

Committente

X-ELIO ⊕

X-Elio Italia 5 S.r.l.

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA

Tel.+39 06.8412640 - Fax +39 06.8551726

Partita IVA n° 15361461005

Progettista



Viale Jonio 95 - 00141 Roma - info@architetturasostenibile.com

PROGETTO AGROVOLTAICO "GINOSA"

*Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaico
di potenza pari a 68,475 MWp e relative opere di connessione alla RTN*

Località

REGIONE PUGLIA - COMUNE DI GINOSA (TA)

Titolo

Indagini geognostiche località "Campo Sud"

Data: 21 aprile 2020

Revisione

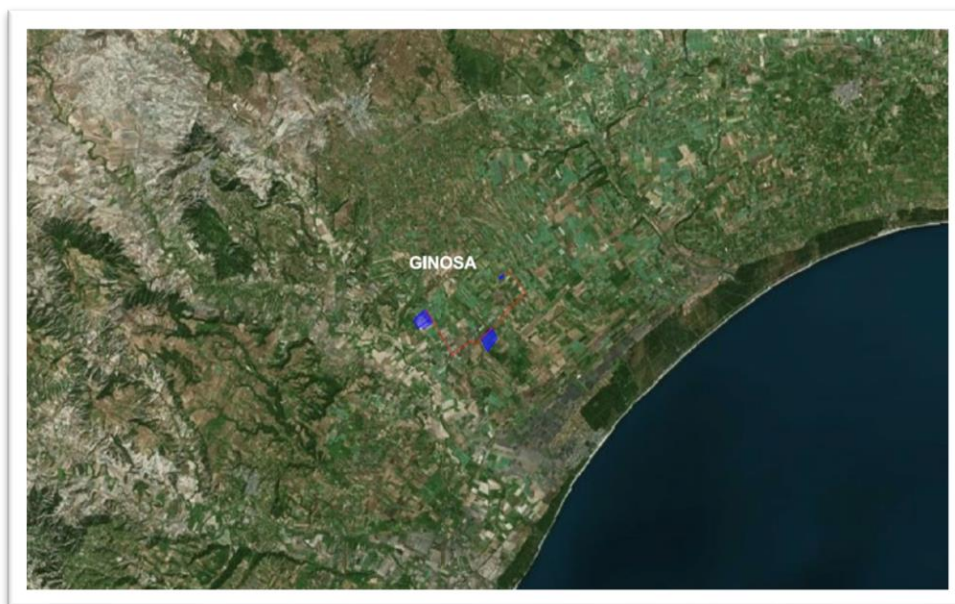


Sommario

- Premessa.....	3
- Descrizione del progetto.....	3
- Piano indagini.....	4
- Pozzetti di prova.....	6
- Prove di laboratorio.....	11
- Prove di permeabilità in sito.....	14
- Indagine sismica.....	16
- Indagine geoelettrica.....	25
- Conclusioni.....	30

PREMESSA

Il progetto in esame ha per oggetto la realizzazione di una centrale di produzione elettrica da fonte solare denominata “Ginosa”, ad inseguimento monoassiale, con asse inclinato con rotazione assiale ed azimuth fisso, che alloggeranno 155.624 moduli fotovoltaici da 440 W, con potenza complessiva di 68.474,56 kWp, collegati a 35 inverter con $P_{nom} = 1,64$ MW ciascuno, con potenza nominale dell’impianto $P_n = 1,64 * 35 = 57,4$ MW.



Corografia delle tre aree d’intervento

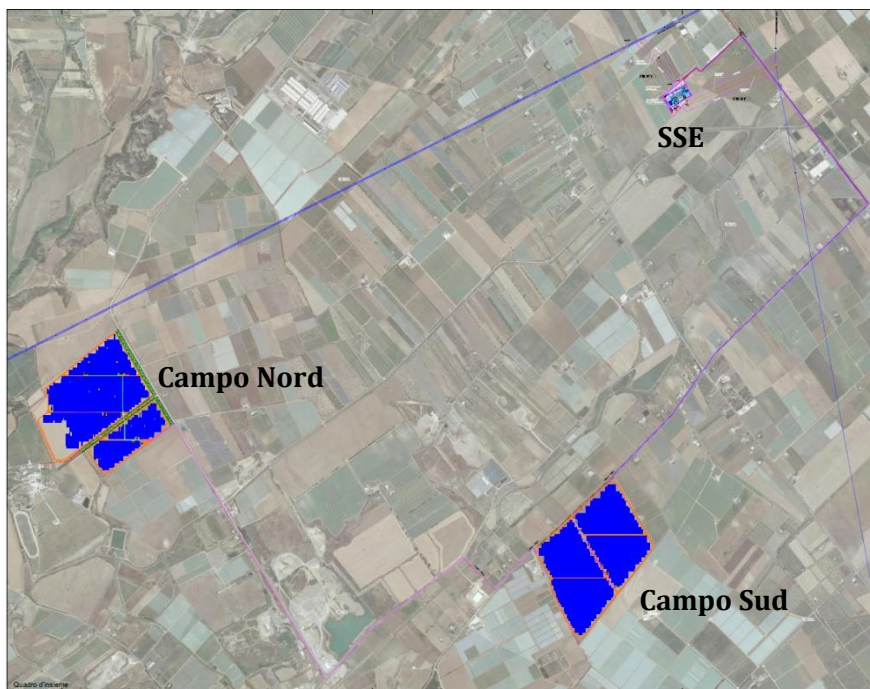
Questi dati potrebbero subire delle leggerissime variazioni in fase esecutiva in base ai modelli di pannelli ed inverter che si troveranno in commercio al momento della costruzione. La potenza nominale finale dell’impianto sarà comunque uguale o al massimo inferiore a 68,475 MW. Per la connessione alla RTN il progetto prevede la realizzazione di una Stazione di Trasformazione Elettrica Utente denominata “Xelio 5”, con Potenza di 57,4 MW, da collegare in antenna alla futura Stazione di Smistamento Elettrica di Terna S.p.A. a 150 kV denominata "Ginosa 150 RTN". La Sotto Stazione Utente sarà ubicata tra la strada provinciale n.9 e la strada provinciale n.10, nel comune di Ginosa, in provincia di Taranto ed alloggerà lo stallo di connessione a TERNA, alla tensione di 150 kV, i dispositivi di protezione e manovra in aria in alta tensione, compreso sistema di sbarre a 150 kV, un trasformatore da 70 MVA 150/30 kV, la cabina MT di arrivo dei cavi in media tensione provenienti dai due campi fotovoltaici, il locale di controllo e supervisione della SSE “Xelio 5” e della centrale fotovoltaica.

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La centrale di produzione fotovoltaica sarà suddivisa in tre aree con due sottocampi fotovoltaici, denominati “Campo Nord” e “ Campo Sud”, con potenza massima in immissione di 57,4 MW, posti rispettivamente a circa 2,5 km (campo“Sud”) e a circa 3,9 km (campo “Nord”) in linea d’aria dalla sottostazione elettrica di Utente, con lunghezza delle linee di collegamento MT rispettivamente di 5,1 e 9,6 km.



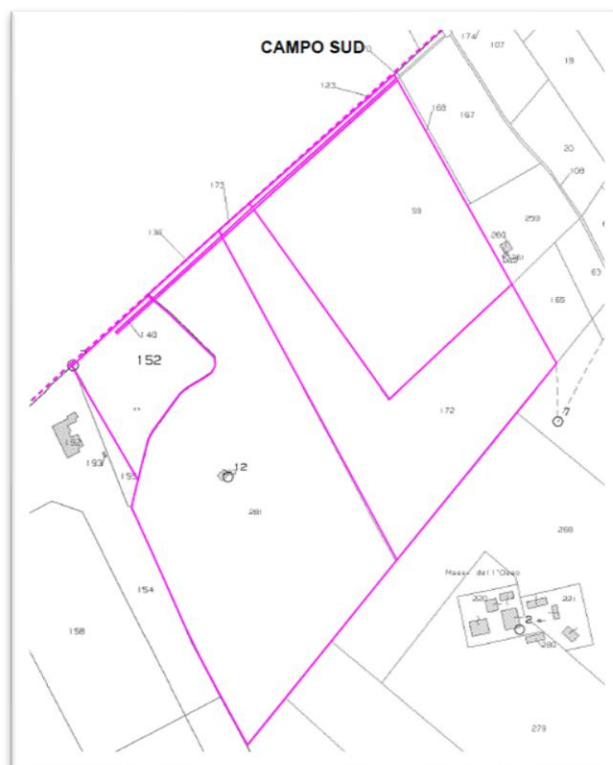
I terreni in località “Lago Lungo” presentano quote che variano da 41,1 a 49,6 m slm con una pendenza massima del 2%.

Come riportato anche dalla carta dell’uso del suolo, il terreno è completamente spoglio da alberatura ed è prevalentemente condotto ad orticole annuali. . Le coordinate medie del terreno sono:

WGS84 UTM	X:	Y:
33N	655136.32929	4481880.21781
WGS84 UTM	X:	Y:
32N	1164062.8547	4509824.65868
Gauss Boaga	X:	Y:
Est	2675143.36186	4481957.69242
lat/lon WGS84	X: 16.83009	Y: 40.47313

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
 Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
 Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.



Particelle catastali del Campo Nord – Fig. 115

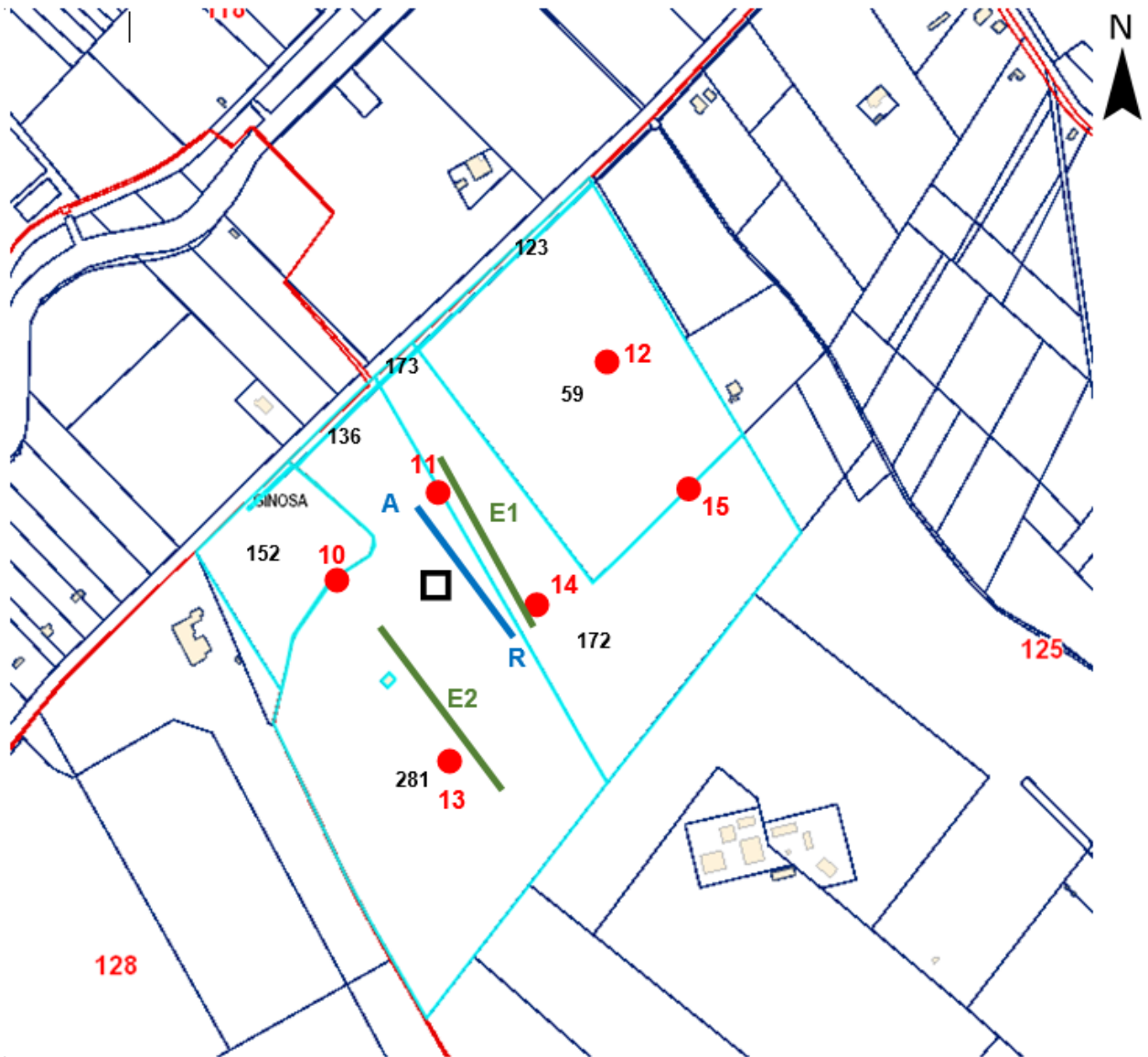
PIANO INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'indagine geognostica ha previsto l'esecuzione di indagini dirette e indirette di tipo geofisico:

- n° 6 pozzetti di prova: si tratta di scavi eseguiti nel terreno per studiare la composizione e struttura del sottosuolo. Ogni pozzetto, eseguito con pala meccanica, presenta una profondità di 3,5 m e una larghezza di 2 m circa. In corrispondenza di alcuni di questi scavi è stata eseguita la campionatura di terreno per le successive analisi di laboratorio;
- prelievo n° 4 campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- prelievo n° 2 campioni da sottoporre a prove di laboratorio chimico;
- prelievo di n° 2 campioni di acqua di falda da sottoporre a prove di laboratorio chimico;
- n° 1 prova di permeabilità in pozzetto a carico variabile;
- n° 1 prospezioni sismiche a rifrazione con acquisizione dei sismogrammi Onde P con sistema di energizzazione del tipo a massa battente con n° 3 shot;
- n° 1 indagine sismica MASW;
- n° 2 sondaggi elettrici verticali (SEV).

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.



- 1 ● Pozzetti
 - Prova permeabilità
 - A ——— R Sismica
 - E1 ——— E2 SEV
- Ubicazione indagini

POZZETTI DI PROVA

Nel sito in località Lago Lungo sono stati eseguiti, con pala meccanica, n° 6 pozzetti di prova, numerati dall'11 al 15, delle dimensioni 2,00x4,00x3,50 m circa.

Per ogni pozzetto è stata eseguita l'analisi stratigrafica e, in 4 di questi, con l'ausilio della benna, è stato prelevato un campione indisturbato, mediante fustella infissa a spinta. La natura del suolo varia da sabbia a sabbia debolmente limoso-argillosa con presenza di ciottoli: il colore è sempre marrone.



Pozzetto n° 10

Spessore (m)	litologia
0,00-0,70	Terreno agrario sabbioso
0,70-3,50	Sabbia



X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
 Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
 Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

Pozzetto n° 11

Spessore (m)	litologia
0,00-0,70	Terreno agrario sabbioso
0,70-3,50	Sabbia



Pozzetto n° 12

Spessore (m)	litologia
0,00-1,30	Terreno agrario sabbioso
1,30-2,30	Sabbia limosa
2,30-3,50	Sabbia



Pozzetto n° 13

Spessore (m)	litologia
0,00-1,00	Terreno agrario sabbioso
1,00-1,20	Sabbia limosa
1,20-3,50	Sabbia



Pozzetto n° 14

Spessore (m)	litologia
0,00-1,00	Terreno agrario sabbioso
1,00-1,50	Sabbia limosa
1,50-3,50	Sabbia



X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
 Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
 Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

Pozzetto n° 15

Spessore (m)	litologia
0,00-1,00	Terreno agrario sabbioso
1,00-2,30	Sabbia limosa
2,30-3,50	Sabbia



PROVE DI LABORATORIO

Come detto in precedenza, durante le operazioni di scavo dei pozzetti di prova sono stati prelevati n° 4 campioni indisturbati su cui sono stati eseguiti analisi di laboratorio e analisi chimiche.

Le analisi sono state eseguite dal laboratorio certificato "BRAINSTORMERS S.R.L." con sede in Potenza, via del Gallitello, 169.



X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
 Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
 Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

Pozzetti	Campione			
	Geotecnico	Procton/CBR	Chimico	Acqua
10	X			X
11		X	X	
12	X			
13	X			
14				
15	X		X	X

La campionatura delle acque di falda non è stata eseguita perché, non era presente nessuna falda idrica.

Su tutti i campioni prelevati sono state eseguite le seguenti analisi:

- apertura di campione, prova Pocket Penetrometer e/o Torvane e descrizione
- determinazione contenuto d'acqua allo stato naturale
- determinazione del peso specifico allo stato naturale
- determinazione del peso di volume dei granuli
- analisi granulometrica mediante vagliatura
- analisi granulometrica mediante sedimentazione
- determinazione dei limiti di consistenza
- classificazione del materiale
- prova di taglio diretto consolidata lenta
- prova di consolidazione edometrica
- calcolo dell'indice di compressibilità Cc

Sul campione n° 11 sono state eseguite le seguenti analisi:

- prova di compattazione AASHTO MODIFICATA
- determinazione dell'indice di portanza californiano C.B.R.
- prova ad espansione laterale libera (ELL)

Sui campioni n° 11 e 15 sono state eseguite le seguenti analisi chimiche:

- contenuto in sostanze organiche
- contenuto in cloruri
- contenuto in solfati
- contenuto in solfiti
- alcalinità
- acidità
- potenziale redox
- PH

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
 Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
 Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

QUADRO RIASSUNTIVO E INTERPRETATIVO DELLE ANALISI GEOTECNICHE

LAVORO: Realizzazione impianti fotovoltaici - Piano di indagini geonostiche - Comune di Ginosa (TA)

Sond	Campione	Profondità (m)	W (%)	γ_n (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_s (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	e	n (%)	Sr (%)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	Ghiaia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	IL	c (kN/m^2)	ϕ_p °	ϕ_r °	TG CD	P (Kpa)	Edometrica Me (MN/m^2)	Cv (mm^2/s)	σ (kN/m^2)	Cu (kN/m^2)	Classif. USCS	Classif. UNI 11531-1
0	10	1-1.5	6.6	18.34	17.20	26.24	20.58	0.53	34.45	33.78	9.25	12.63	75.55	2.57	16.0	10.5	5.4	1.723	-0.723	6.3	31.8	n.r.	n.r.	200	18.34	2.48E-01	n.r.	n.r.	CL	A2-4
0	11	1-1.5	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
0	12	1-1.5	4.2	17.54	16.83	26.22	20.34	0.56	35.82	20.30	4.89	11.86	74.90	8.35	0.0	0.0	0.0			5.0	27.6	n.r.	200	12.42	2.54E-01	n.r.	n.r.	CL	A2-4	
0	13	1-1.5	9.8	18.68	17.02	26.25	20.47	0.54	35.15	48.38	10.81	15.60	71.25	2.34	19.9	12.4	7.5	1.349	-0.349	9.7	25.4	n.r.	200	16.08	8.51E-02	n.r.	n.r.	CL	A2-4	
0	15	1-1.5	3.1	15.19	14.74	26.19	19.03	0.78	43.72	10.61	2.68	9.62	87.44	0.26	0.0	0.0	0.0			4.4	31.5	n.r.	200	17.84	8.65E-02	n.r.	n.r.	CL	A2-4	

Legenda:

W=Umidità naturale - γ_n = Peso di volume naturale - γ_d =Peso di volume secco - γ_s =Peso specifico - γ_{sat} =Peso di volume saturo - e=indice dei vuoti - n=Porosità - Sr=Grado di saturazione - LL=Limite liquido - LP=Limite plastico - IP=Indice plastico - IC=Indice di consistenza - IL=Indice di liquidità - LR= Limite di ritiro - IR= indice di ritiro c=Coesione - ϕ_p =Angolo di attrito piccolo - ϕ_r =Angolo di attrito residuo P=Pressione sul provino - Me= Modulo edometrico - Cv=Coefficiente di consolidazione - σ_r = resistenza a rottura - Cu= coesione non drenata - ϕ_{peff} =Angolo di attrito p. totale - ϕ_{rot} =Angolo di attrito p. totale - n.d. non determinabili - n.r. non richiesti - i valori di e e Cu in grassetto sono stati ricavati da prove triassiali tipo UU valore medio

Sond	Campione	Profondità (m)	W (%)	γ_n (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_s (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	e	n (%)	Sr (%)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	Ghiaia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	IL	c (kN/m^2)	ϕ_p °	ϕ_r °	TG CD	P (Kpa)	Edometrica Me (MN/m^2)	Cv (mm^2/s)	σ (kN/m^2)	Cu (kN/m^2)	Classif. USCS	Classif. UNI 11531-1
0	11b	1-1.5	4.8	15.61	14.89	26.20	19.13	0.76	43.16	17.04	0.32	2.29	79.88	17.51	0.0	0.0	0.0			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	CL	A3

Legenda:

W=Umidità naturale - γ_n = Peso di volume naturale - γ_d =Peso di volume secco - γ_s =Peso specifico - γ_{sat} =Peso di volume saturo - e=indice dei vuoti - n=Porosità - Sr=Grado di saturazione - LL=Limite liquido - LP=Limite plastico - IP=Indice plastico - IC=Indice di consistenza - IL=Indice di liquidità - LR= Limite di ritiro - IR= indice di ritiro c=Coesione - ϕ_p =Angolo di attrito piccolo - ϕ_r =Angolo di attrito residuo P=Pressione sul provino - Me= Modulo edometrico - Cv=Coefficiente di consolidazione - σ_r = resistenza a rottura - Cu= coesione non drenata - ϕ_{peff} =Angolo di attrito p. efficace - ϕ_{rot} =Angolo di attrito p. totale - n.d. non determinabili - n.r. non richiesti - i valori di σ e Cu in grassetto sono stati ricavati da prove triassiali tipo UU valore medio

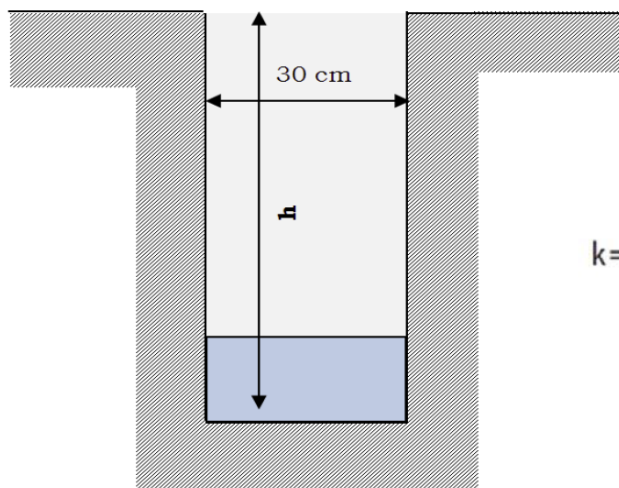
X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

PROVA DI PERMEABILITÀ IN SITO

Per misurare il coefficiente di permeabilità K del suolo sono state eseguite n° 3 prove a carico variabile in pozzetto utilizzando la formula proposta dall'A.G.I. (77), secondo le modalità previste dalle norme U.S. Public Health-Reprint n. 246:

- 1) pozzetto quadrato di 30 cm di lato e profondità pari a quella di posa del tubo (h)
- 2) si riempie completamente il cavo con acqua fino alla saturazione delle pareti facendo percolare completamente l'acqua
- 3) si riempie di nuovo il cavo con 15 cm di acqua
- 4) si determina il tempo di abbassamento del livello dell'acqua di 2,50 cm (T)



$$k = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1 + \left(\frac{2 \cdot h_m}{b}\right)}{\left(\frac{27 \cdot h_m}{b}\right) + 3}$$

	prove di percolazione			
	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Media
h₁ (altezza iniziale livello acqua: cm)	15	15	15	
h₂ (altezza finale livello acqua: cm)	12.5	12.5	12.5	
h₁ - h₂ (abbassamento livello acqua: cm)	2.5	2.5	2.5	
t₂ - t₁ (tempo di percolazione (T): min)	6.800	6.700	6.700	6.733
h_m (altezza media tra h ₁ e h ₂ : cm)	13.75	13.75	13.75	
b (lato della base del pozzetto: cm)	30	30	30	
K (coefficiente di permeabilità: m/sec)	7.64E-06	7.75E-06	7.75E-06	7.71E-06



Prova di permeabilità a carico variabile

Coefficiente di permeabilità medio = $1,51 \cdot 10^{-6}$ m/s

Valori tipici del coefficiente di permeabilità dei terreni

TIPO DI TERRENO	k (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} - 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} - 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} - 10^{-4}$
Limo e sabbia argillosa	$10^{-9} - 10^{-5}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-6}$
Argilla omogenea sotto falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} - 10^{-4}$
Roccia non fessurata	$10^{-12} - 10^{-10}$

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
 Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
 Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
GRADO DI PERMEABILITÀ	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile		
DRENAGGIO	buono				povero				praticamente impermeabile			
TIPO DI TERRENO	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati				terreni impermeabili argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici		
						terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo						

INDAGINE SISMICA

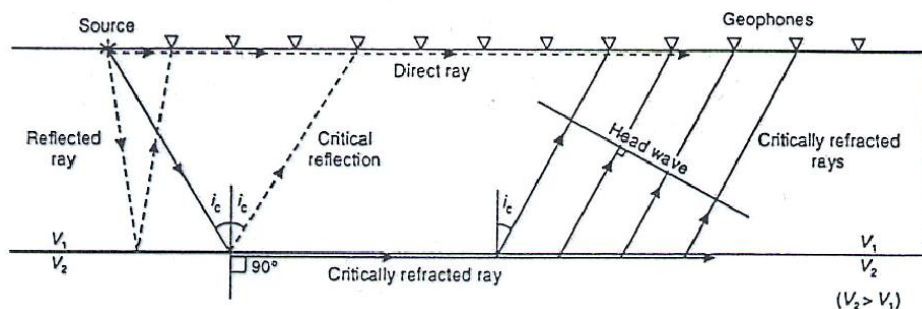
Sismica a rifrazione

Cenni metodologici

La tecnica della sismica a rifrazione permette di determinare le velocità di propagazione delle onde longitudinale o primarie P. È basata sulla bifrazione delle onde elastiche a seguito del formarsi di un fronte d'onda conico, che consente, attraverso l'acquisizione e l'elaborazione di dati, la costruzione d'immagini bidimensionali (o tridimensionali) della variazione della velocità sismica.

Dati ad esempio 2 terreni, a velocità v_1 e v_2 , con la sorgente posta nel mezzo 1 (solitamente sulle superficie del suolo) ed uno stendimento di geofoni disposti lungo il profilo, condizione necessaria è quindi che la velocità delle onde nel mezzo 2 sia maggiore rispetto al mezzo

1.



Ad ogni geofono arriveranno le onde generate dalla sorgente: onde dirette, onde riflesse e onde coniche o bifratte (head wave). Quelle analizzate sono quest'ultime, ovvero quelle che giungono sulla superficie di separazione (p.c.) con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° , propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo d'incidenza.

Con questa tecnica si riesce ad avere, pertanto, una visione seppur qualitativa della stratigrafia del terreno investigato, in termini di variazioni di "densità" dello stesso, essendo questo parametro direttamente legato alla velocità sismica. Il confronto matematico tra i vari tempi permette di suddividere lo spazio compreso tra le due serie di punti in porzioni, o "celle elementari" (quadrate per le sezioni bidimensionali come quelle in esame, o cubiche per sezioni tridimensionali) caratterizzate ognuna da un proprio valore di velocità sismica.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P e S è articolata nelle seguenti fasi:

- individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazione di filtraggio anche consecutivo con diverse tipologie di filtro digitale;
- ricostruzione delle dromocrone (grafico distanza-tempo) e scelta del modello di sottosuolo da utilizzare nell'interpretazione;
- elaborazione dei dati.

Modalità esecutive

Nel caso in oggetto, l'indagine è stata realizzata con uno stendimento singolo da 46 metri, lungo il quale sono stati disposti e collegati in serie 24 geofoni con frequenza di 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 2 m. Sono

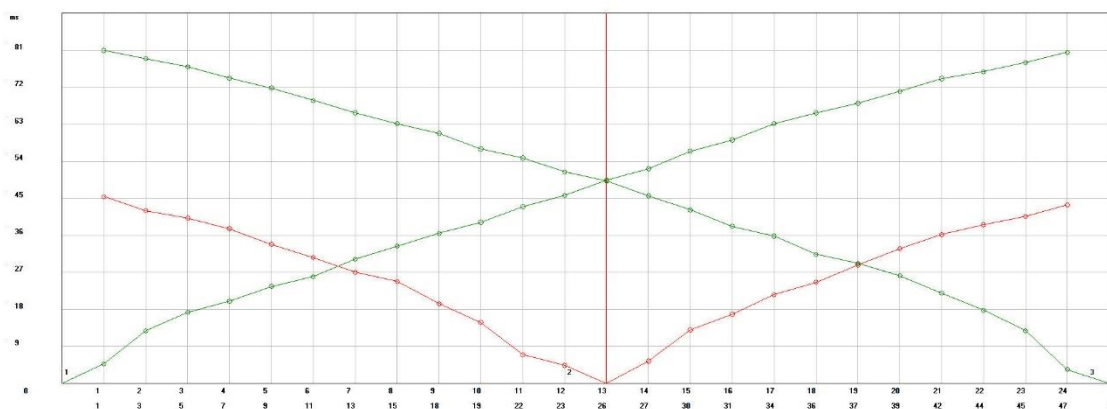
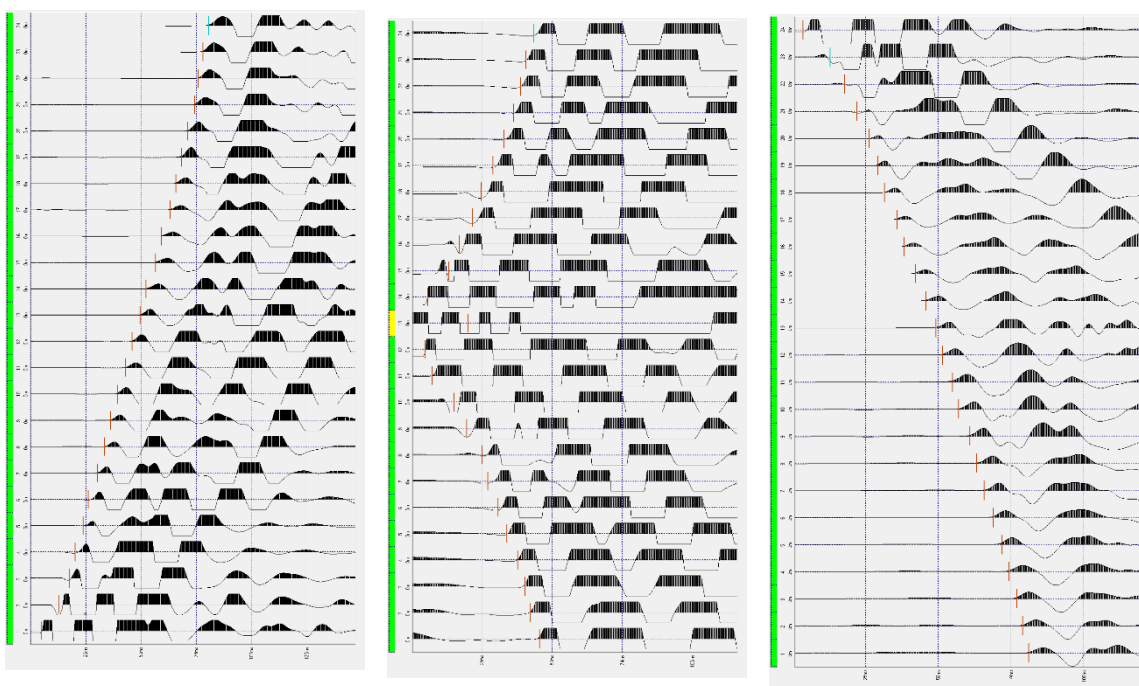
X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

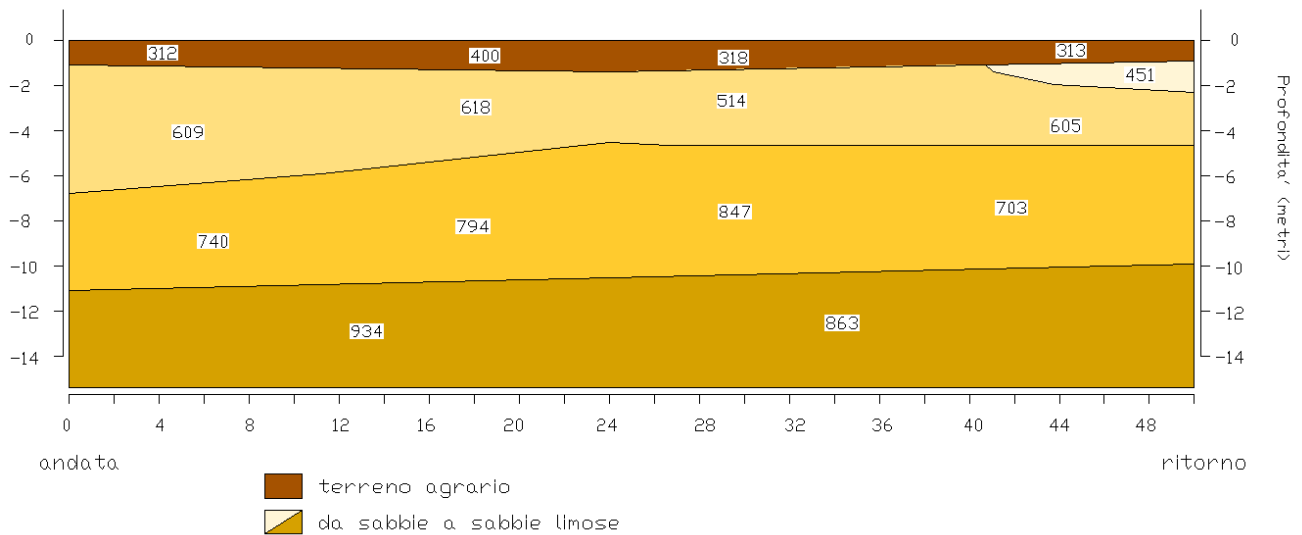
stati realizzati n° 3 shots, mediante l' utilizzo di una massa battente del peso di 8 kg circa e l' energizzazione è avvenuta secondo il seguente modo:

- 2 shots esterni allo stendimento (0 m e 50 m);
- 1 shot centrale, in corrispondenza del 12° geofono (26 m);

La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante un sismografo DoReMi della "SARA e.i." a 16 bit; il processing dei dati è stato eseguito con il programma Winsism.



Sismogrammi e dromocrona



Interpretazione sismo-stratigrafica (Vp)

Risultati dell'indagine sismica

- Copertura - presenta uno spessore compreso di circa 1 m ed una velocità media delle onde P pari a 300 m/s ed è correlabile col terreno vegetale;
- I-II-III-IV orizzonte – caratterizzato da una velocità delle onde P in aumento con la profondità; passa da 500-600 m/s sino a 5-6 m di profondità a 700-800 m/s, sino a 10-11 m, a 900 m/s nell'orizzonte ultimo; è correlabile con sabbie e sabbie limose con grado di compattezza da medio a buono.

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726

Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250

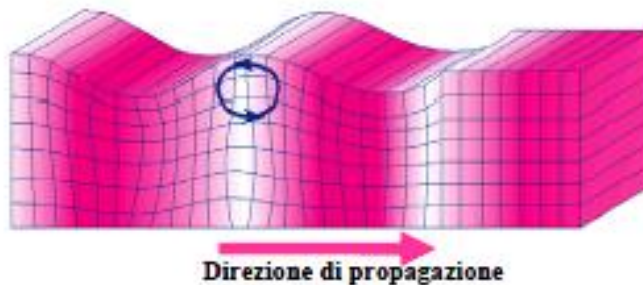
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

PROVA "MASW"

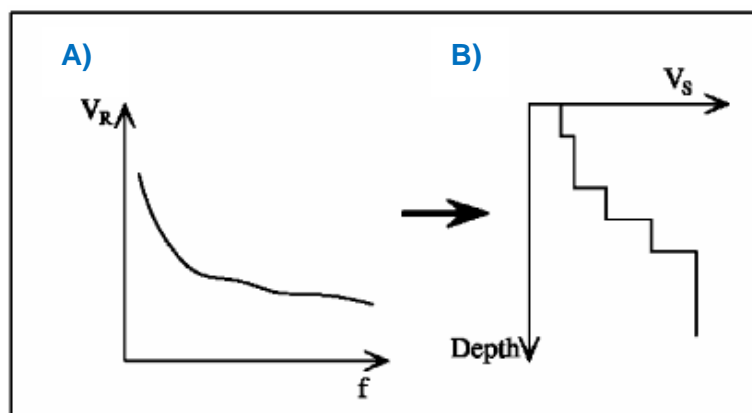
Cenni metodologici

Il metodo "MASW" è una tecnica d'indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.



La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



A) Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza; B) profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726

Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250

Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 passi fondamentali:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica, invece, la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Modalità esecutive

La modalità d'esecuzione è la stessa utilizzata per la sismica a rifrazione: uno stendimento singolo di lunghezza di 46 metri, lungo il quale sono stati disposti alternativamente e collegati in serie 24 geofoni con frequenza di 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 2 m. Gli shots realizzati, mediante l'utilizzo di una massa battente del peso di 8 kg circa sono stati disposti nel secondo seguente modo:

- 2 shot esterni allo stendimento (-15 m e 65 m);

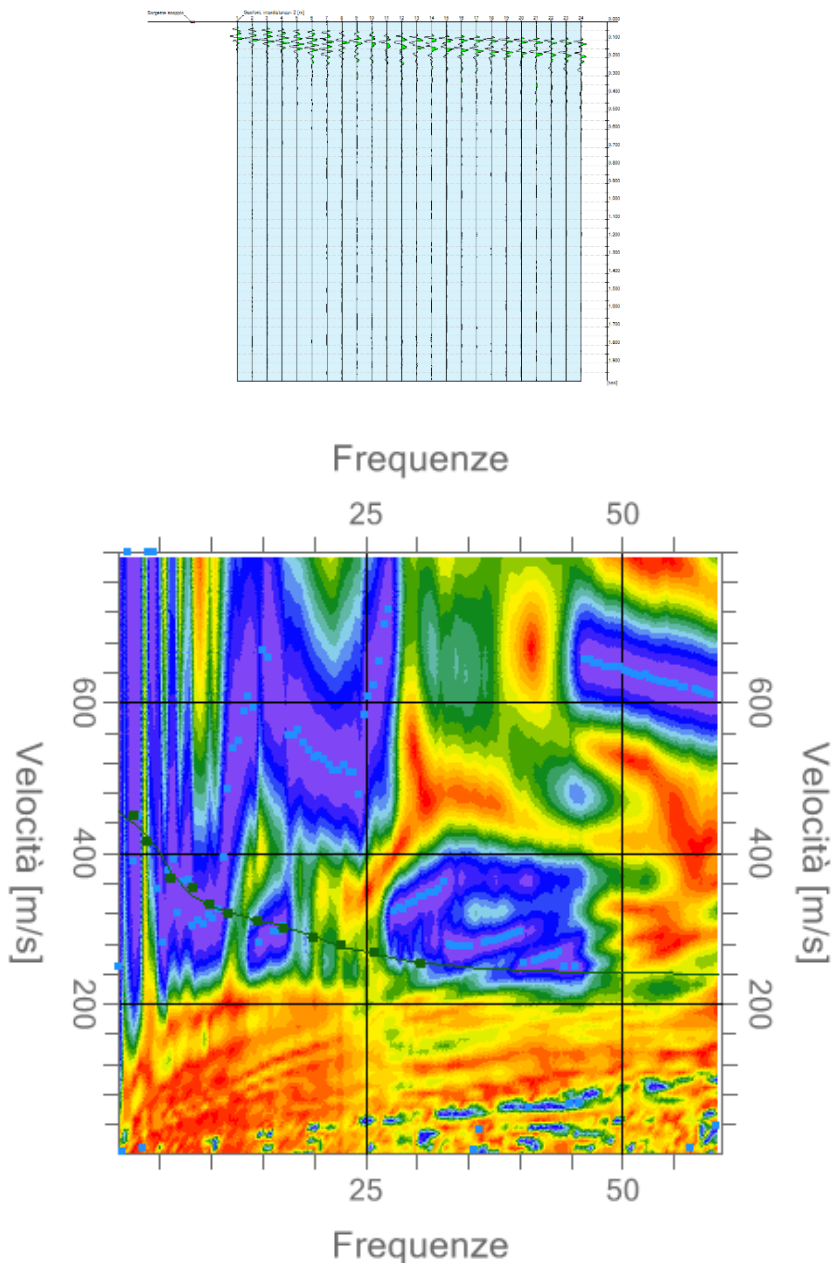
La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante un sismografo DoReMi della "SARA e.i." a 16 bit.

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

Elaborazione e analisi dei risultati

L'elaborazione, eseguita con il software della GeoStru "Easy Masw", ha consentito di determinare un profilo di velocità delle onde "S" fino ad oltre 30 m dal p.c.. La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali. Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con



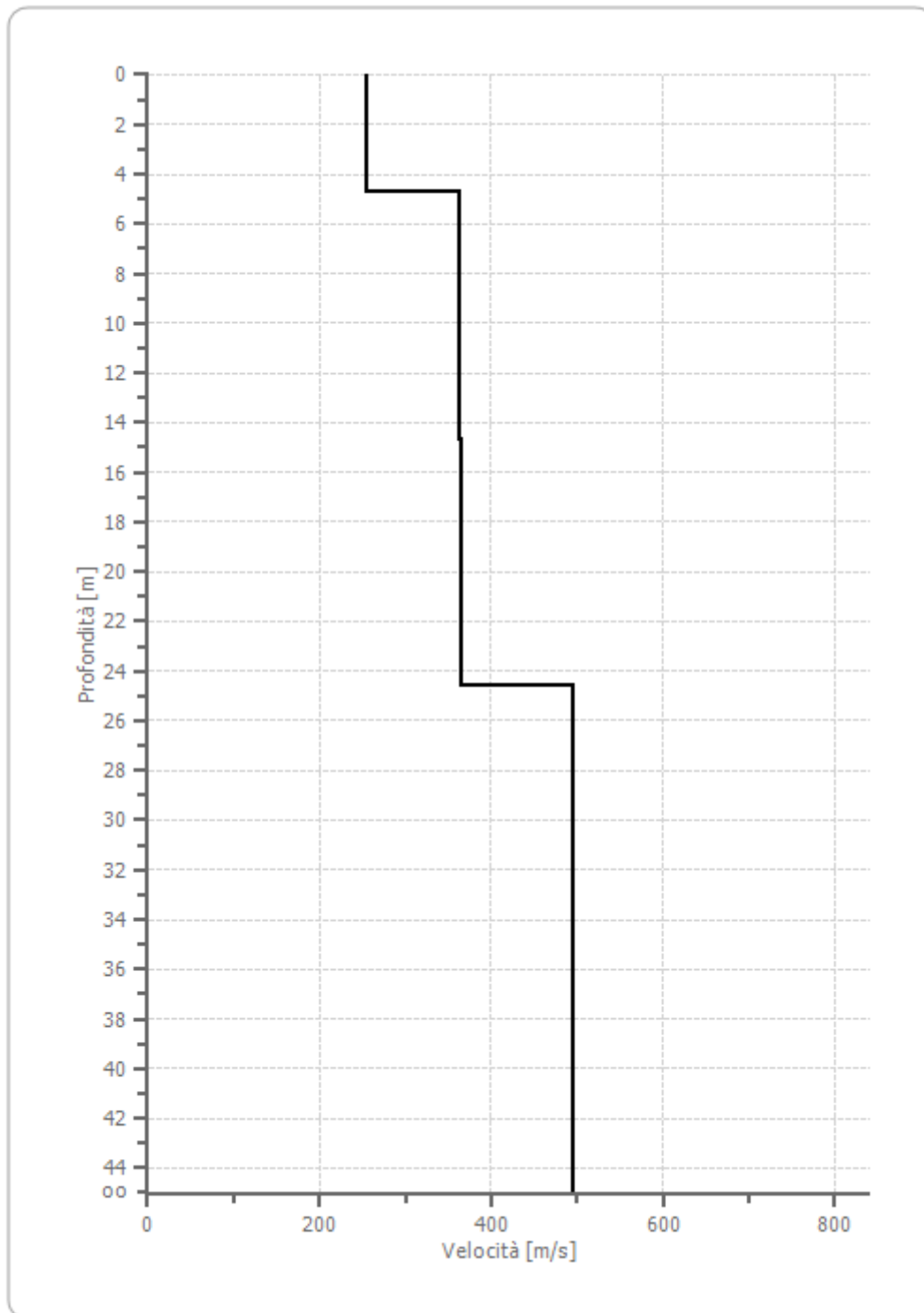
MASW – sismogramma e spettro

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726

Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250

Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.



MASW – profilo di velocità (Vs)

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

Parametri geofisici

- **Ed** (modulo di Young dinamico) - Brown e Robertshaw

$$E_{din} = 0,0102 \cdot \gamma \cdot V_p^2 \cdot \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

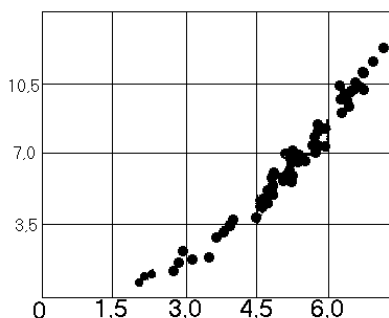
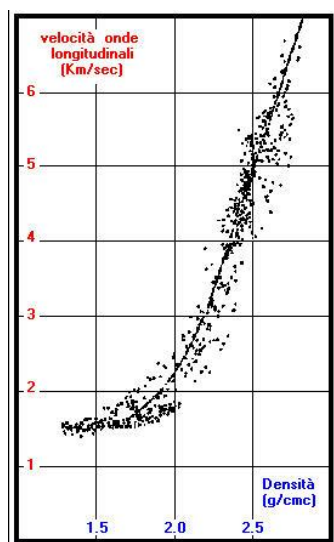
- **G** (modulo di taglio) - Ohta & Goto $G = Ed / 2 \cdot (1 + \mu)$

- **γ** (densità geofisica del terreno) $\gamma_{din} = 0,51 \cdot V_p^{0.19}$

- **R** (rigidità sismica) $R = V_s \cdot \gamma$

- **μ** (densità geofisica del terreno)

$$\mu = \frac{0,5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2}$$



Correlazione tra V_p/γ (Nate- Drake) e V_p/Ed (Brown e Robertshaw)

Valori caratteristici dei parametri sismici				
Parametri sismici		I orizzonte	II orizzonte	III orizzonte
spessore	m	0.85	5.00	>20
velocità onde P	m/s	308	555	731
velocità onde S	m/s	93	260	351
modulo di Poisson μ	-	0.45	0.36	0.35
densità geofisica γ	g/cm ³	1.52	1.69	1.79
modulo di taglio G	MPa	13	114	220
mod. dinamico Young Ed	MPa	38	311	594
rigidità sismica R	t/cm ² s	141	440	626

Categoria di sottosuolo

In assenza di un'analisi specifica sulla valutazione della risposta sismica locale, per definire l'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II).

La classificazione della categoria di sottosuolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{S,eq}$ di propagazione delle onde di taglio.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per il calcolo del V_{seq} , è stata eseguita una indagine MASW lungo la base sismica S1. Tramite questa prova si misurano le velocità sismiche delle onde superficiali a diverse frequenze. La variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) è imputabile prevalentemente alla stratificazione delle velocità delle onde S i cui valori sono ricavabili da una procedura di inversione numerica.

L'indagine ha fornito un valore medio del V_{seq} , a partire dal p.c., pari a 356 m/sec per cui il terreno di fondazione rientra nella categoria di suolo di fondazione "C", trattandosi terreni a grana media mediamente addensati, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} = 356 \text{ m/s}$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

INDAGINE ELETTRICA

Sondaggio Elettrico Verticale

Il metodo di prospezione geoelettrico S.E.V. (Sondaggio Elettrico Verticale) consiste nell'indagare in un determinato territorio la variazione della resistività con la profondità.

La tecnica del S.E.V. comprende una serie di determinazioni di resistività effettuate con distanza progressiva crescente tra gli elettrodi di corrente (A-B) e di potenziale (M-N), secondo il dispositivo a quattro elettrodi di seguito schematizzato.

Attraverso i due elettrodi esterni A e B viene immessa nel terreno una corrente continua; tramite i due elettrodi centrali M ed N viene misurata la differenza di potenziale generata nel sottosuolo al passaggio di corrente tra A e B. Le misure di differenza di potenziale (ddp) e di intensità di corrente (I) vengono effettuate con strumenti di precisione, dotati di azzeratore dei potenziali spontanei esistenti nel terreno. Da queste misure si ricava la resistività apparente (R) del terreno secondo la formula:

$$R = K \text{ ddp}/I$$

dove K indica la costante geometrica dello stendimento.

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

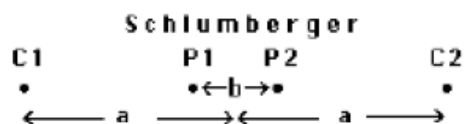
Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726

Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250

Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

Si parla di resistività apparente poiché è un intero volume di roccia ad essere investigato.

La disposizione elettrodica utilizzata nell'indagine in oggetto è denominata "Quadripolo Schlumberger".



Per estendere le misure di resistività a strati via via più profondi, si aumenta la distanza fra gli elettrodi A-B ed M-N; in tal modo le linee di corrente attraversano porzioni di sottosuolo sempre più profonde. Riportando i valori di resistività apparente su un diagramma bilogarithmico si costruiscono le curve di resistività apparente in cui i valori di $AB/2$ sulle ascisse sono espressi in metri, mentre quelli di resistività, sulle ordinate, in $\text{ohm}\cdot\text{metro}$. Riportando i valori di resistività apparente su un diagramma bilogarithmico si costruiscono le curve di resistività apparente in cui i valori di $AB/2$ sulle ascisse sono espressi in metri, mentre quelli di resistività, sulle ordinate, in $\text{ohm}\cdot\text{metro}$. I diagrammi di resistività rappresentano la funzione resistività-profondità sulla base della situazione litologica del sottosuolo.

ORDINE DI GRANDEZZA DELLE RESISTIVITA' DELLE ACQUE E DELLE ROCCE (da Astier, 1971 mod).

1. Buoni conduttori ($\rho < 10^7 \Omega\text{m}$);
2. Conduttori intermedi ($1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$);
3. Cattivi conduttori o isolanti ($\rho > 10^7 \Omega\text{m}$);

- Acqua di mare $< 0,2$
- Acqua con il 20% di sale $3 \cdot 10^{-2}$
- Acqua pura $10^2 - 3 \cdot 10^3$
- Calcari e dolomie $100 - 5000$
- Arenarie $60 - 104$
- Argille (acqua dolce) $10 - 120$
- Argille (acqua salata) $1 - 10$
- Marne $2 - 50$
- Sabbia (da bagnata ad asciutta) $100 - 1000$
- Graniti $300 - 104$ ed oltre
- Basalti $10 - 105$
- Quarziti $2 \cdot 10^4$ ed oltre
- Pirite $10^{-4} - 10$
- Galena $10^{-2} - 300$
- Grafite $10^{-3} - 1$
- Bauxite $200 - 6000$

Nell'interpretazione quantitativa si deve operare il processo inverso, ossia si deve ricavare il modello del terreno, in termini di spessore e resistività degli strati, sulla base dell'andamento della resistività con la profondità. Tale procedimento si realizza con l'ausilio di un programma di calcolo che applica un opportuno modello matematico.

X-ELIO ITALIA 5 S.R.L

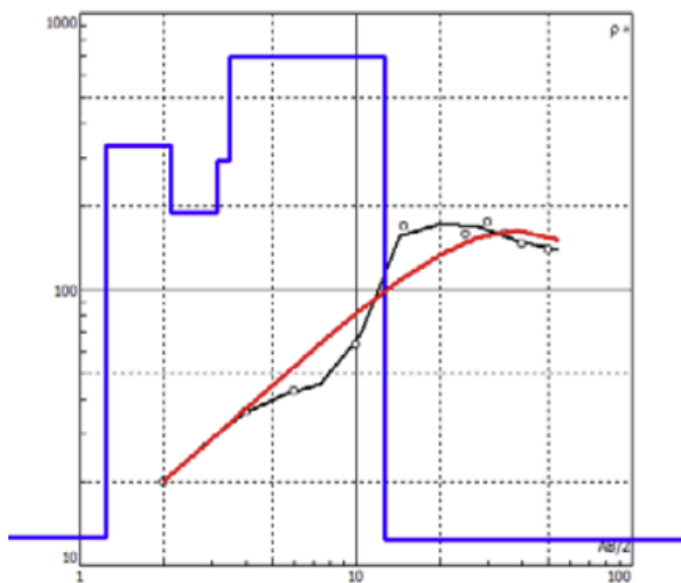
Corso Vittorio Emanuele II n. 349 - 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06. 8551726
Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 15361461005 REA RM- 1585250
Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

I software di elaborazione, forniscono immediatamente la curva di resistività calcolata (sulla base di un modello che è stato inserito) in sovrapposizione a quella misurata sul terreno, consentendo di valutare la corrispondenza tra le due curve.

L'interpretazione dei singoli S.E.V. viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo, al di sotto del punto di stazione, siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano-parallele. Insa nel metodo di prospezione elettrica, si ha una possibilità d'errore nella determinazione dei valori di resistività e di spessore dei singoli strati non inferiore a +/- 20-30%, legata soprattutto ai limiti imposti dai principi di equivalenza sopra accennato.

La registrazione dei dati è stata effettuata mediante un multielettrodo A3000E della "MAE"; il processing dei dati è stato eseguito con il programma RES1D.

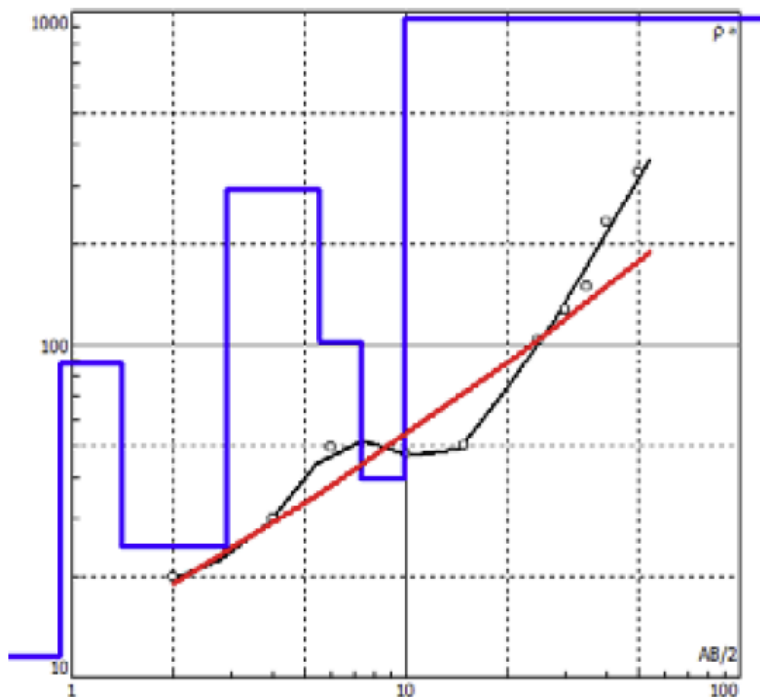
Curva sperimentale – E1		
N.	AB/2	Resistività (ohm-m)
1	2	20
2	4	36
3	6	43
4	10	63
5	15	169
6	25	159
7	30	176
8	35	160
9	40	146
10	50	140



Base E1 - Curva di resistività sperimentale ed interpretazione stratigrafica

strato	Spessore (m)	Profondità (m)	Resistività (ohm-m)	litologia
1	1.24	1.24	12.8	Terreno vegetale
2	0.89	2.13	333	Sabbie
3	1.01	3.14	190	Sabbie limose
4	0.34	3.48	294	Sabbie
5	9.23	12.70	693	Sabbie con ghiaia
6	>5	>18	12.4	Sabbie con falda idrica

N.	AB/2	Resistività (ohm·m)
1	2	20
2	4	30
3	6	49
4	10	47
5	15	50
6	25	104
7	30	127
8	35	150
9	40	234
10	50	320



Base E2 - Curva di resistività sperimentale ed interpretazione stratigrafica

strato	Spessore (m)	Profondità (m)	Resistività (ohm·m)	litologia
1	0.92	0.92	11.60	Terreno vegetale umido
2	0.49	1.41	88.20	Sabbie poco compatte
3	1.49	2.90	24.60	Sabbie limose
4	2.61	5.51	294	Sabbie
5	1.83	7.34	102	Sabbie debolmente limose
6	2.55	9.89	39.5	Sabbie limose
7	>5	>15	955	Ghiaie sabbiose

CONCLUSIONI

A conclusione dell'indagine geognostica eseguito nell'area in località "Campo Sud", è possibile esprimere le seguenti considerazioni:

- Il sottosuolo è caratterizzato da terreno sabbioso con intercalazioni limose e ghiaiose;
- gli scavi, profondi 3,50 m, non hanno intercettato falde idriche sospese;
- l'indagine geoelettrica ha identificato uno strato a bassa resistività, correlabile con la falda idrica, solo nel sondaggio "E1", ad una profondità di 12,70 m dal p.c;
- Alla profondità di circa 23 m di profondità è presente uno strato argilloso ed è possibile la formazione di falde idriche sospese con un'altezza piezometrica che può raggiungere i 10-15 m di profondità dal p.c.;
- Il coefficiente di permeabilità ottenuto dalla prova in pozzetto a carico variabile è compatibile con la litologia "sabbie fini con limi organici ed inorganici".
- L'indagine sismica MASW ha classificato il sottosuolo in categoria "C";