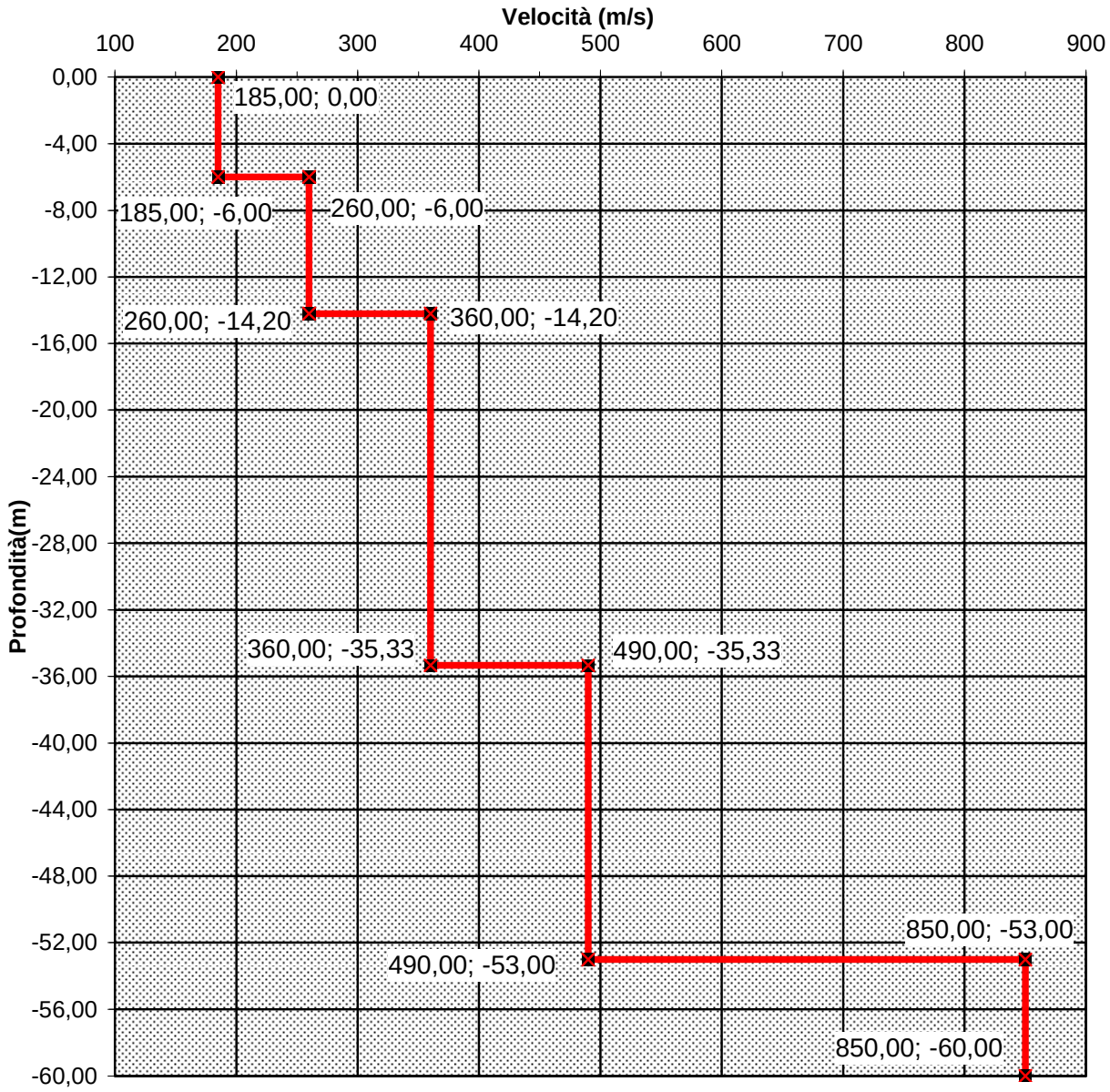
Profilo 1



Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Profilo 1 - NASW

Velocità delle onde di taglio Vs (m/s)

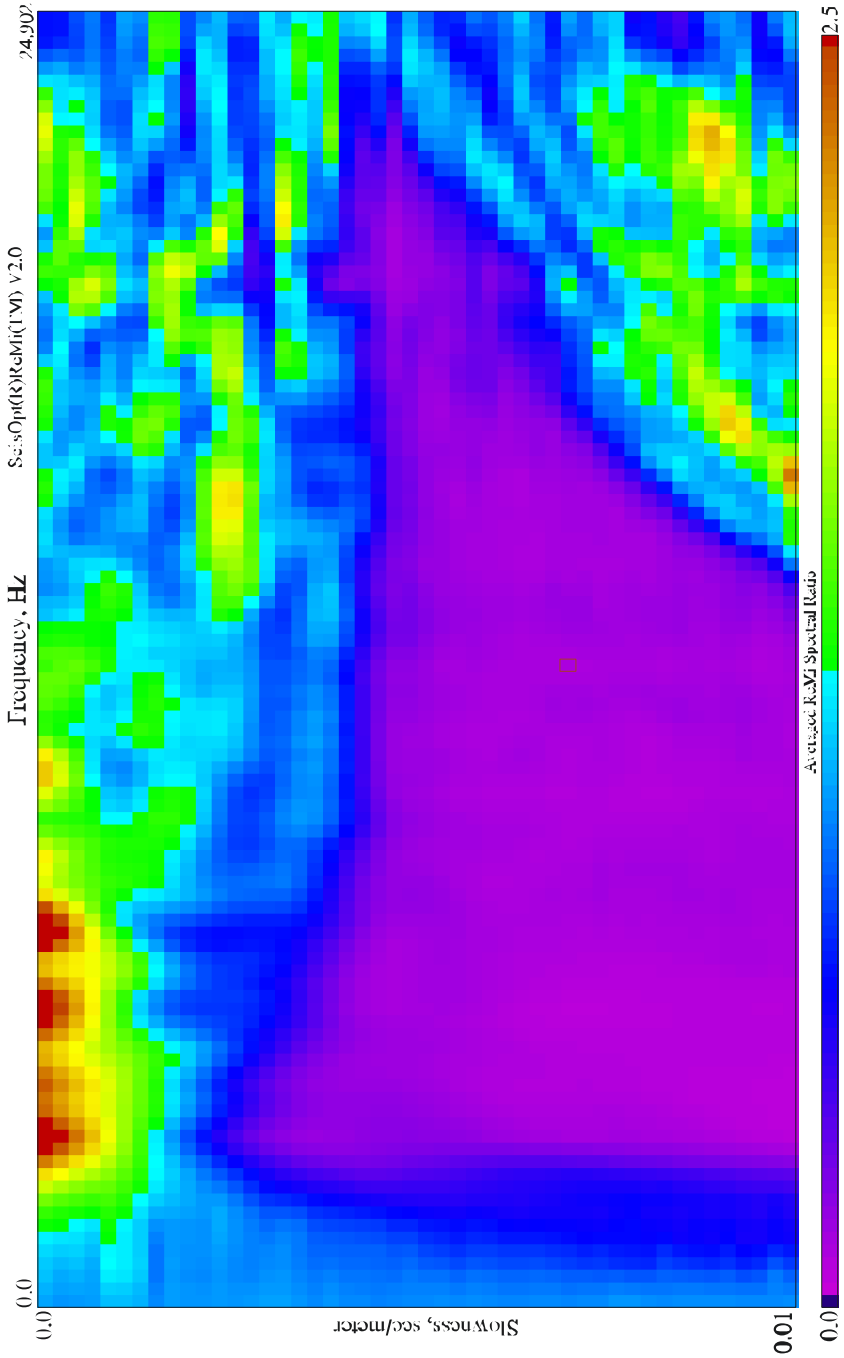


Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

PROFILO 1	
Profondità (m)	**Vs (m/s)**
0,00	185,00
-6,00	185,00
-6,00	260,00
-14,20	260,00
-14,20	360,00
-35,33	360,00
-35,33	490,00
-53,00	490,00
-53,00	850,00
-60,00	850,00

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

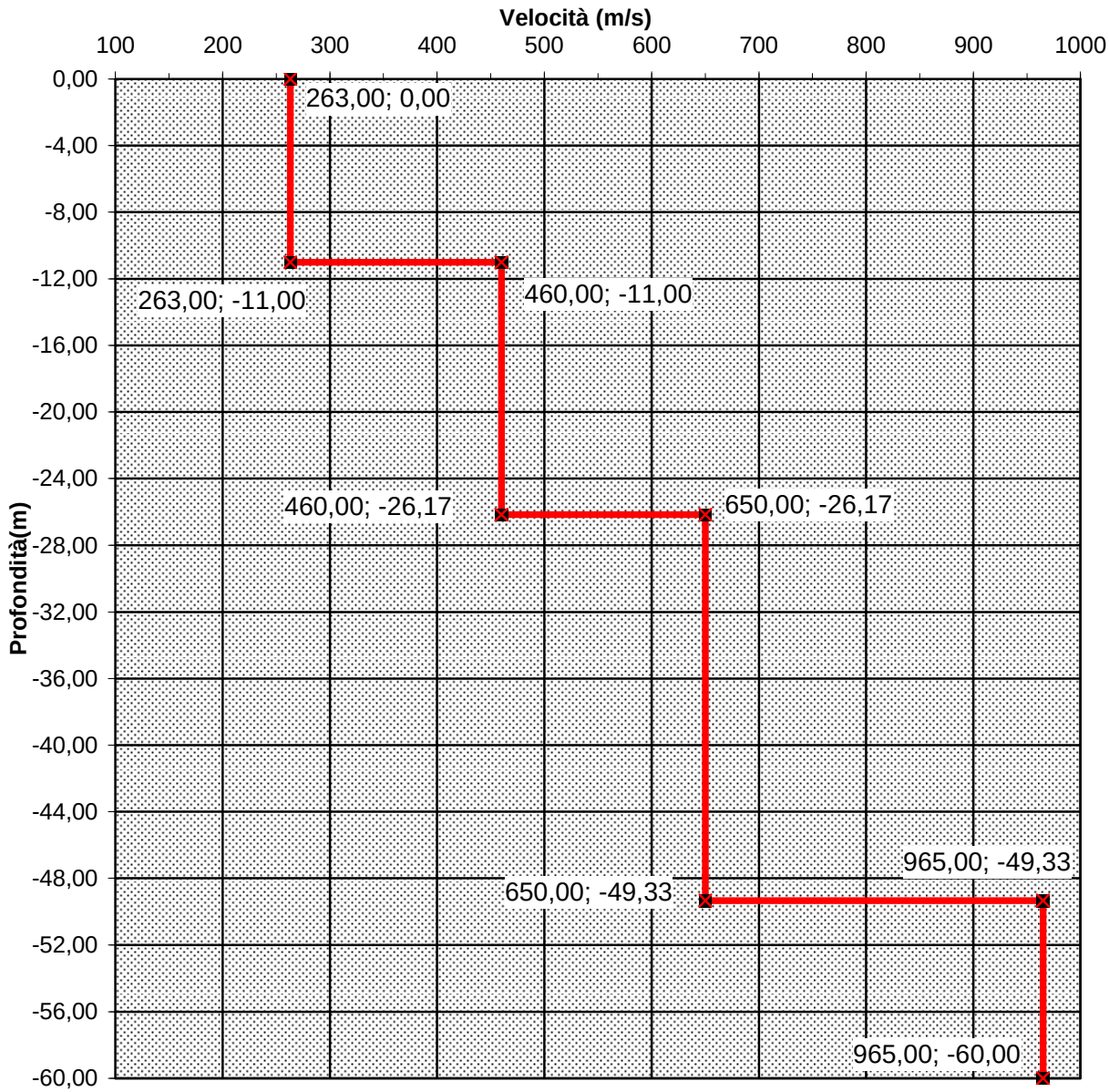
Profilo 2



Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Profilo 2 - NASW

Velocità delle onde di taglio Vs (m/s)



Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

PROFILO 2	
Profondità (m)	**Vs (m/s)**
0,00	263,00
-11,00	263,00
-11,00	460,00
-26,17	460,00
-26,17	650,00
-49,33	650,00
-49,33	965,00
-60,00	965,00

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

3. Tomografia Elettrica Descrizione del Metodo

La metodologia “geoelettrica” rappresenta uno dei metodi geofisici, storicamente più utilizzati, per la ricostruzione delle strutture presenti nel sottosuolo, con particolare riferimento alle tematiche legate alla caratterizzazione dei diversi tipi di formazioni geolitologiche.

Il parametro di base è la “resistività elettrica”, proprietà fisica che esprime la “resistenza” che i materiali offrono al passaggio della corrente elettrica.

Le misure geoelettriche consentono, valutando le deformazioni del flusso di corrente indotte dalle proprietà fisiche dei materiali, di caratterizzare i materiali stessi e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività che caratterizza i materiali è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- natura fisica (conducibilità intrinseca dei componenti di base);
- porosità e/o fatturazione e quindi forma, dimensione e continuità dei pori;
- percentuale di presenza di fluidi interstiziali (essenzialmente presenza acqua);
- grado di salinità dell’acqua.

La misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale, nel mezzo oggetto dell’indagine e studiandone la distribuzione nel sottosuolo.

Il dispositivo di misura è costituito quindi da due coppie di elettrodi metallici (quadripolo) infissi sul terreno, con geometrie che si differenziano in funzione del tipo di rilievo da realizzare.

La coppia elettrodica (A-B) costituisce il circuito con il quale s’immette corrente nel terreno, la coppia elettrodica (M-N) rappresenta il circuito di misura della differenza di potenziale generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente.

Si misurano così le variazioni del campo elettrico indotte dalle eterogeneità presenti nel sottosuolo, che sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente fra mezzi diversi.

L’innovazione fondamentale introdotta nell’acquisizione tomografica è rappresentata dall’utilizzo di strumentazioni digitali “multicanale” in grado di gestire automaticamente un

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

gran numero di elettrodi che riducono largamente i tempi di acquisizione e forniscono la misura della resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti costituenti la sezione indagata.

Grazie all'elevata densità dei punti si rende possibile, nella fase di elaborazione, l'applicazione di algoritmi di "inversione" bidimensionale (2D) che ricostruiscono con estremo dettaglio, la sezione di resistività "vera", definendo in particolare gli effetti delle "variazioni laterali" e quindi restituendo una rappresentazione finale largamente corrispondente alla situazione reale. In generale, il numero di misure è di n*(n-3)/2 dove n è il numero di elettrodi utilizzati.

La ricostruzione tomografica è effettuata mediante l'applicazione del Metodo degli Elementi Finiti (FEM). Nella ricostruzione tomografica la distribuzione della resistività è l'incognita, mentre le misure elettriche effettuate sul terreno rappresentano i termini noti. Il problema è affrontato discretizzando il terreno al disotto degli elettrodi in un numero finito di maglie o celle (elementi finiti, appunto), ciascuna di resistività omogenea e incognita. La forma degli elementi è generalmente quadrata o rettangolare e le dimensioni sono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi (1/2 della spaziatura tra due elettrodi contigui).

I valori di resistività da determinare sono quindi quelli che caratterizzano ciascun elemento della maglia. La loro determinazione avviene tramite l'applicazione di un algoritmo iterativo d'inversione, che modifica progressivamente il valore della resistività di ciascun elemento (fissato arbitrariamente all'inizio del processo) in modo da minimizzare gli errori tra i potenziali calcolati e quelli misurati agli elettrodi. Il problema della determinazione della resistività di ciascun elemento non è lineare. E' quindi possibile che l'errore da minimizzare possieda molti minimi locali e che, definita una soglia di errore nei dati sperimentali, esista di conseguenza più di una soluzione.

La conoscenza della stratigrafia di massima del terreno su cui viene effettuata la tomografia elettrica permette di fissare a priori alcune condizioni al contorno;

Da un punto di vista operativo, l'esecuzione della TES richiede quindi:

• La disposizione di una serie di elettrodi equidistanti lungo una linea ed il loro cablaggio all'apparecchiatura di controllo, nonché l'esecuzione delle misure secondo un gran numero di combinazioni elettrodiche.

3.1 Acquisizione ed elaborazione dei Dati

Strumentazione

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Nel caso in oggetto l'acquisizione dei dati in campagna è stata ottenuta attraverso l'impiego dello strumento IRIS Syscal Pro a 72 elettrodi, due cavi da 24 prese con spaziatura di 5 m.

La lunghezza dei profili elettrici e gli elettrodi utilizzati sono stati 235 metri, 48 per il profilo 1 e 195 m, 40 per il profilo 2 con distanza interelettrodica per entrambi(distanza che intercorre tra i picchetti infissi nel terreno) di 5 metri.

In merito allo scopo preposto, i profili sono stati impostati secondo il metodo di Wenner.

Sono stati acquisiti 370 punti di misura nel profilo 1 e 308 per il profilo 2.

3.2 Risultati

Di seguito sono allegate le sezioni ottenute con la tomografia elettrica.

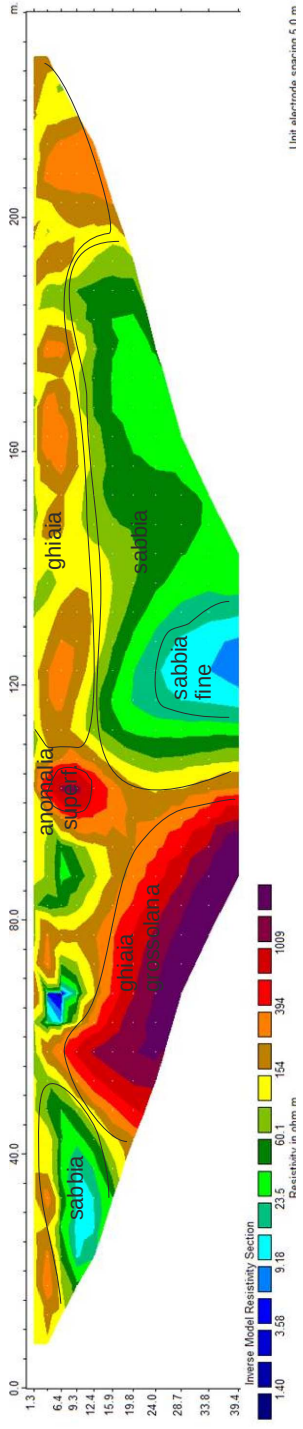
Nel profilo 1 sono risultate misure di resistività che possono rappresentare la presenza di alluvioni fini sature da 6 -9 m di profondità circa ed in modo più evidente dalla metrica 100 alla metrica 200 m; inoltre è visibile un contatto dalla profondità di circa 9 m ed alla progressiva 100 m, in cui si passa da resistività di 1000-1200 ohm m dai 40 fino ai 100 m di lunghezza a resistività nell'ordine dei 10-60 dalla progressiva 100 m alla progressiva 200 m. Tale variazione può essere rappresentativa di variazioni di granulometria e di addensamento e di maggiore presenza di acqua nel settore in cui la resistività è minore.

IL secondo profilo è caratterizzato maggiormente da aree a resistività variabili da 200 a 1000 ohm m (resistività caratteristica di alluvioni più grossolane) e mostra basse resistività, nell'ordine di qualche decina di ohm m, nella parte centrale, a profondità di circa 16 m ed in alcuni settori più superficiali a 4-6 m di profondità (materiale a grana più fine).

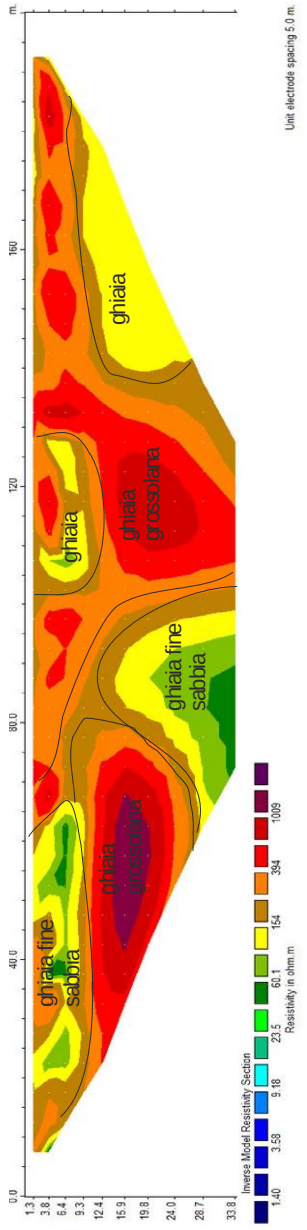
Di seguito sono riportate le sezioni in cui è indicata la stratigrafia indicativa, in base all'elaborazione dei dati ed alla stratigrafia dei pozzi limitrofi.

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

PROFILO 1



PROFILO 2



Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

4. Conclusioni

I risultati delle indagini eseguite, consentono di estrapolare una stratigrafia di massima delle aree indagate.

La localizzazione dei profili è riportata nella planimetria allegata.

Area 1

Da 0 a 6 m	Alluvioni scarsamente addensate	Vs circa 180 m/s
Da 6 a 10 -14 m circa	Alluvioni poco addensate con presenza di acqua	Vs 260 m/s
Da 14,5 m a 35 m	Alluvioni grossolane e fini sature	Vs 390 m/s
Da 35 a a 54 m	Alluvioni addensate e/o grossolane sature	Vs 490 m/s resistività ohm/m
Oltre 54 m	Substrato roccioso	Vs 850 m/s

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Area 2

Da 0 a 12 m	Alluvioni poco addensate	260 m/s
Da 12 a 26	Alluvioni grossolane e/o addensate sature	470 m/s
Da 26 a 49	Alluvioni molto addensate grossolane sature	650 m/s
Oltre 49 m	Substarto roccioso	Vs 965 m/s

Per **Geofisica e Ambiente sas**
Dott. Geol. Laura Spalluto

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Stesa 1	tomografia elettrica	
inizio stesa	44°19'15,17" N	9°20'43,56"E
fine stesa	44°19'21,15" N	9°20'46,43"E
Stesa 1	NASW	
inizio stesa	44°19'15,17" N	9°20'43,56"E
fine stesa	44°19'21,63" N	9°20'48,44"E
Stesa 2	tomografia elettrica	
inizio stesa	44°19'22,65" N	9°20'38,63"E
fine stesa	44°19'19,55" N	9°20'44,46"E
Stesa 2	NASW	
inizio stesa	44°19'22,65" N	9°20'38,63"E
fine stesa	44°19'19,55" N	9°20'44,46"E



Posizione Stese Geofisiche

Campo pozzi di Caperana le stese 1 e 2 indicano l'indagine NAWS e la tomografia geoelettrica.