



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA



COMUNE di
APRICENA



COMUNE di
SAN SEVERO



Società Proponente	 AM ENERGY 2 S.R.L. * Sede: via Tiberio Solis, n. 128 - 71016 San Severo (FG) Pec: amenergy2@pec.it P.iva: 04351510716 <small>*Società con socio unico, soggetta a direzione e coordinamento di PLAN A HOLDING S.R.L. p.iva 03930741206</small>	Sviluppo e Coordinamento	 PLAN A ENERGY S.R.L. Sede: Via Cavour n.104 40026 Imola BO Pec: planaenergy@pec.it C.F e P.IVA : 03930841204
Progettazione generale e progettazione elettrica	 STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net Ordine degli ingegneri della Provincia di Foggia matr. n 1604	Supervisione scientifica piani culturali e montaggio	 Università di Foggia Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria (DAFNE) Sede: via Antonio Gramsci,89/91 Foggia 71122 P.iva: 03016180717
Studio e progetto ecologico vegetazionale	 Dott. Biol. Leonardo Beccarisi Via D'Enghien, 43 - 73013 Galatina (LE) cell. 3209709895 E-Mail: beccarisi@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi Albo-Sezione matr. n. AA_067313	Studio di impatto ambientale	 Dott.ssa Anastasia Agnoli Via Armando Diaz, 37 73100 Lecce (LE) cell. 3515100328 E-Mail: anastasia.agnoli989@gmail.com
Studio meteorologico	 Dott. Biol. Elisa Gatto Via S. Santo, 22 73044 Galatone (LE) cell. 3283433525 E-Mail: dottelisagatto@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi matr.n. AA_090001	Studio paesaggistico e di inserimento urbanistico	 Dott. Agr. Barnaba Marinosci via Pilella 19, 73040 Alliste (LE) Cell. 329 3620201 E-Mail: barnabamarinosci@gmail.com Ordine dei Dottori Agronomi e Forestali provincia di Lecce matr. n 674
Studio faunistico	 Dott. Antonio Feola Via Civitella n°25 84060 Moio della Civitella (SA) cell. 338 2593262 E-Mail: feolantx@gmail.com Ordine Nazionale dei Biologi matr. n . AA_047004	Rappresentazioni fotorealistiche	 Arch. Gaetano Fornarelli Via Fulcignano Casale 17 73100 Lecce (LE) cell. 3358758545 E-Mail: forgaet@gmail.com Ordine degli Architetti della provincia di Lecce matr. n 1739
Studio archeologico	 NOSTOI s.r.l. Dott.ssa Maria Grazia Liseno Tel. 0972.081259 Fax 0972.83694 E-Mail: mgliseno@nostoisrl.it Elenco Nazionale Archeologo Fascia I matr n. 1646	Consulenza strutturale	 Ing. Tommaso Monaco Tel. 0885.429850 Fax 0885.090485 E-Mail: ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it Ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia matr. n. 2906
Studio acustico	 Ing. Antonio Falcone Tel. 0884.534378 Fax. 0884.534378 E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu Ordine degli Ingegneri di Foggia matr. n.2100	Consulenza topografica	 Geom. Matteo Occhiochiuso Tel. 328 5615292 E-Mail: matteo.occhiochiuso@gmail.com Collegio dei Circondariale Geometri e Geometri Laureati di Lucera matr. n. 1101
Studio grafico geologico e geotecnico	 Dott. Nazario Di Lella Tel./Fax 0882.991704 cell. 328 3250902 E-Mail: geol.dilella@gmail.com Ordine regionale dei Geologi della Puglia matr. n. 345		
Opera	Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "Apricena Agricolo" da realizzarsi su aree agricole ricadenti nella "Solar Belt" delle aree a destinazione industriale, artigianale e commerciale e cave nelle località "Podere Camilli - San Giovanni - Corrado", nel territorio comunale di Apricena (FG) per una potenza complessiva di 88,529 MWp ed immissione di 70,4 MW, nonchè delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione ed all'esercizio dell'impianto nei comuni di Apricena (FG) e San Severo (FG).		
AUTORITA' PROCEDENTE V.I.A. :	 MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA	AUTORITA' PROCEDENTE A.U. :	 REGIONE PUGLIA
Oggetto	8526816_RelazioneGeotecnica.pdf Nome Elaborato:		
	Relazione Geotecnica del progetto definitivo Descrizione Elaborato:		
00	Gennaio 2023	Progetto definitivo	Geol. N. Di Lella Ing. A. Mezzina AM ENERGY 2 S.R.L.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione Verifica Approvazione
Scala:			
Formato:	Codice Pratica	8526816	

Sommario

1.	PREMESSA	2
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	3
3.	SISMICITÀ DELL'AREA	9
4.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI	16
5.	INDAGINI IN SITO	20
6.	RISULTATI INDAGINE GEOFISICA	25
6.1.	Elaborazione indagine sismica di tipo MASW.....	25
6.2.	Elaborazione indagine Sismica a Rifrazione.....	27
6.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO	38
6.4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – CALCOLO PORTANZA	41
7.	CONCLUSIONI	45
	ALLEGATO 1 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (SISMICA A RIFRAZIONE)	47
	ALLEGATO 2 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (MASW)	48
	ALLEGATO 3 – RELAZIONE DI CALCOLO PALI	49

1. PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geol. Nazario Di Lella iscritto all'Ordine dei Geologi della Puglia con il n. 345, su incarico della società AM ENERGY 2 S.r.l.* con sede in San Severo (FG), Piazza T. Solis n. 128 - PEC: amenergysrl2@pec.it - C.F. e P.IVA 04351510716, (*)Società con socio unico, soggetta a direzione e coordinamento di PLAN A HOLDING S.R.L. P.IVA 03930741206, ha eseguito il presente studio Geologico - Geotecnico a corredo del "Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "Apricena Agricolo" da realizzarsi su aree agricole ricadenti nella "Solar Belt" delle aree a destinazione industriale, artigianale e commerciale e cave nelle località "Podere Camilli - San Giovanni - Corrado", nel territorio comunale di Apricena (FG) per una potenza complessiva di 88,529 MWp ed immissione di 70,4 MW, nonché delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione ed all'esercizio dell'impianto nei comuni di Apricena (FG) e San Severo (FG)".

.Lo studio è stato finalizzato a perseguire i seguenti obiettivi:

- individuare i litotipi presenti e le loro caratteristiche giacaturali;
- individuare i fenomeni geomorfologici, con specifico riguardo alla stabilità dell'area;
- determinare la situazione idrogeologica locale, con particolare riguardo per l'infiltrazione e la circolazione delle acque nel sottosuolo;
- caratterizzazione geotecnica e sismica del sito in relazione alle opere previste di progetto.

La caratterizzazione del sito e le indagini espletate sono state eseguite in relazione a quanto previsto dalle normative vigenti (Legge 2/2/74 n° 64 - D.M. 21/1/81 - D.M. 11/3/88 - O.P.C.M. 3274 – NTC 2018 e s.m.i.) ed hanno avuto lo scopo principale di accertare in maniera più concreta e dettagliata (in fase di Progetto Definitivo) le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sito, soprattutto in funzione delle strutture che andranno a costituire le opere di progetto e della loro interazione con il terreno costituente il sito stesso.

Nei paragrafi successivi si riportano le risultanze dello studio eseguito su un'area più estesa di quella interessata dal progetto, ai fini della definizione del quadro geologico generale di riferimento in fase di progettazione esecutiva, con un rilevamento geologico di dettaglio ed acquisizione di informazioni di carattere bibliografico disponibile per la zona oggetto di studio.

In particolare, oltre alle calcolazioni geotecniche specifiche delle strutture di supporto, si è proceduto ad eseguire verifica di stabilità dei versanti per quei profili che presentano i maggiori dislivelli e pendenze.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'area d'interesse è ubicata tra circa 2,0 Km N-W dal centro abitato di Apricena (Campi "Tre fosse"), circa 3,0 km S-W dal centro abitato di Apricena (Campi "San Sabino - Galassi").

La quota dei siti è compresa tra i 132 e i 138 m s.l.m., campi "Tre Fosse", tra i 41 e i 45 m s.l.m., campi "San Sabino - Galassi".

Le superfici occupate dai singoli campi risultano essere rispettivamente:

- S. Giovanni (Zona Cave) → ha 43,77
- Podere Camilli - Corrado (Zona Industriale) → ha 60,97

Cartograficamente le aree sono ubicate nelle Tavole IGM 1:25.000 – Tav. 155 II NE "Apricena" e 155 II SE "San Severo" (Podere Camilli - San Giovanni - Corrado), Tav. 163 I NE "Masseria Faralla" (Sottostazione); su cartografia CTR 5.000 ricadono negli elementi nn. 383132-383143-396011-396024 (S. Giovanni), nn. 396021-396022-396024 (Podere Camilli - Corrado) e nn. 408011 (Sottostazione SSE).

Il territorio presenta una morfologia tipica dell'alta pianura foggiana, al margine con il rilievo garganico che, a partire da queste zone, si erge nella sua parte più occidentale.

In particolare ci troviamo alle pendici del rilievo garganico occidentale, dove il basamento carbonatico mesozoico comincia ad essere sottomesso ai depositi marini e poi alluvionali della parte alta del bacino del T. Candelaro che borda poi il rilievo lungo tutta la fascia occidentale e meridionale.

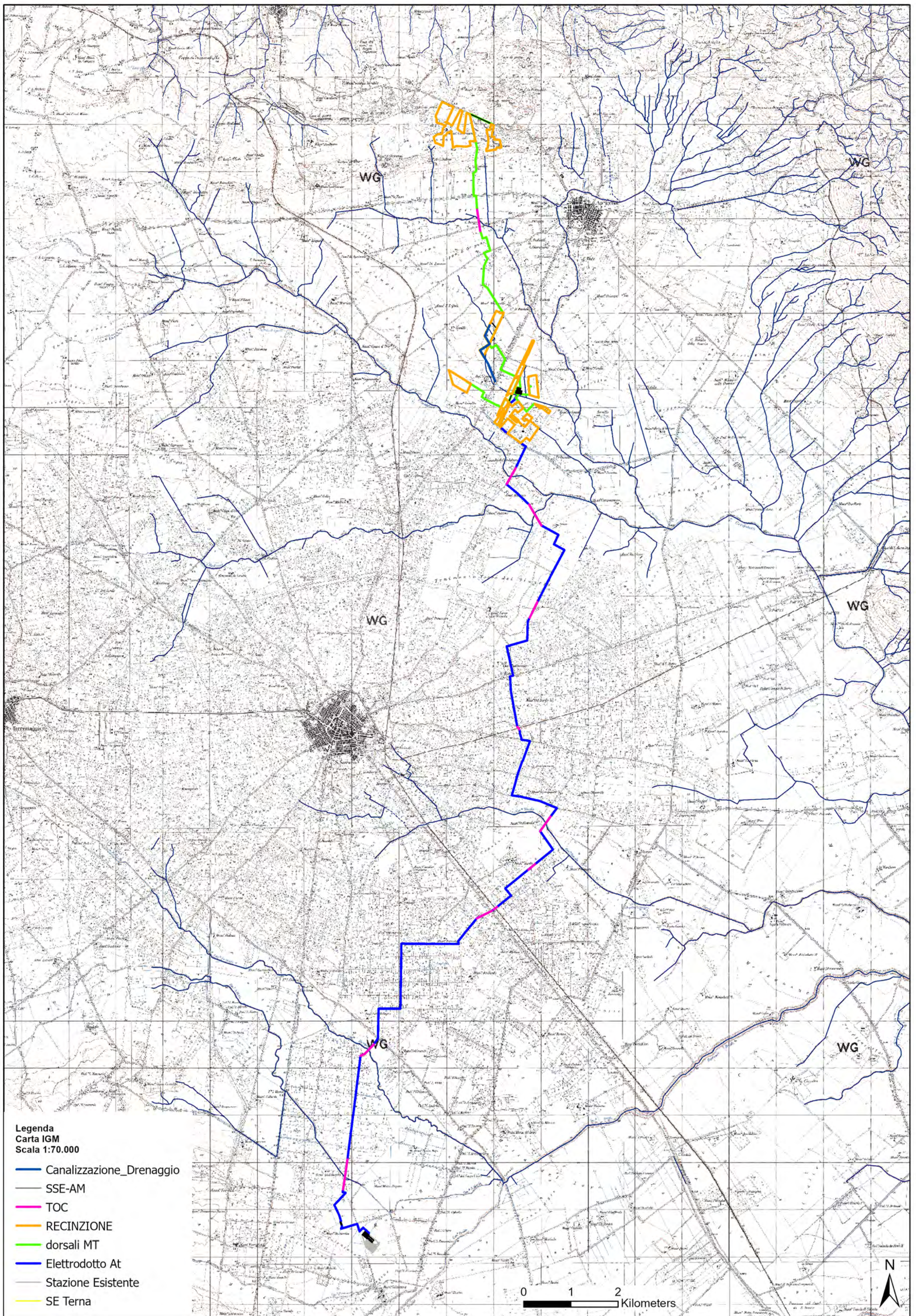
In questa zona infatti sono presenti basamenti carbonatici affioranti come estensione del rilievo garganico, in corrispondenza dell'Horst di Apricena (alto strutturale – Bacino Marmifero di Apricena), ribassato poi progressivamente verso sud e mascherato da formazioni sabbiose calcarenitiche ed alluvionali.

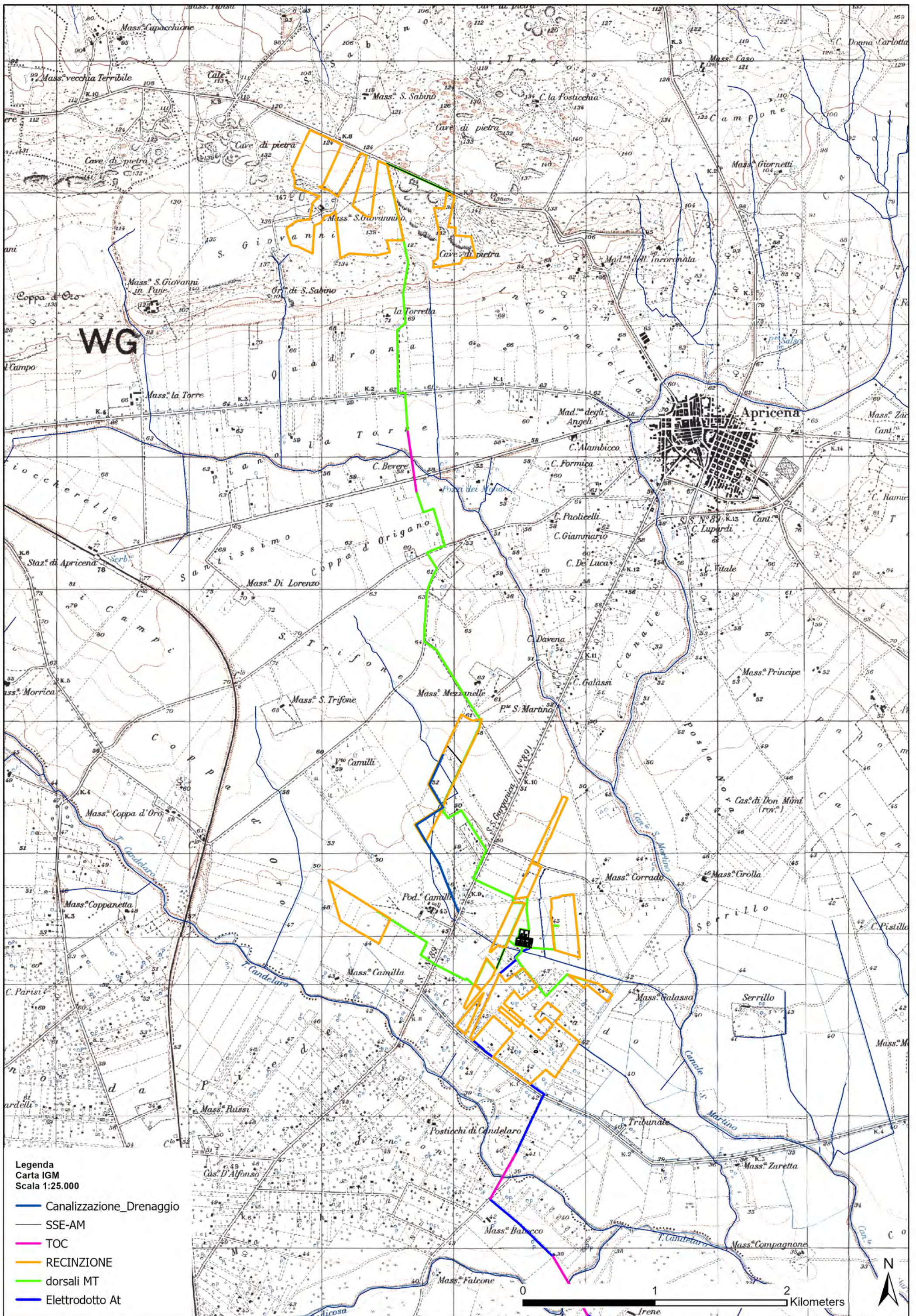
La principale linea d'impluvio della zona è rappresentata dal C.le S. Martino, che partendo dalle pendici del rilievo garganico borda il centro abitato di Apricena sul lato ovest e scorre poi in direzione sud, per confluire alcuni chilometri più a sud nel T. Candelaro.

Il progetto in essere prevede tre aree di insediamento dei campi produttivi, di cui uno posto in corrispondenza del dominio dei calcari mesozoici (basamento carbonatico) ed uno in corrispondenza del dominio deposizionale di depositi plio-pleistocenici marini e continentali (Sabbie di Serracapriola – Depositi alluvionali terrazzati).

Le aree (Tre Fosse) poste nel dominio del basamento carbonatico interessano sostanzialmente siti generalmente destinati ad attività estrattiva, cave di calcare / calcarenite, attive, in via di esaurimento e/o dismesse, mentre l'area S.Sabino-Galassi è sita in corrispondenza del dominio sedimentario continentale (Depositi alluvionali terrazzati) è impostata sostanzialmente in corrispondenza delle aree deposizionali marine della formazione delle Sabbie di Serracapriola, in corrispondenza , e/o nei dintorni dell'attuale zona Z.I. SS 89 del Comune di Apricena.

Nelle aree di insediamento dei campi non sono presenti forme di dissesto né attive né quiescenti o potenzialmente attivabili rilevate e/o segnalate, anche in virtù del fatto che, i campi posti in corrispondenza delle cave risultano impostate in corrispondenza di litotipi particolarmente tenaci (Calcari di Apricena), estratti in blocchi e lastre, con elevatissima capacità portante intrinseca, mentre per le aree poste a sud, in Zona Industriale SS89, i litotipi presenti, rappresentati da sabbie e calcareniti poste in aree praticamente tabulari.



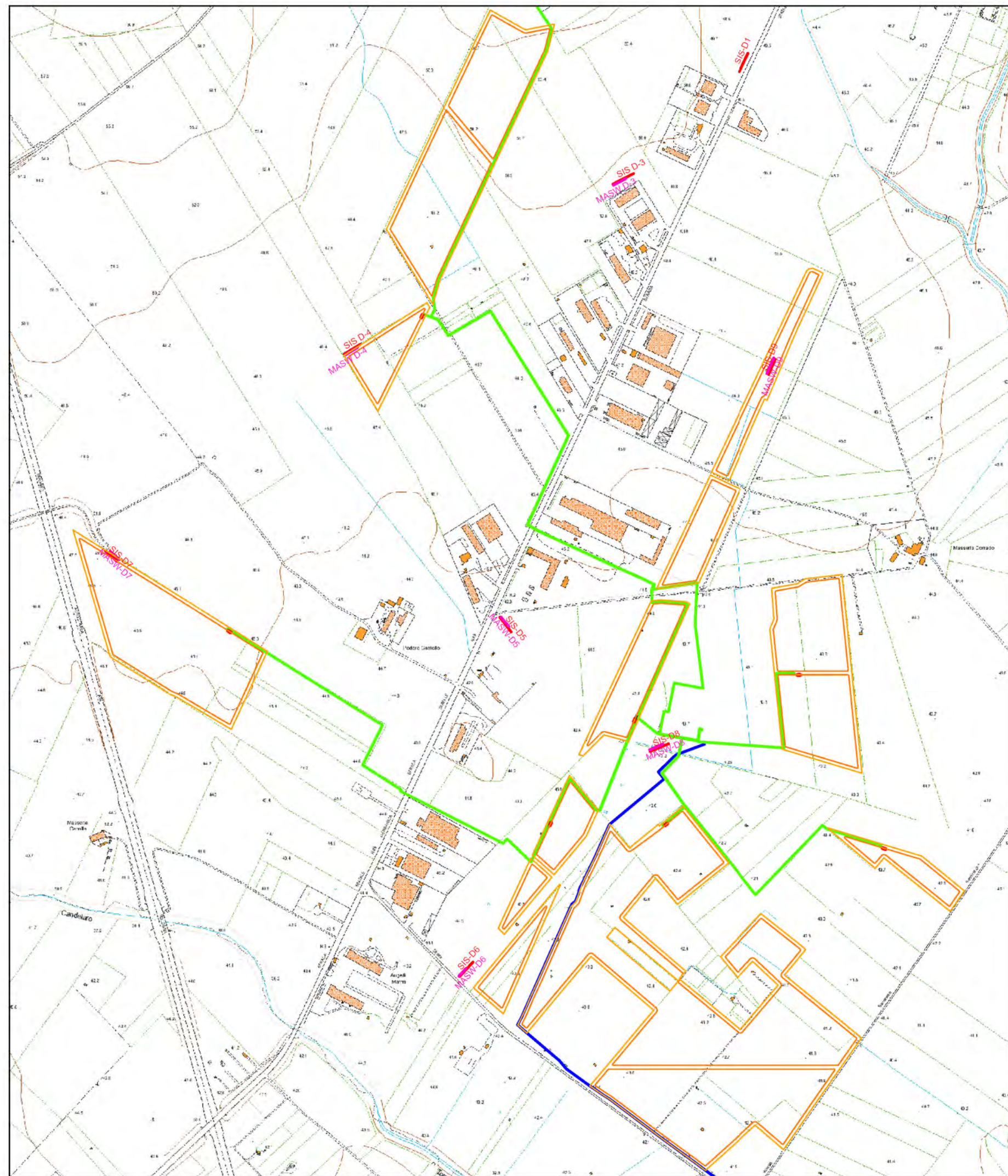
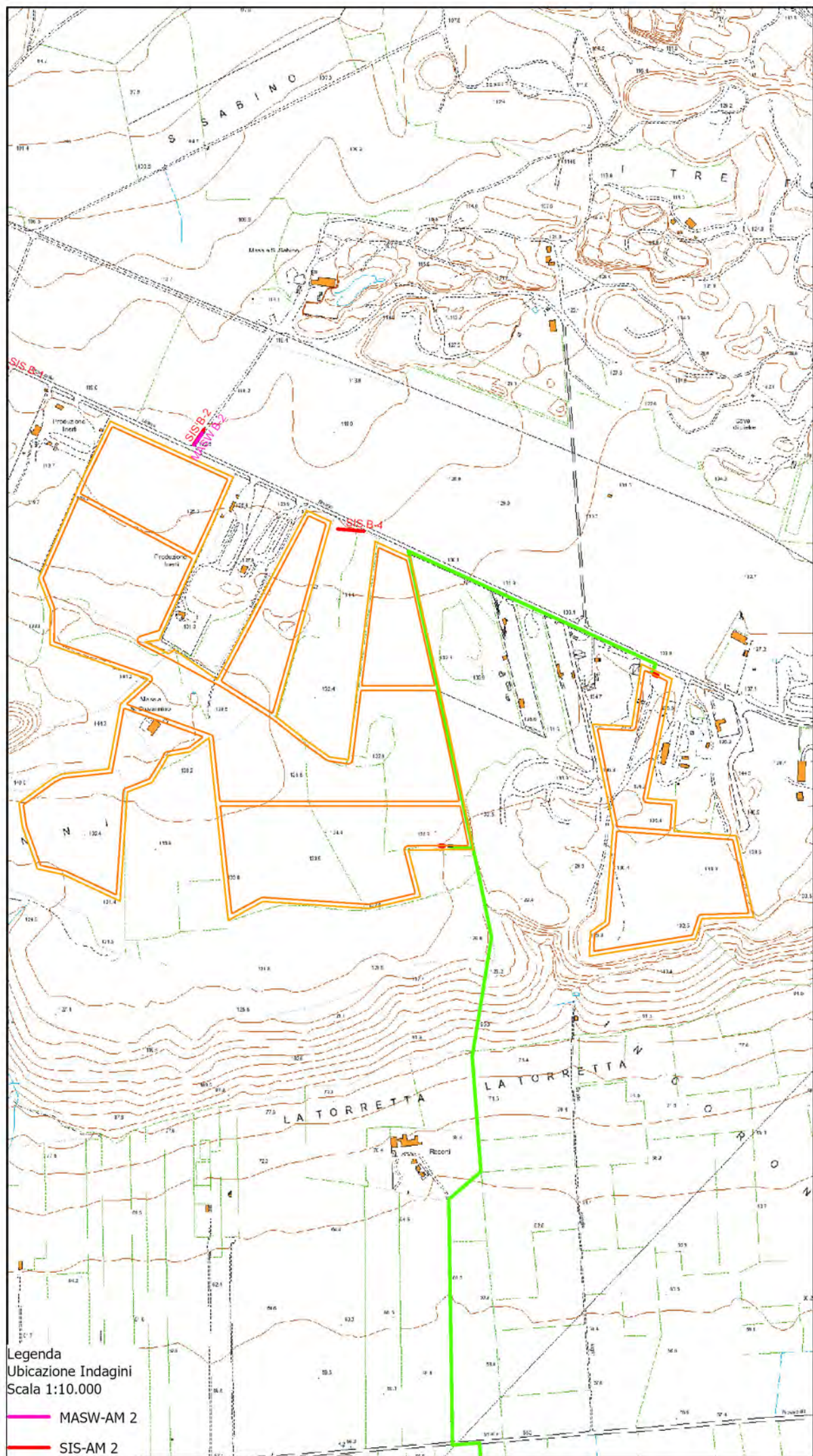


Legenda
 Carta IGM
 Scala 1:25.000

- Canalizzazione_Drenaggio
- SSE-AM
- TOC
- RECINZIONE
- dorsali MT
- Elettrodotto At

0 1 2 Kilometers

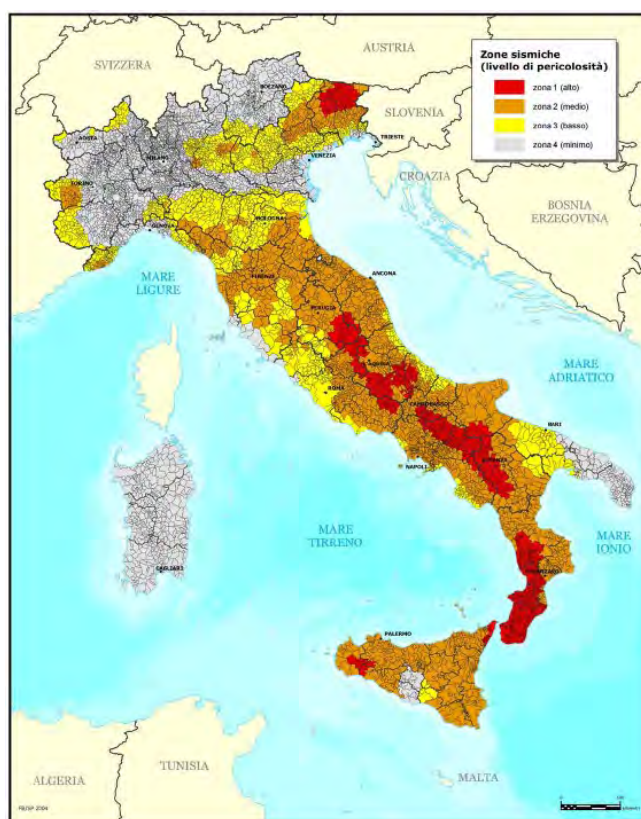




3. SISMICITÀ DELL'AREA

Il territorio del comune di Apricena così come altri comuni della quasi totalità dei comuni della parte centro orientale della provincia, è classificata come a rischio sismico medio Zona 2.

Ciò risulta dall'allegato (classificazione sismica dei comuni italiani) all'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" dal quale risulta che il territorio di Apricena è inserita in Zona Sismica 2 (medio Rischio) corrispondente ad un grado di sismicità pari a $S=9$. secondo quanto indicato dalla vecchia normativa sismica dal D.M. 07.03.1981, il coefficiente di intensità sismica è così valutabile: $C=S-2/100 = 0,07$.



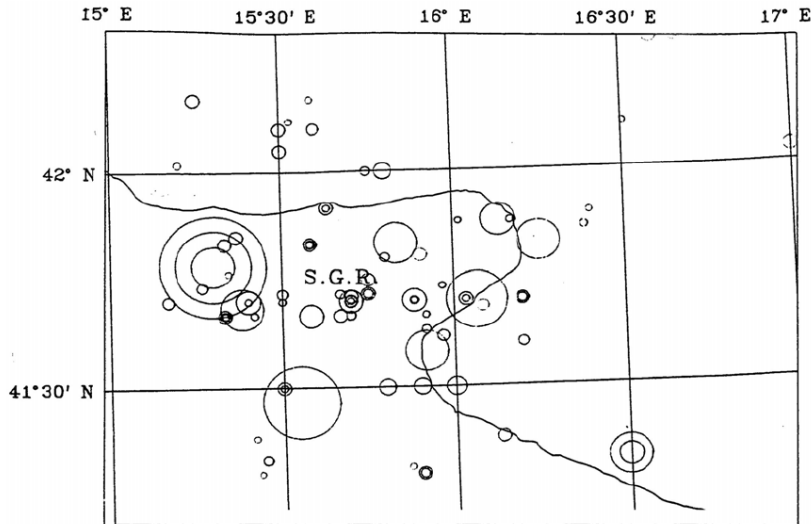
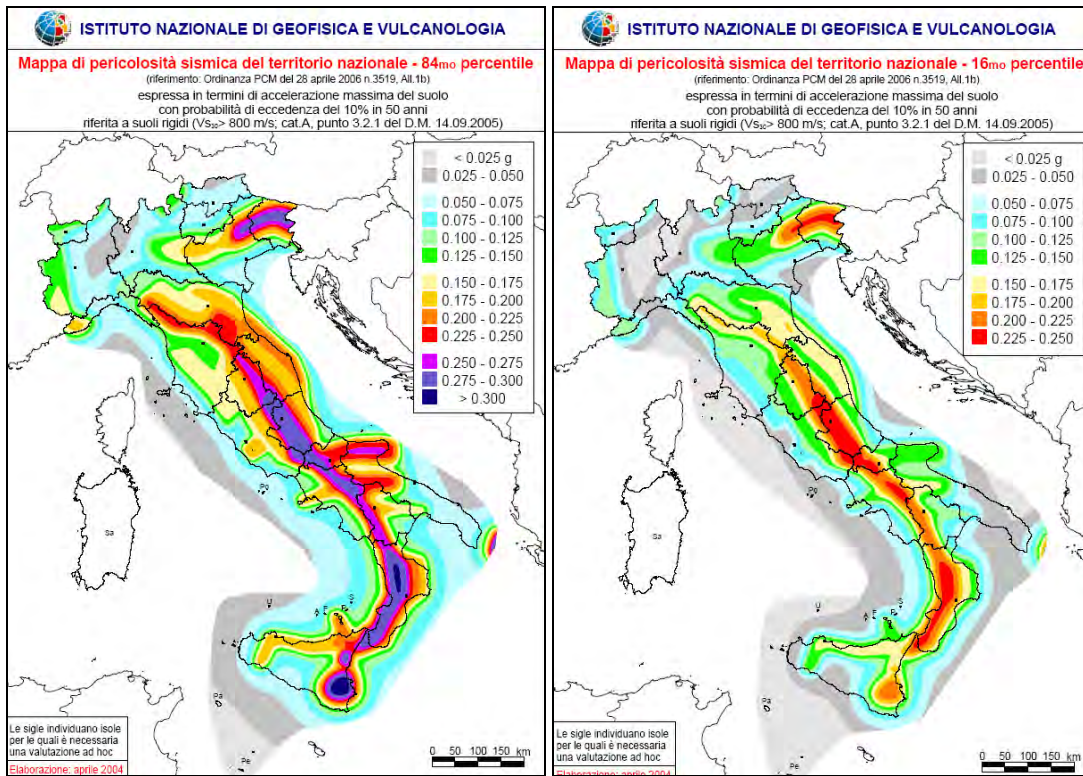


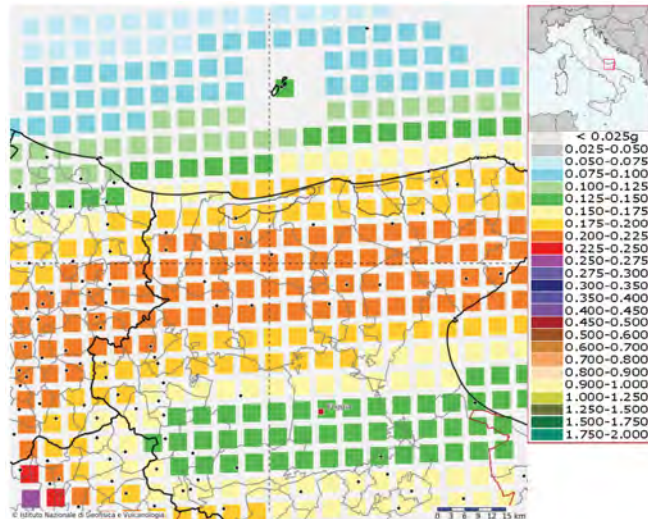
Fig. 3 – Mappa della distribuzione epicentrale nell'area garganica nel periodo 1000-1996: a) con qualunque magnitudo; b) con $M \geq 3,5$.



Più in particolare, per l'area interessata dall'intervento, si dovranno tenere in considerazione, in fase di progettazione e di calcolo, valori dell'accelerazione sismica di riferimento compresi tra 0,125 e 0,150.

Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)

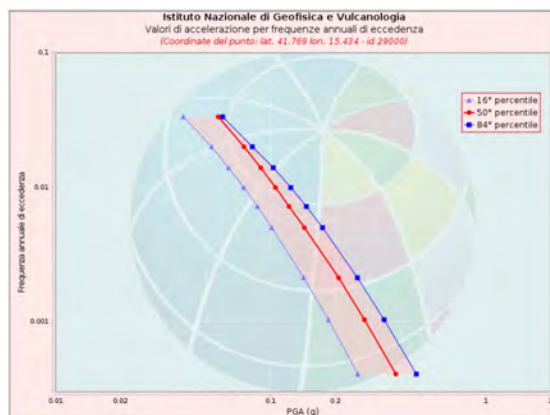
Informazioni sul nodo con ID: 29000 - Latitudine: 41.769 - Longitudine: 15.434



La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante. Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 29000 (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

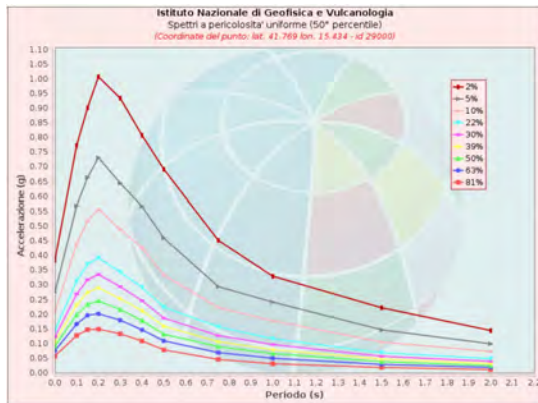


Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.255	0.383	0.477
0.0010	0.186	0.274	0.338
0.0021	0.143	0.207	0.254
0.0050	0.101	0.144	0.175
0.0071	0.087	0.122	0.147
0.0099	0.075	0.106	0.124
0.0139	0.064	0.090	0.103
0.0199	0.053	0.075	0.082
0.0332	0.039	0.057	0.060

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.

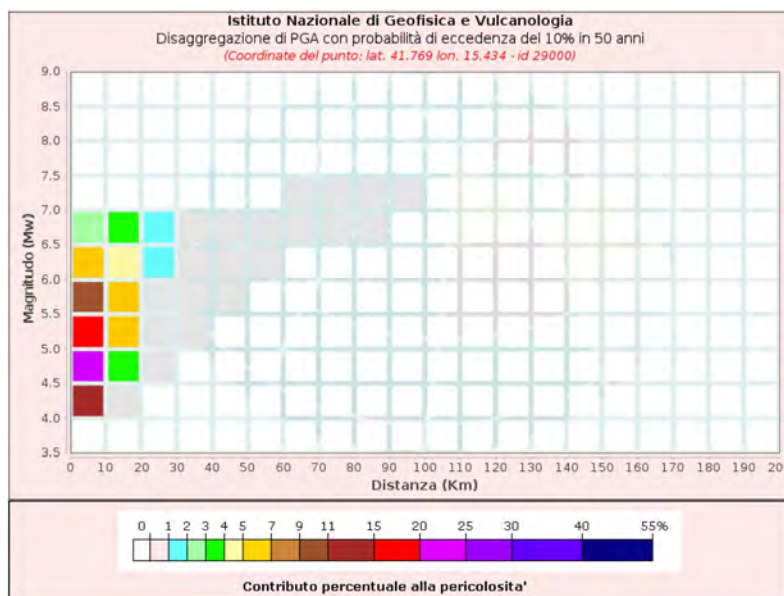


Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.383	0.773	0.901	1.007	0.934	0.807	0.692	0.451	0.329	0.222	0.144
5%	0.274	0.568	0.664	0.731	0.644	0.567	0.459	0.294	0.241	0.146	0.099
10%	0.207	0.439	0.517	0.557	0.489	0.426	0.333	0.223	0.177	0.105	0.073
22%	0.144	0.313	0.370	0.392	0.343	0.292	0.224	0.157	0.116	0.069	0.048
30%	0.122	0.268	0.317	0.335	0.294	0.246	0.187	0.127	0.096	0.056	0.039
39%	0.106	0.232	0.274	0.290	0.252	0.212	0.159	0.106	0.079	0.047	0.031
50%	0.090	0.198	0.234	0.245	0.216	0.178	0.132	0.089	0.066	0.038	0.025
63%	0.075	0.166	0.196	0.201	0.179	0.147	0.109	0.069	0.050	0.029	0.019
81%	0.057	0.127	0.147	0.149	0.133	0.109	0.078	0.046	0.031	0.018	0.011

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 15,4446 LATITUDINE: 41,7849

Ricerca per comune

REGIONE: Puglia PROVINCIA: Foggia COMUNE: Apricena

Reticolo di riferimento

Controllo ad reticolo:

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

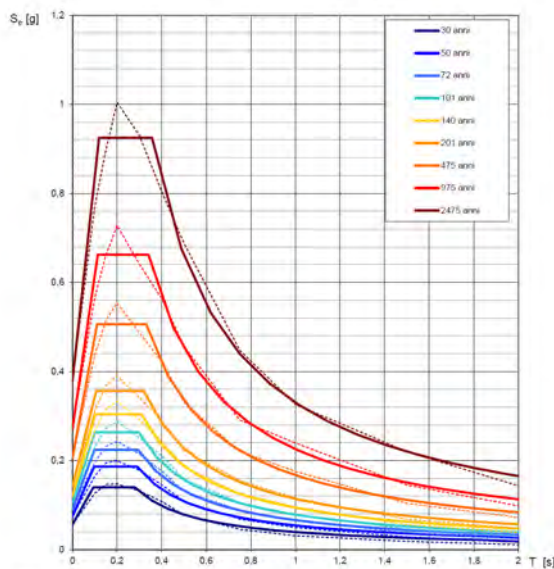
La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver. 1.0.2"

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver. 1.0.2"

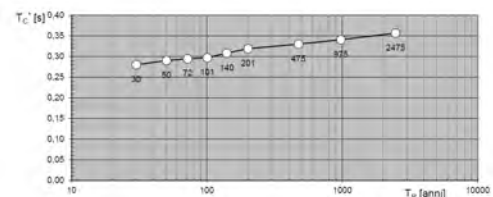
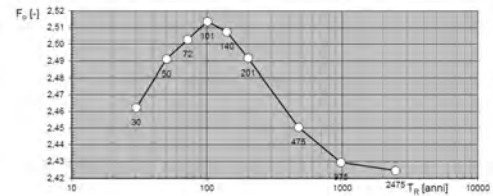
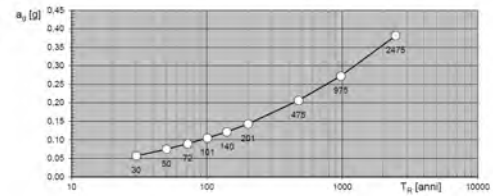
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_p , T_C : variabilità col periodo di ritorno T_R



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c [s]
30	0,057	2,462	0,280
50	0,075	2,491	0,290
72	0,089	2,503	0,294
101	0,105	2,514	0,297
140	0,121	2,507	0,308
201	0,143	2,492	0,319
475	0,207	2,450	0,330
975	0,273	2,429	0,341
2475	0,382	2,425	0,357

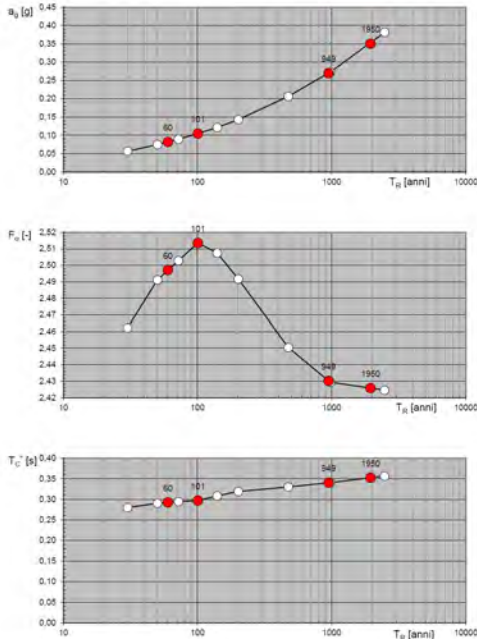
La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

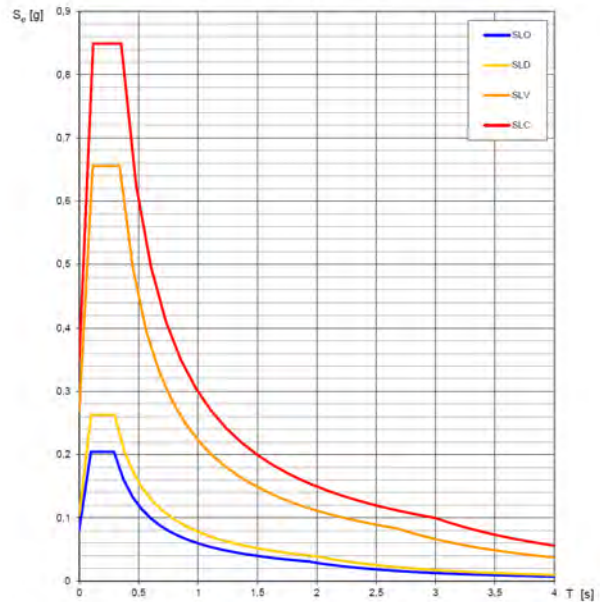
Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c in funzione del periodo di ritorno T_R



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver. 1.0.2"

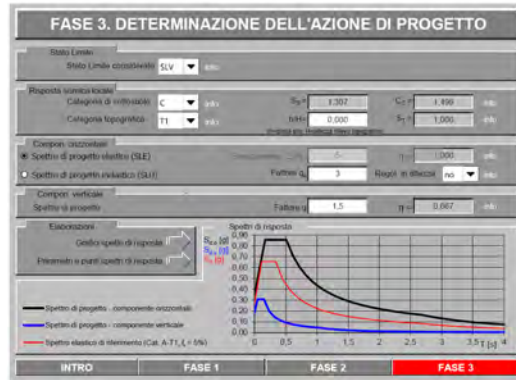
Valori dei parametri a_g , F_a , T_C per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_a [-]	T_C [s]
SLO	60	0,082	2,497	0,292
SLD	101	0,105	2,514	0,297
SLV	949	0,270	2,430	0,340
SLC	1950	0,350	2,426	0,352

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Caso 1 (Terreno B)

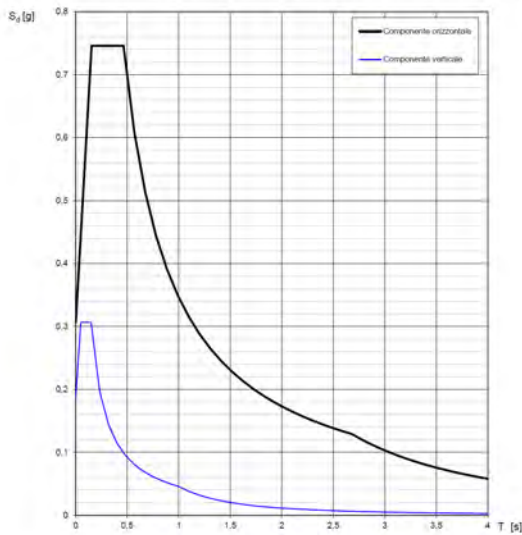
Caso 2 (Terreno C)



Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver. 1.0.2"

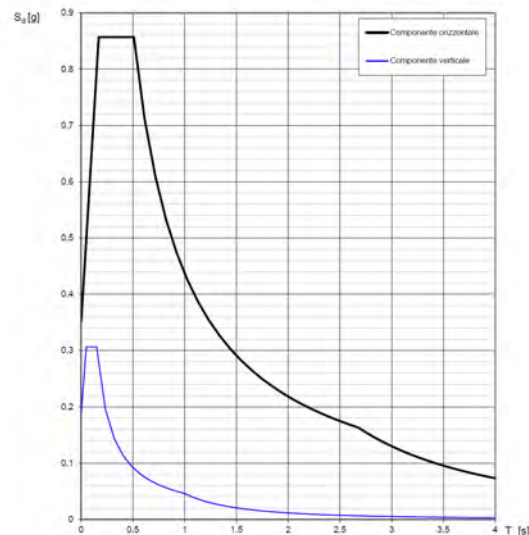
Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver. 1.0.2"

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI

I siti d'insediamento, sulla base di quanto riportato nella carta Geologica d'Italia 1:100.000 (F. 155), ricadono nella fascia di affioramento dei "**Ci-Gs - Calcari di Sannicandro**" Calcari compatti criptocristallini, biancastri, talora rosati o bruni, in grossi strati o banchi, per il sito Zona Cave, nella fascia di affioramento delle "**Qc - Sabbie di Serracapriola**" Sabbie giallastre, a grana più o meno grosse, più o meno cementate, per il sito Zona Industriale .

4.1 SERIE PRESENTI IN AREA:

Ci-Gs - Calcari di Sannicandro: Calcari compatti criptocristallini, biancastri, talora rosati o bruni, in grossi strati o banchi, con rare intercalazioni di dolomie e calcari oolitici; macrofauna a rari lamellibranchi e nerinee indeterminabili. Cretacico inf.- Malm (b).

Trattasi di calcari biancastri, talora rosati, bruni o grigi, in grossi strati o banchi, con rare intercalazioni di dolomie biancastre e calcari oolitici. Questi calcari, di ambiente biostromale, passano lateralmente alla Formazione di Monte la Serra ed affiorano nel foglio per uno spessore di 300 m circa.

M3 - Calcareniti di Apricena: Calcareniti biancastre e giallastre, organogene, a stratificazione non sempre netta (M3); alla base è frequente un orizzonte di brecce a cemento calcareo rossastro (Mb3); trasgressive sul Mesozoico del Gargano; microfauna a: *Orbulina suturalis* BRONNIMANN, 0. *Universa*, D'ORB., *Globorotalia mayeri* CUSH. e ELL., *Globigerinoides triloba* (REUSS). Serravalliano (b).

Affiorano al margine orientale del foglio in una larga fascia, che dall'abitato di Apricena si estende verso i laghi di Lesina e di Varano. Si tratta di calcareniti chiare, biancastre, giallastre, per lo più fortemente cementate, in strati o banchi di vario spessore, dai giunti non sempre netti; la grana è variabile: talvolta si passa a calcilutiti un po' marnose, tal altra a brecciole ricche di frammenti organogeni (tra cui ceritidi), frequenti in tasche alla base della serie.

Qc - Sabbie di Serracapriola: Sabbie giallastre, a grana più o meno grossa, più o meno cementate, a stratificazione spesso indistinta con intercalazioni lentiformi di conglomerati grossolani e di argille; abbondante macrofauna a gasteropodi e lamellibranchi (*Ostrea*, *Pecten* ecc.); microfauna a *Bulimina marginata* D'ORB., *B. fusiformis* WILL., *Eponides frigidus granulatus* DI NAP., *Ammonia beccarii* L.. Cabriano-Pliocene sup.?

Le Sabbie di Serracapriola sono costituite prevalentemente da sabbie giallastre quarzose in grossi banchi, a luoghi sono presenti intercalazioni di arenarie abbastanza ben cementate, argille biancastre o verde chiaro. Non mancano i livelli lentiformi di conglomerati ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi.

Poggiano in concordanza sulle Argille di Montesecco, alle quali passano gradualmente per alternanze, con locali fenomeni di eteropia. Il limite fra le due formazioni è stato posto convenzionalmente ove iniziano banchi sabbiosi più potenti, caratterizzati dalla presenza di intercalazioni arenacee, con locali episodi di sedimentazione più grossolana. Ove il passaggio è più netto, le Sabbie di Serracapriola spiccano con evidenza morfologica sulle tenere argille sottostanti.

Nella zona di Apricena le Sabbie di Serracapriola poggiano direttamente in trasgressione sui terreni mesozoici e miocenici del Gargano. Mentre nella parte occidentale del foglio le sabbie sono quarzose e più grossolane, nella zona orientale (Torremaggiore, S. Severo) esse diventano molto più argillose e a grana più fine. Si presume che in questa zona le Sabbie di Serracapriola comprendano un intervallo stratigrafico più esteso che nel resto del foglio, in parziale eteropia con le Argille di Montesecco; lo spessore della formazione, che è normalmente di circa 30 m, diventa qui più considerevole.

Fra i macrofossili rinvenuti prevalgono i lamellibranchi a guscio più spesso (Ostrea, Pecten). Dal punto di vista micropaleontologico non si è notata una evidente differenza rispetto alla parte superiore delle argille sottostanti, salvo una maggiore scarsità o povertà di forme, per cui il problema dell'attribuzione al Pliocene superiore o al Calabriano si pone nei termini già discussi.

Peraltro anche SELLI non esclude la presenza del Calabriano nella parte alta delle Sabbie di Serracapriola. In un pozzo nei pressi di S. Severo (località S. Antonino da Piede) è stato rinvenuto a pochi metri di profondità un molare di *Elephas antiquus* FALC.; G. CHECCHIA RISPOLI (1900) ritiene che tale reperto si trovi rimaneggiato in terreni di origine marina, verosimilmente nelle Sabbie di Serracapriola. Non si esclude però che esso faccia parte dei sedimenti alluvionali di età più recente trasportati dai vicini corsi d'acqua.

ff³ – Alluvioni ghiaioso-sabbioso-argillose del III ordine di Terrazzi.

Si tratta di depositi più fini dei precedenti con prevalenza di sabbie e argille e rari livelli ghiaiosi. Essi sono stati individuati lungo il F. Fortore, ove costituiscono una piattaforma estesa specie sul versante destro del fiume. Lo spessore del sedimento è dell'ordine di qualche metro ed il suo dislivello sull'attuale alveo del fiume nella zona meridionale del foglio è di circa 40 m. Il terrazzo è evidente solo fino all'altezza del Ponte di Civitate: più a N è di difficile separazione da ff².

ff⁴ - Alluvioni prevalentemente limoso-argillose del IV ordine di terrazzi.

Si tratta di limi, argille e sabbie provenienti essenzialmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici; nella parte alta del F. Fortore a questo materiale fine s'intercalano lenti di ciottoli grossolani di provenienza

appenninica. Lo spessore supera i 10 m; solo raramente (lungo il F. Fortore) si osserva la base della formazione costituita da sabbie, localmente poggianti sulla superficie erosa delle argille di Montesecco.

Le alluvioni terrazzate indicate con fl⁴ costituiscono ripiani elevati al massimo di una decina di metri rispetto agli alvei attuali; verso il mare però tale valore decresce progressivamente fino ad annullarsi.

5. INDAGINI IN SITO

Per ottenere la situazione litostratigrafica locale delle aree di insediamento dei campi fotovoltaici, oltre alla esecuzione di un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, che ha evidenziato una sostanziale congruità in presenza dei litotipi riportati in cartografia geologica (depositi sabbioso-limosi terrazzati e calcari mesozoici), si è proceduto alla esecuzione di indagini geofisiche in corrispondenza delle aree dei campi d'impianto FTV.

La campagna d'indagine è consistita nella esecuzione di n° 10 profili Sismici a Rifrazione e n° 8 profili sismici di tipo MASW.

Le prospezioni Sismiche a Rifrazione (SIS) e MASW hanno consentito di determinare le caratteristiche dinamiche dei litotipi investigati, attraverso la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche di tipo P ed S, dei moduli elastici e la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione attraverso il calcolo della $V_{s30}/V_{s,eq}$, come richiesto dalla normativa vigente.

Per una più completa caratterizzazione del quadro geotecnico in questa fase di progettazione definitiva, in relazione alle opere che andranno a comporre i campi fotovoltaici, caratterizzati sostanzialmente da pannelli posti su strutture (pali) di sostegno delle stringhe, infissi tra 2,0/3,0 m. dal p.c., si è ritenuto sufficiente eseguire solo una campagna d'indagine di tipo geofisico, rimandando alle fasi progettuali successive un eventuale approfondimento di indagini puntuali e specifiche mirate.

5.1 METODOLOGIE IMPIEGATE

Nell'area oggetto di studio è stata applicata una specifica metodologia d'indagine geofisica, di cui vengono evidenziati brevemente i fondamenti teorici.

➤ PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

Dove

h_i = spessore dello strato i esimo;

V_{si} = 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/sec.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{si}}}$$

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 VS,eq è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tale parametro può essere determinato attraverso indagini indirette ed in particolar modo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh, ossia onde di superficie generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio non omogeneo la loro velocità presenta dipendenza dalla frequenza, provocando dispersione della sua energia.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onde nel sottosuolo dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza; per le onde di Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo e isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

Nelle nuove metodologie sismiche d'indagine del sottosuolo si considerano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga predominante rispetto alle onde P ed S; inoltre l'ampiezza di tali onde dipende da \sqrt{r} anziché da r (distanza dalla sorgente in superficie) come per le onde di volume.

La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla Vp e dalla densità, è funzione anzitutto della Vs, che rappresenta un parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito.

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc.

Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

La metodologia Masw risulta particolarmente indicata in ambienti con spaziature limitate e, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità, associabili alla presenza di strati "lenti" al di sotto del bedrock roccioso.

Tuttavia, un limite di tale metodologia è che esso risente particolarmente del principio di indeterminazione e, fornendo un modello mono-dimensionale del sottosuolo, rende necessaria l'applicazione di altre metodologie d'indagine per fornire un modello geofisico-geologico più attendibile.

➤ **Prospezione sismica a rifrazione**

La prospezione sismica considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si propagano nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti.

Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante.

Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell. La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un raggio sismico è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo per la densità del materiale attraversato.

Ogni litotipo è caratterizzato da una particolare velocità di propagazione, determinata sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, la pressione, il contenuto di fluidi, ecc.

Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico.

Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo.

In funzione del tipo di analisi delle onde sismiche investigate, è possibile distinguere fra la metodologia d'indagine sismica a rifrazione (analisi di onde di volume) e di tipo MASW (analisi di onde di superficie).

Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione

delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Al fine di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

- a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h < 0.25 * z$;
- c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio (onde S), meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) le velocità delle onde p, misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio.

➤ STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite con l'ausilio della seguente strumentazione: **Sismografo PASI mod. GEA24.** (sismica 24 canali).



5.2 MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITA' DI CAMPO

Indagine sismica di tipo MASW

La tecnica MASW prevede l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione (massa battente di peso pari a 8 Kg) e la registrazione simultanea di 12 o più canali, utilizzando geofoni a bassa frequenza. Infatti l'esigenza di analizzare con elevato dettaglio basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz e corrispondenti a maggiori profondità d'investigazione) richiede la necessità di utilizzare geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Per i profili Masw eseguiti è stata adottata la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 44.0 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.0 m;
- offset di scoppio = 2.0 metri;
- durata dell'acquisizione = 1 secondo;
- tempo di campionamento = 1 millisecondo.

Per energizzare il terreno è stata usata una sorgente impulsiva del tipo "mazza battente" di peso pari a 8 Kg, ad impatto verticale su piastra per la generazione delle onde sismiche.

Contrariamente a quanto richiesto nell'indagine sismica a rifrazione, il segnale sismico acquisito nella tecnica MASW deve includere tutto il treno d'onda superficiale; pertanto la durata dell'acquisizione deve essere definita in modo da contenere tutto il segnale e non troncato nelle ultime tracce.

Per quanto concerne il tempo di campionamento, mentre nella sismica a rifrazione si utilizza un tempo di campionamento più basso per ricostruire con dettaglio i primi arrivi dell'onda sismica, nell'indagine sismica Masw è sufficiente un campionamento più ampio per ricostruire tutto il segnale sismico.

Inoltre, lo stesso segnale viene acquisito senza applicazione di filtri e incrementi del segnale.

Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di profili con acquisizione di onde longitudinali (P), aventi le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

- lunghezza stendimento = 44.00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.0 m;
- End shot A = 0.0 metri;

- Central Shot E = 24.0 metri;
- End shot B = 48.0 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 µsec;
- Frequenza geofoni = 4.5 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

6. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

La topografia della superficie dei siti investigati è risultata essere sub-pianeggiante; il rumore ambientale è risultato essere poco rilevante. Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell'end shot esterno al 1° geofono sia per l'indagine sismica a rifrazione sia per la Masw.

6.1. Elaborazione indagine sismica di tipo MASW

L'elaborazione dei dati dell'indagine sismica Masw è stata sviluppata in due fasi:

- 1) determinazione della curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità;
- 2) inversione della curva di dispersione interpretata, mediante picking di un modo dell'onda di Rayleigh e successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione della curva teorica e sperimentale fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

Per l'inversione dei dati sperimentali è stato utilizzato il software Easy MASW della Geostru.

Le curve di dispersione ed i sismogrammi sperimentali, nonché le relative sezioni elaborate sono mostrati negli allegati a corredo del presente rapporto.

Di seguito si riportano le velocità delle onde V_s relative alle basi sismiche investigate:

MASW - Campi FTV AM2.

UNITA' SIMOSTR.	Velocità (m/s) Spessore medio (m)	MASW B2	MASW D3	MASW D4	MASW D5	MASW D6	MASW D7	MASW D8	MASW D9
U.S. I	$V_s \rightarrow$ H \rightarrow	190 3.3	144 2.7	113 1.3	197 3.6	195 1.7	213 3.0	199 2.2	160 3.0
U.S. II	$V_s \rightarrow$ H \rightarrow	424 3.7	290 6.6	225 1.9	424 9.7	270 3.6	347 1.7	338 7.1	216 3.7
U.S. III	$V_s \rightarrow$ H \rightarrow	705 7.7	508 17.1	866 2.0	972 SEMISP.	1263 5.3	567 14.4	816 SEMISP.	2.83 8.0
U.S. IV	$V_s \rightarrow$ H \rightarrow	1164 SEMISP.	638 SEMISP.	1107 SEMISP.	-	1600 SEMISP.	1460 SEMISP.	-	678 SEMISP.
	$V_{s30} - V_{s40}$ (m/s)	597	371	678	514	779	580	524	347
PROFILO	TERRENO TIPO	B	B	B	B	B	B	B	C

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alle tabelle seguenti, suddivise per zone, con i valori medi degli spessori:

Zone Cave

SISMOSTRATI	Litologia	SPESSORE MEDIO (m)
I	Terreno vegetale – Terre rosse;	1.5/3.0
II	Terre con trovanti in roccia (cappellaccio);	3.0/5.0
II	Brecce Calcaree (Cappellaccio);	7.0/15.0
IV	Calcri Stratificati.	Semispazio

Zona Industriale

SISMOSTRATI	Litologia	SPESSORE MEDIO (m)
I	Terreno vegetale;	1.3-3.0
II	Limi sabbiosi – sabbie limose;	1.3-9.0
II	Sabbie fini;	2.0-17.0
IV	Limi argilloso-sabbiosi.	Semispazio

6.2. Elaborazione indagine Sismica a Rifrazione

Dai sismogrammi sperimentali sono stati letti i tempi di arrivo dei "first-break" attraverso l'utilizzo del software Easy Refract della GEOSTRU per la costruzione delle relative dromocrone (diagrammi tempo-distanza), mostrate in allegato.

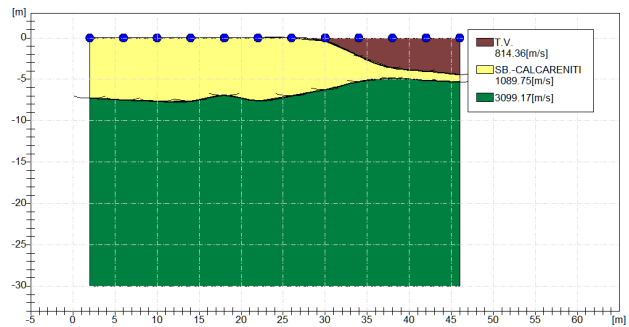
L'interpretazione delle dromocrone, anche questa eseguita con processi computerizzati, è stata effettuata attraverso il software EASY REFRACT della GEOSTRU, utilizzando come tecnica di interpretazione il Metodo GRM.

Le relative sezioni sismostratigrafiche elaborate sono mostrate negli allegati a corredo del presente rapporto.

Di seguito si riportano le velocità delle onde P relative alle basi sismiche investigate:

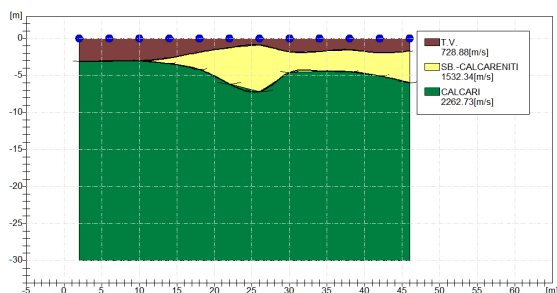
SISMOSTRATO	Velocità (m/s)	SIS B2	SIS B4	SIS D1	SIS D3	SIS D4	SIS D5	SIS D6	SIS D7	SIS D8	SIS D9
I	Vp →	814	728	285	299	530	498	448	360	497	379
	H →	1.0	2.0	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	2.0
II	Vp →	1089	1532	675	579	765	1047	835	902	848	718
	H →	7.0	4.0	5.0	5.0	12.0	10.0	8.5	3.5	9.5	11.0
III	Vp →	3099	2262	1192	973	1073	2226	1357	1255	1324	1112
	H →	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.	Indef.

MODULI DINAMICI B-2			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	814	1089	3099
Velocità Onde S (m/s):	391	582	1789
Modulo di Poisson:	0,35	0,30	0,25
Peso di volume (KN/m ³):	17,63	19,18	26,20
Peso di volume (g/cm ³):	1,80	1,96	2,67
SPESORE MEDIO STRATO (m)	1,00	7,00	22,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	7571	17575	218125
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	743	1724	21391
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	275	662	8550
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	27	65	838
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ³) (mod. di incompressibilità di volume)	8415	14653	145468
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	825	1437	14265
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	912	2117	26280
POROSITA' % (Correlazione Rzhesvsky e Novik (1971) (%))	43,14	40,57	21,79
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	1191	2319	25856
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	1464	2851	31541
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	6893	11162	46868
Frequenza dello strato	97,75	20,79	20,33
Periodo dello strato	0,01	0,048	0,049
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	12,72	33,05	489,39
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	124,78	324,14	4799,30
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	6,36	16,53	163,13
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	62,39	162,07	1599,77
φ° (Angolo di Attrito °)	28,90	35,21	57,25
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	1,45	2,19	6,87



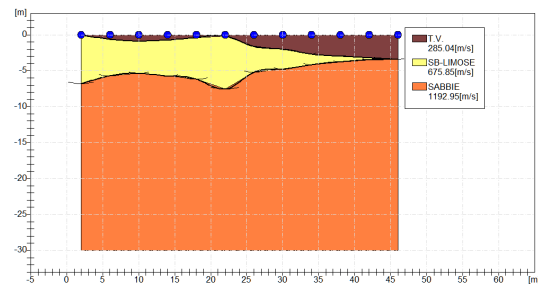
PROFILO SISMICO B-2												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,00	814	391	0,35	1,798	7571	912	275	8415	1464	1,45	0,58	29
8,00	1089	582	0,30	1,956	17575	2117	662	14653	2851	2,19	0,88	35
30,00	3099	1789	0,25	2,671	218125	26280	8550	145468	31541	6,87	2,75	57

MODULI DINAMICI B-4			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	729	1532	2262
Velocità Onde S (m/s):	320	736	1209
Modulo di Poisson:	0,38	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m ³):	17,46	20,06	24,52
Peso di volume (g/cm ³):	1,78	2,05	2,50
SPESORE MEDIO STRATO (m)	2,00	4,00	24,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	5136	30533	96979
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	504	2994	9510
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	182	1108	3655
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	18	109	358
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	7174	33920	80833
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	703	3326	7927
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	619	3679	11684
POROSITA' % (correlazione Rzhesvky e Novik (1971) (%))	43,93	36,43	29,61
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	946	4802	12795
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	1163	5903	15730
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	5587	14767	29649
Frequenza dello strato	40,00	46,00	12,59
Periodo dello strato	0,03	0,022	0,079
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	7,87	58,06	191,08
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	77,14	569,40	1873,86
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	3,93	29,03	63,69
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	38,57	284,70	624,62
φ° (Angolo di Attrito °)	24,35	42,20	48,58
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	1,17	2,79	4,62



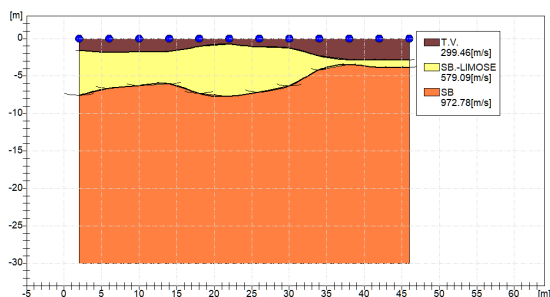
PROFILO SISMICO B-4												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
2,00	729	320	0,38	1,780	5136	619	182	7174	1163	1,17	0,47	24
6,00	1532	736	0,35	2,046	30533	3679	1108	33920	5903	2,79	1,11	42
30,00	2262	1209	0,30	2,501	96979	11684	3655	80833	15730	4,62	1,85	49

MODULI DINAMICI D-1			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	285	675	1192
Velocità Onde S (m/s):	56	221	524
Modulo di Poisson:	0,48	0,44	0,38
Peso di volume (KN/m ³):	16,57	17,35	19,38
Peso di volume (g/cm ³):	1,69	1,77	1,98
SPESORE MEDIO STRATO (m)	1,50	5,00	23,50
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	160	2539	15287
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	16	249	1499
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	5	86	543
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	1	8	53
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	1328	7050	21274
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	130	691	2086
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	19	306	1842
POROSITA' % (correlazione Rzhnevsky e Novik (1971) (%))	48,08	44,44	39,61
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	137	806	2808
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	168	991	3453
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	928	3834	10157
Frequenza dello strato	9,33	11,05	5,57
Periodo dello strato	0,11	0,090	0,179
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	0,12	3,24	25,69
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	1,18	31,73	251,95
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	0,06	1,62	12,85
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	0,59	15,86	125,97
φ° (Angolo di Attrito °)	22,92	33,94	35,32
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,15	0,79	1,96



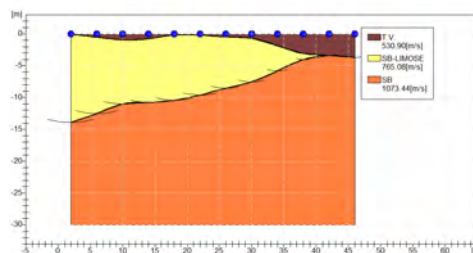
PROFILO SISMICO D-1												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,50	285	56	0,48	1,690	160	19	5	1328	168	0,15	0,06	23
6,50	675	221	0,44	1,769	2539	306	86	7050	991	0,79	0,32	34
30,00	1192	524	0,38	1,977	15287	1842	543	21274	3453	1,96	0,79	35

MODULI DINAMICI D-3			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	299	579	972
Velocità Onde S (m/s):	98	236	427
Modulo di Poisson:	0,44	0,40	0,38
Peso di volume (KN/m ³):	16,60	17,16	18,94
Peso di volume (g/cm ³):	1,69	1,75	1,93
SPESORE MEDIO STRATO (m)	1,50	5,00	23,50
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	478	2785	9922
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	47	273	973
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	16	97	352
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	2	10	35
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	1323	4659	13831
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	130	457	1356
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	57	335	1195
POROSITA' % (correlazione Rzhesvsky e Novik (1971) (%))	47,95	45,34	41,66
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	151	587	1825
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	186	721	2244
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m ³)	1627	4049	8089
Frequenza dello strato	16,33	11,80	4,54
Periodo dello strato	0,06	0,085	0,220
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	0,46	3,79	15,72
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	4,51	37,15	154,15
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	0,23	1,89	7,86
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	2,25	18,57	77,07
φ° (Angolo di Attrito °)	21,32	29,17	34,03
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,31	0,85	1,59



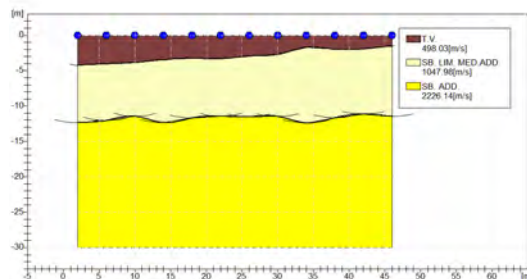
PROFILO SISMICO D-3												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,50	299	98	0,44	1,692	478	57	16	1323	186	0,31	0,12	21
6,50	579	236	0,40	1,750	2785	335	97	4659	721	0,85	0,34	29
30,00	972	427	0,38	1,932	9922	1195	352	13831	2244	1,59	0,64	34

MODULI DINAMICI D-4			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	530	765	1073
Velocità Onde S (m/s):	173	312	472
Modulo di Poisson:	0,44	0,40	0,38
Peso di volume (KN/m ³):	17,06	17,53	19,15
Peso di volume (g/cm ³):	1,74	1,79	1,95
SPESORE MEDIO STRATO (m)	1,50	12,00	16,50
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{dm} (Kg/cm ²)	1530	4972	12250
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{dm} (Mpa o Nmm ²)	150	488	1201
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{dm} (Kg/cm ²)	52	174	435
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{dm} (Mpa o Nmm ²)	5	17	43
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	4278	8307	17019
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	420	815	1669
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	184	599	1476
POROSITA' % (correlazione Rzhesvsky e Novik (1971) (%))	45,79	43,60	40,72
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	489	1046	2248
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	600	1286	2763
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m ³)	2951	5469	9037
Frequenza dello strato	28,83	6,50	7,15
Periodo dello strato	0,03	0,154	0,140
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
K _v (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	1,80	7,40	19,99
K _v (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	17,63	72,59	196,05
K _h (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	0,90	3,70	10,00
K _h (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	8,81	36,30	98,03
φ° (Angolo di Attrito °)	29,65	34,81	36,56
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,60	1,14	1,76



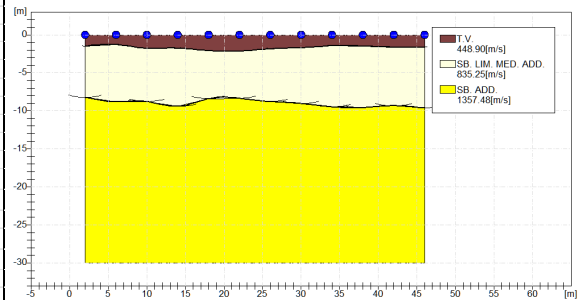
PROFILO SISMICO D-4												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,50	530	173	0,44	1,740	1530	184	52	4278	600	0,60	0,24	30
13,50	765	312	0,40	1,788	4972	599	174	8307	1286	1,14	0,46	35
30,00	1073	472	0,38	1,952	12250	1476	435	17019	2763	1,76	0,70	37

MODULI DINAMICI D-5			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	498	1047	2226
Velocità Onde S (m/s):	203	461	1069
Modulo di Poisson:	0,40	0,38	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	17,00	18,09	21,45
Peso di volume (g/cm ³):	1,73	1,85	2,19
SPESORE MEDIO STRATO (m)	2,50	10,00	17,50
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	2041	11041	68877
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	200	1083	6755
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	71	392	2500
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	7	38	245
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	3414	15303	76592
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	335	1501	7511
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	246	1330	8298
POROSITA' % (correlazione Rzheshvsky e Novik (1971) (%))	46,09	40,96	29,94
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	430	2023	10839
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	528	2486	13325
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	3450	8341	22932
Frequenza dello strato	20,30	11,53	15,27
Periodo dello strato	0,05	0,087	0,065
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	2,64	18,89	142,21
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	25,88	185,27	1394,63
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	1,32	9,45	71,11
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	12,94	92,63	697,32
φ° (Angolo di Attrito °)	22,40	29,96	31,91
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,72	1,72	4,08



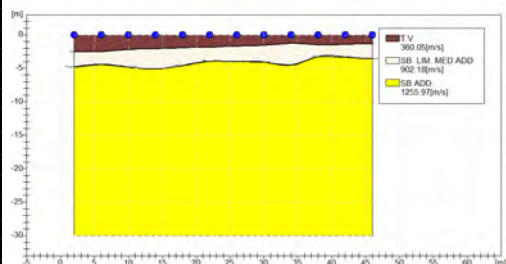
PROFILO SISMICO D-5												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
2,50	498	203	0,40	1,733	2041	246	71	3414	528	0,72	0,29	22
12,50	1047	461	0,38	1,845	11041	1330	392	15303	2486	1,72	0,69	30
30,00	2226	1069	0,35	2,187	68877	8298	2500	76592	13325	4,08	1,63	32

MODULI DINAMICI D-6			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	448	835	1357
Velocità Onde S (m/s):	183	367	652
Modulo di Poisson:	0,40	0,38	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	16,90	17,67	19,71
Peso di volume (g/cm ³):	1,72	1,80	2,01
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1,50	8,50	20,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	1648	6836	23543
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	162	670	2309
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	58	243	855
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	6	24	84
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	2743	9517	26146
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	269	933	2564
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	198	824	2836
POROSITA' % (correlazione Rzhvesky e Novik (1971) (%))	46,56	42,94	38,07
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	346	1256	3702
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	425	1544	4551
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	3092	6485	12854
Frequenza dello strato	30,50	10,79	8,15
Periodo dello strato	0,03	0,093	0,123
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ²)	2,06	10,93	43,41
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ²)	20,17	107,18	425,70
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ²)	1,03	5,46	21,70
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ²)	10,09	53,59	212,85
φ° (Angolo di Attrito °)	20,60	26,42	34,50
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,64	1,36	2,46



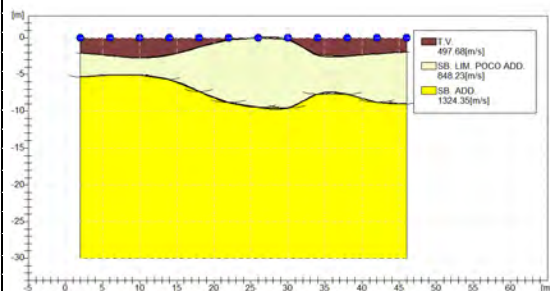
PROFILO SISMICO D-6												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,50	448	183	0,40	1,723	1648	198	58	2743	425	0,64	0,26	21
10,00	835	367	0,38	1,802	6836	824	243	9517	1544	1,36	0,54	26
30,00	1357	652	0,35	2,010	23543	2836	855	26146	4551	2,46	0,98	35

MODULI DINAMICI D-7			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	360	902	1255
Velocità Onde S (m/s):	147	397	603
Modulo di Poisson:	0,40	0,38	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	16,72	17,80	19,51
Peso di volume (g/cm ³):	1,70	1,82	1,99
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1,50	3,50	25,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	1053	8058	19929
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	103	790	1954
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	37	286	723
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	4	28	71
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) <small>(mod. di incompressibilità di volume)</small>	1753	11179	22132
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	172	1096	2170
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	127	971	2401
POROSITA' % <small>(correlazione Rzhvesky e Novik (1971) (%))</small>	47,38	42,32	39,02
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) <small>(valido per le terre)</small>	221	1477	3133
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) <small>(Relazione di Navier)</small>	271	1816	3852
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	2458	7068	11765
Frequenza dello strato	24,50	28,36	6,03
Periodo dello strato	0,04	0,035	0,166
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	1,22	13,20	35,99
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	11,93	129,42	352,92
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	0,61	6,60	17,99
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	5,96	64,71	176,46
φ° (Angolo di Attrito °)	21,05	28,27	32,22
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,50	1,47	2,27



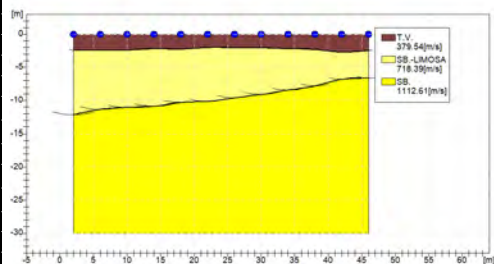
PROFILO SISMICO D-7												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,50	360	147	0,40	1,705	1053	127	37	1753	271	0,50	0,20	21
5,00	902	397	0,38	1,815	8058	971	286	11179	1816	1,47	0,59	28
30,00	1255	603	0,35	1,989	19929	2401	723	22132	3852	2,27	0,91	32

MODULI DINAMICI D-8			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	497	848	1324
Velocità Onde S (m/s):	203	373	636
Modulo di Poisson:	0,40	0,38	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	16,99	17,70	19,65
Peso di volume (g/cm ³):	1,73	1,80	2,00
SPESORE MEDIO STRATO (m)	1,50	9,50	19,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	2040	7071	22328
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	200	693	2190
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	71	251	810
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	7	25	79
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	3396	9825	24812
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	333	964	2433
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	246	852	2690
POROSITA' % (correlazione Rzhnevsky e Novik (1971) (%))	46,10	42,82	38,37
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	428	1298	3512
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	526	1595	4318
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	3450	6601	12496
Frequenza dello strato	33,83	9,82	8,37
Periodo dello strato	0,03	0,102	0,119
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	2,64	11,36	40,90
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	25,88	111,43	401,06
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	1,32	5,68	20,45
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	12,94	55,72	200,53
φ° (Angolo di Attrito °)	24,40	26,80	33,77
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,72	1,38	2,40



PROFILO SISMICO D-8												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,50	497	203	0,40	1,733	2040	246	71	3396	526	0,72	0,29	24
11,00	848	373	0,38	1,804	7071	852	251	9825	1595	1,38	0,55	27
30,00	1324	636	0,35	2,004	22328	2690	810	24812	4318	2,40	0,96	34

MODULI DINAMICI D-9			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	379	718	1112
Velocità Onde S (m/s):	125	293	534
Modulo di Poisson:	0,44	0,40	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	16,76	17,44	19,22
Peso di volume (g/cm ³):	1,71	1,78	1,96
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	2,00	11,00	17,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	784	4361	15402
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	77	428	1510
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	27	153	559
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	3	15	55
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	2141	7276	17129
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	210	714	1680
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	94	525	1856
POROSITA' % (correlazione Rzhesvky e Novik (1971) (%))	47,21	44,04	40,36
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	245	917	2424
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	301	1127	2980
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	2095	5109	10266
Frequenza dello strato	15,63	6,66	7,85
Periodo dello strato	0,06	0,150	0,127
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	0,82	6,37	26,88
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	8,08	62,43	263,64
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	0,41	3,18	13,44
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	4,04	31,22	131,82
φ° (Angolo di Attrito °)	20,64	23,48	28,83
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,42	1,07	2,00



PROFILO SISMICO D-9												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
2,00	379	125	0,44	1,709	784	94	27	2141	301	0,42	0,17	21
13,00	718	293	0,40	1,778	4361	525	153	7276	1127	1,07	0,43	23
30,00	1112	534	0,35	1,960	15402	1856	559	17129	2980	2,00	0,80	29

6.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO.

Relazione di calcolo per la categoria di sottosuolo

DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Circolare 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento del-le "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Generalità

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito bedrock sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del bedrock, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con h_i lo spessore in metri dell'iesimo strato di terreno;

$V_{s,i}$ la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

N il numero di strati;

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

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 $V_{s,30}$ dove H = 30 m considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

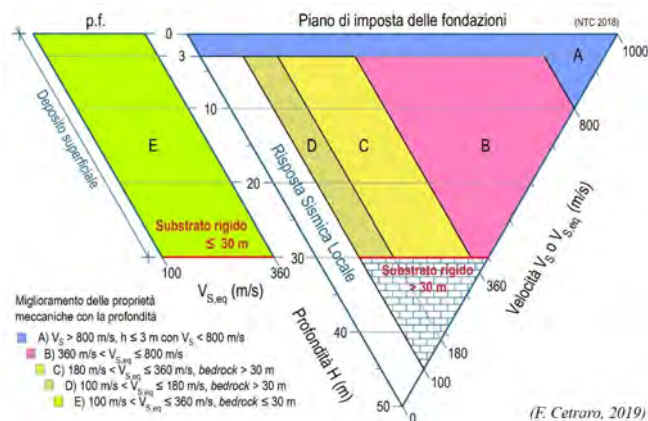


Figura 1 – Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Piano di riferimento per le opere di fondazione:

Ricordando che 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.

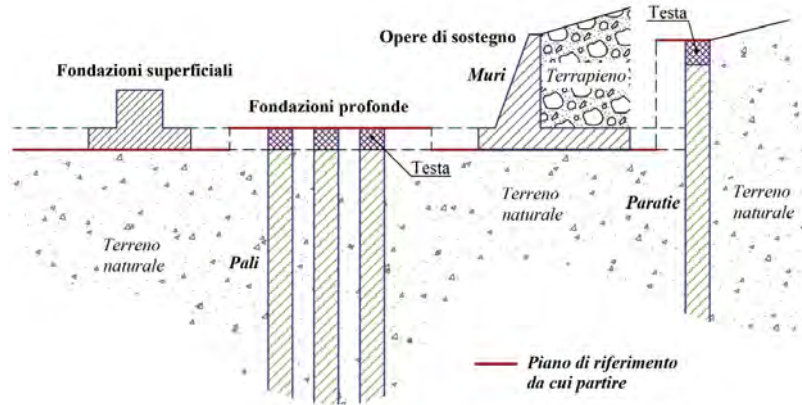


Figura 2 – Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

Sulla base delle opere in progetto, la profondità del piano di fondazione è di 0,00 m dal p.c.

Risultati del calcolo

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità VS di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

A) CAMPI FOTOVOLTAICI

- ZONA CAVE

Per l'area Campi Fotovoltaici è stato calcolato un profilo medio tra le Vs misurate nei profili MASW analizzati (B2).

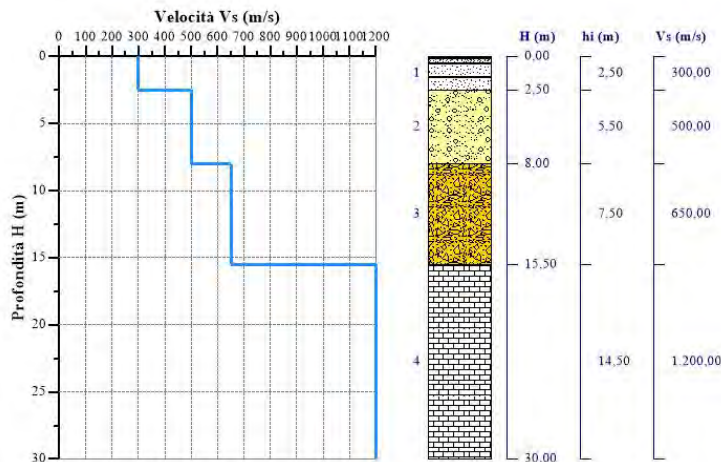
Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, VS = velocità onde di taglio, Hcalc e hcalc sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Tabella 1- Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hcalc (m)	hcalc/Vs (s)
1	2,50	2,50	300,00	2,50	2,50	0,008333
2	8,00	5,50	500,00	8,00	5,50	0,011000
3	15,50	7,50	650,00	15,50	7,50	0,011538
4	30,00	14,50	1.200,00	30,00	14,50	---

Vs,eq = **502,08** m/s Categoria di sottosuolo: **B**

Descrizione: 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.



- **ZONA INDUSTRIALE**

Per l'area Campi Fotovoltaici è stato calcolato un profilo medio tra le Vs misurate nei profili MASW analizzati (D2-D3-D4-D5-D6-D7-D8-D9).

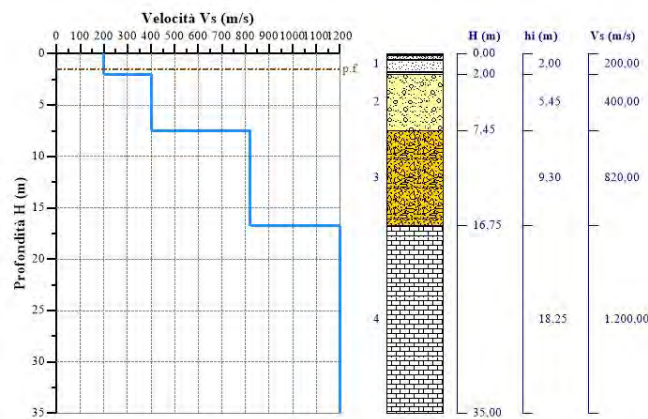
Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, VS = velocità onde di taglio, Hcalc e hcalc sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Tabella 1- Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hcalc (m)	hcalc/Vs (s)
1	2,00	2,00	200,00	0,50	0,50	0,002500
2	7,45	5,45	400,00	5,95	5,45	0,013625
3	16,75	9,30	820,00	15,25	9,30	---
4	35,00	18,25	1.200,00	30,00	14,75	---

Vs,eq = **368,99 m/s** Categoria di sottosuolo: **B**

Descrizione: 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.



6.4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – CALCOLO PORTANZA

Per le opere comprendenti il progetto si prevede la realizzazione di n. 35 cabine di conversione e trasformazione, n. 2 cabine di smistamento elettrico e n. 9 locali tecnici bT per un totale di 46 unità.

Le dimensioni generali di tutte queste, è prevista la realizzazione di una fondazione di tipo a platea posizionata ad una profondità dal p.c. di circa 1,8 m, di spessore pari a circa 0,30 m, su cui posizionare i moduli locali tecnici che conterranno le apparecchiature.

Le dimensioni della piastra di fondazione saranno di 15x3x0,3 posizionata appunto a 1,80 m. dal p.c.

Si è quindi proceduto ad eseguire una verifica della capacità portante del piano di fondazione considerando un profilo geotecnico del terreno, sulla base dei risultati ottenuti nella campagna d'indagine, che vede un primo strato di spessore pari a circa 2,0 m., rappresentato da terreno vegetale e terre con trovanti litici ghiaiosi; un secondo strato che arriva fino a circa 9/10 m. dal p.c., rappresentato essenzialmente da ghiaie in matrice sabbiosa; un terzo strato, composto essenzialmente da materiale conglomeratico cementato.

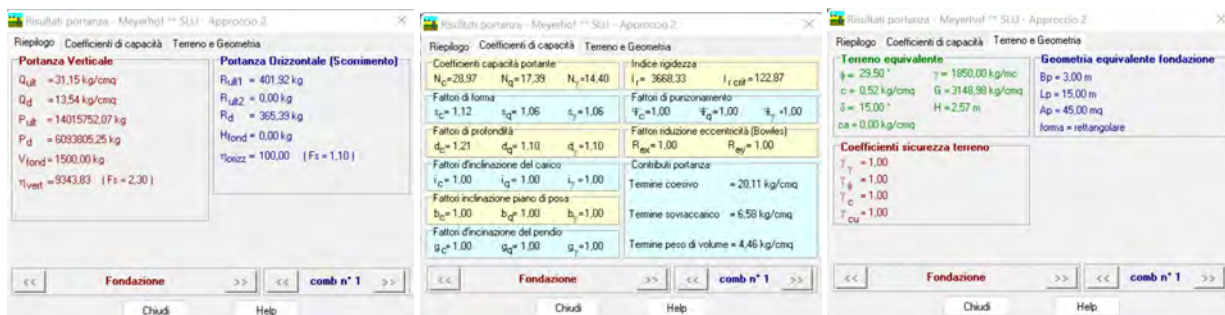
Per il calcolo della capacità portante del piano di fondazione si è voluto verificare, in prima approssimazione la formulazione di Meyerhoff applicata quindi ad una fondazione a platea di impronta pari a 15 x 3 = 45 mq, il cui piano di posa sia posto ad una profondità di 1,8 m. dal p.c., in corrispondenza del 1° orizzonte.

Dall'applicazione di tale formulazione risulta un carico limite ultimo

$$Q_{ult} = 31,15 \text{ kg/cm}^2$$

Ricavando un valore della Qd di esercizio pari a

$$Q_d = 13,54 \text{ kg/cm}^2$$

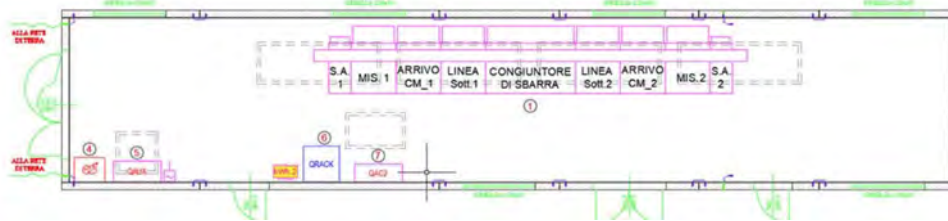


Confrontando i valori ottenuti nella presente relazione (Qult) con i carichi (Qeserc) indicati nella relativa relazione di calcolo, i carichi trasmessi sono inferiori a quelli ammissibili e quindi compatibili con il tipo d'intervento di progetto.

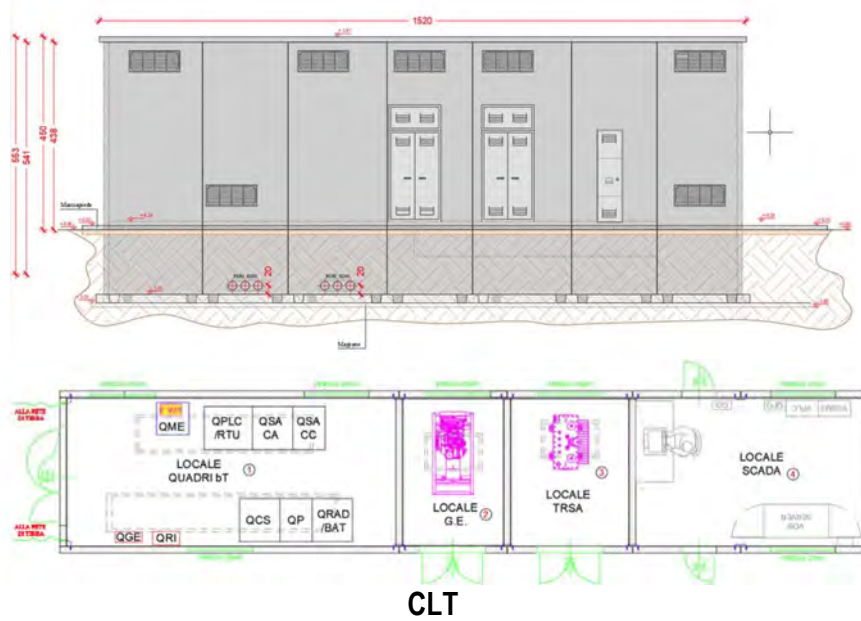
In allegato la relazione di calcolo.



CABINA MASTER

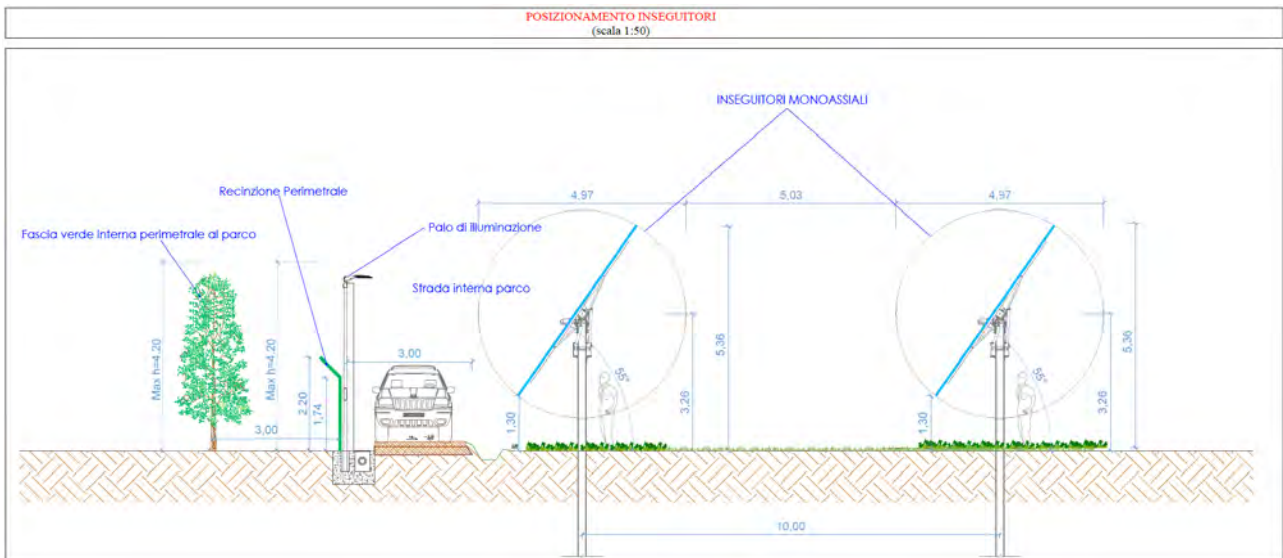


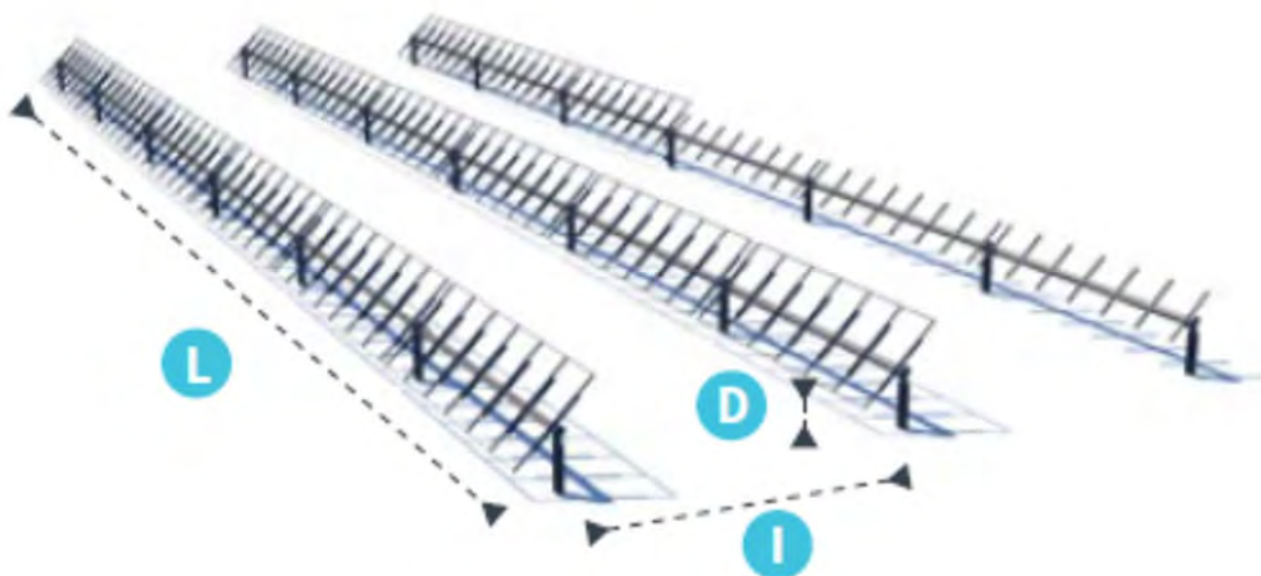
CDR



Oltre alle cabine tecniche e di consegna è prevista l'infissione di pali di sostegno dei pannelli fotovoltaici in elevazione su di essi.

I pali, costituiti da pali in acciaio, di diametro pari a 0,22 m, saranno infissi nel terreno per una profondità di circa 3,0 m. dal p.c. e si eleveranno per un'altezza di circa 3,26 m.; alla loro sommità verranno posizionate le stringhe di pannelli fotovoltaici, capaci di eseguire rotazione programmata per l'inseguimento della radiazione solare.





CONFIGURAZIONE PROGETTUALE

Interdistanza (I) [m] 10

Lunghezza blocco inseguimento (L) [m] 14,76 – 29,10 e 43,44

Altezza dal terreno (D_{min}) [m] Min 1,30m

Altezza dal terreno (D_{max}) [m] Max. 5,36m

Per i supporti delle stringhe (pali) si è proceduto ad eseguire una verifica di portanza della struttura di sostegno configurando il sistema secondo quanto previsto in progetto.

Da tale verifica si ottenuto riscontro positivo in merito.

In allegato il report di calcolo relativo alle due configurazioni diverse che si vengono a definire:

- Campi in area Cave
- Campi in area Z.I.

7. CONCLUSIONI

La presente relazione riferisce sulla situazione geologica-geotecnica di un sito ubicato in agro di Apricena sul quale è prevista la realizzazione di un "Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Fotovoltaico denominato "Apricena Industriale" da realizzarsi su aree industriali e cave nelle località "Podere Camilli - Tufara - San Giovanni - San Sabino", nel territorio comunale di Apricena(FG) per una potenza complessiva di 121,023 MWp e immissione di 96,300 MW, nonché delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto nei comuni di Apricena (FG) e San Severo (FG)", proposto dalla società AM ENERGY S.r.l.* con sede in San Severo (FG), Piazza T. Solis n. 128 - PEC: amenergysrl@pec.it - C.F. e P.IVA 04304150719, (*)Società con socio unico, soggetta a direzione e coordinamento di PLAN A HOLDING S.R.L. P.IVA 03930741206.

A tal fine è stata effettuata una raccolta dei dati bibliografici disponibili ed è stato eseguito un rilevamento geologico dell'area, completato dalla esecuzione di una campagna d'indagine geofisica per la ricostruzione della situazione stratigrafica e per una prima caratterizzazione geomeccanica dei litotipi presenti in sito, giungendo a determinare la classe di appartenenza ai sensi delle NTC 2018.

Dal punto di vista litologico, il sito è ubicato in corrispondenza delle aree di affioramento di formazioni appartenenti al ciclo deposizionale mesozoico carbonatico e calcarenitico miocenico (Zona Cave), olocenico e plio-pleistocenico (Zona Industriale).

In corrispondenza dei siti è stata rilevata la presenza di depositi terrigeni agrari, sottoforma di copertura superficiale, per spessori medi 1,0-1,5 m., per passare poi alla formazione prima calcarenitica e/o calcare per le aree poste in Zona Cave, mentre nella Z.I. sono presenti depositi olocenici appartenenti alle coperture dei terrazzi alluvionali sovrapposte a deposizioni plio-pleistocenici di deposizione marina.

Nell'ambito delle profondità di interesse non sono presenti falde superficiali, mentre una falda di modesta entità è rinvenibile a non meno di 50/70 m. dal p.c., alla base dei depositi marini pleistocenici a contatto con i litotipi torbiditici plio-pleistocenici (Argille grigio-azzurre); nel dominio carbonatico, la falda è rinvenibile a profondità non inferiori ai 50 m. al di sotto del livello base del mare.

Le aree d'insediamento dei campi produttivi si presentano sostanzialmente stabili, senza particolari manifestazioni evidenti di dissesto in atto o prevedibilmente in preparazione e, dalle indagini esperite, ai sensi delle NTC 2018, i siti dei "Campi Fotovoltaici" possono essere classificati come Profilo di Tipo "B" per le aree Zona Cave e di Tipo "B" per la Zona Industriale.

Sulla base di tale schematizzazione, definiti i parametri geotecnici tipo per ogni singolo strato, trattandosi di fase di progettazione definitiva, è stata eseguita una verifica di portanza e cedimento per un palo (maggiormente sollecitato) di diametro 0,22 m, spinto fino alla profondità di 3,0 m. dal p.c., in corrispondenza di sabbie addensate / ghiaie più o meno cementate, ovvero nei materiali terrigeni e litoidi che compongono il riempimento di cava.

L'analisi eseguita ha portato a verifica soddisfatta per una siffatta struttura, che potrebbe essere utilizzata come struttura di fondazione profonda per il supporto delle stringhe dei pannelli fotovoltaici.

In considerazione di ciò è doveroso evidenziare che tutte le valutazioni e le assunzioni fin qui espresse andranno necessariamente verificate, preliminarmente alla definizione della fase esecutiva di progetto, sulla base di una specifica ed approfondita campagna di indagini geognostiche e geotecniche, in situ e di laboratorio, onde pervenire ad una oggettiva ed esaustiva definizione del modello geotecnico di riferimento puntuale per le singole opere di progetto e della tipologia fondazionale più idonea per ogni singola opera.

Per tutto quanto considerato nel presente studio, si può affermare che, per quanto di competenza, non sussistono impedimenti di natura Geologica – Geotecnica alla realizzazione delle opere di progetto.

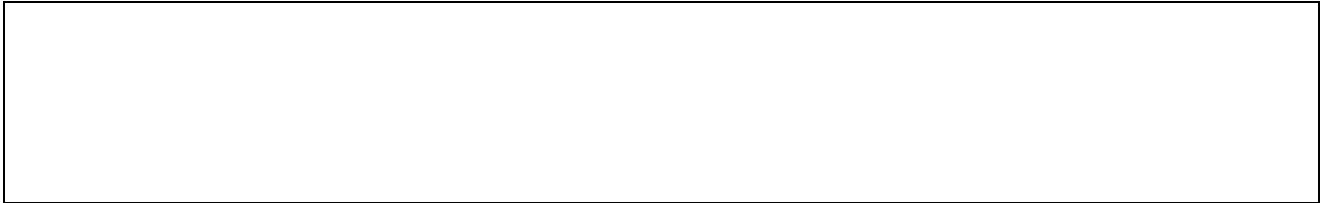
Apricena, Marzo 2023



Il Geologo Incaricato


Dott. Di Lella Nazario

ALLEGATO 1 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (SISMICA A RIFRAZIONE)



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

SIS - B4

	Data: luglio 2022
	Il committente AM-2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

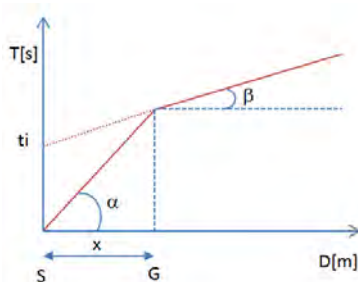
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

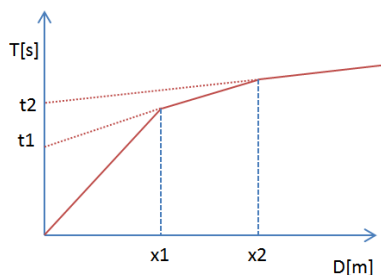
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

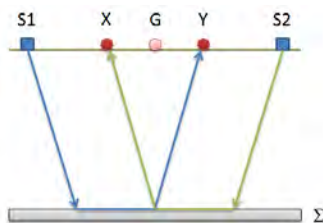


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

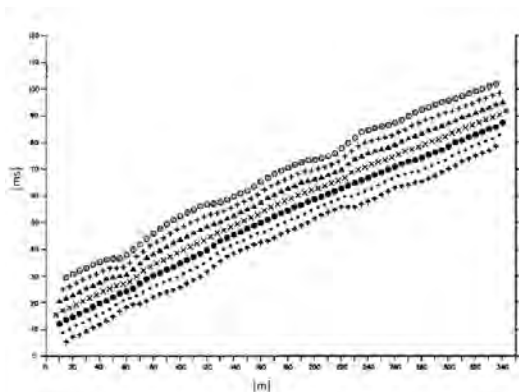
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

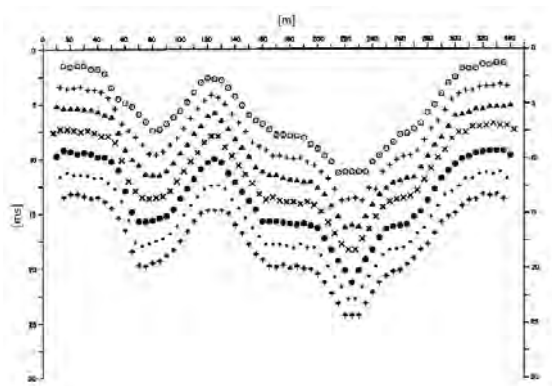
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	SIS - B4
Committente	AM-2 ENERGY SRL
Zona	APRICENA
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	01/06/2021
Via	SP 37
Latitudine	41,803763[°]
Longitudine	15,413109[°]
Altitudine	130[m]

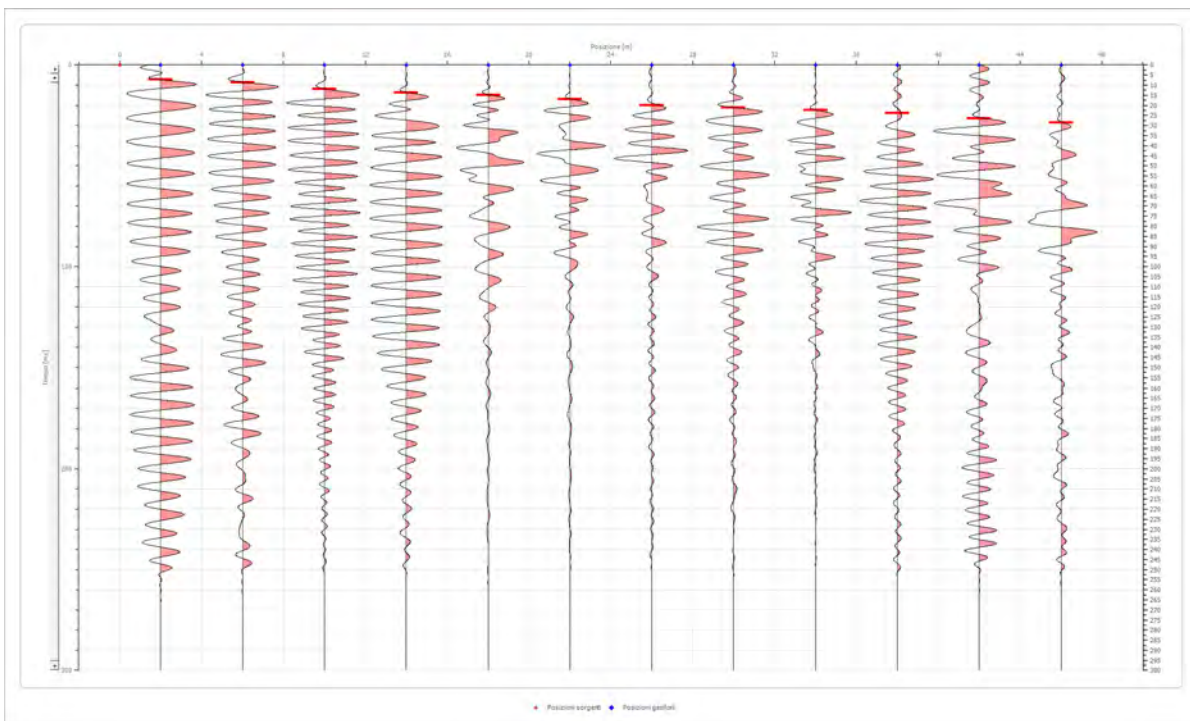
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

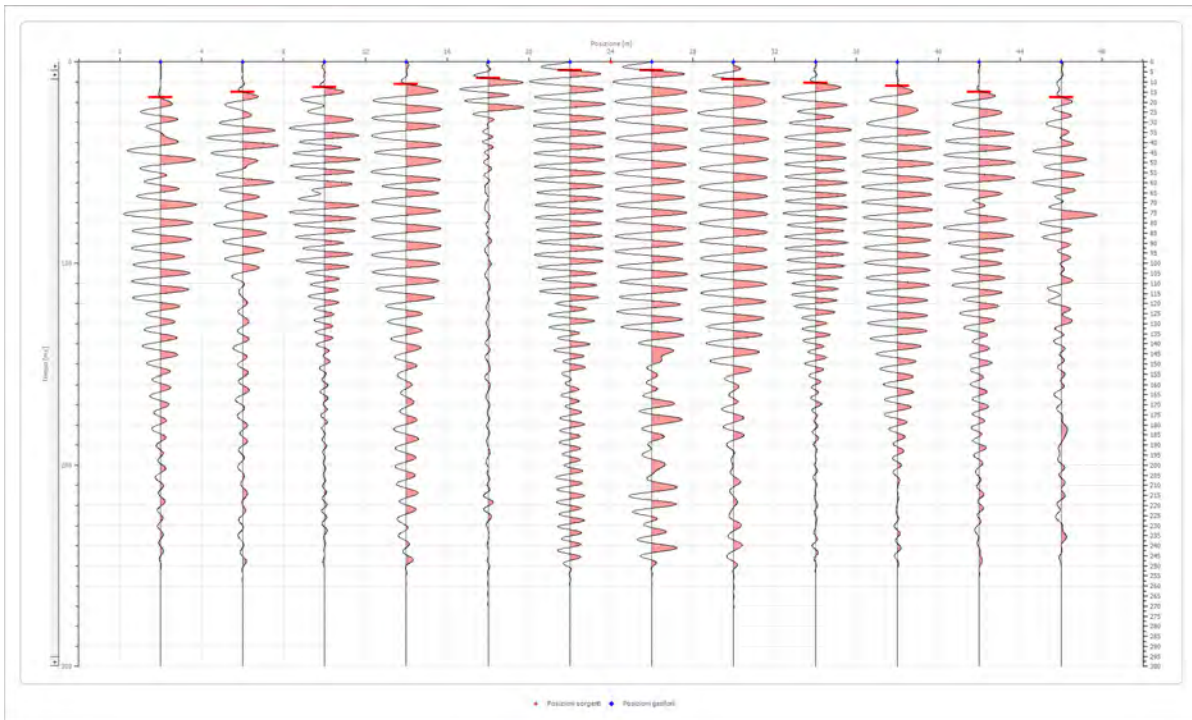


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	7.0457
6.0	8.5290
10.0	11.8665
14.0	13.7206
18.0	14.8331
22.0	17.0581
26.0	20.0000
30.0	21.1372
34.0	22.2497
38.0	23.7330
42.0	26.6250
46.0	28.6250

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

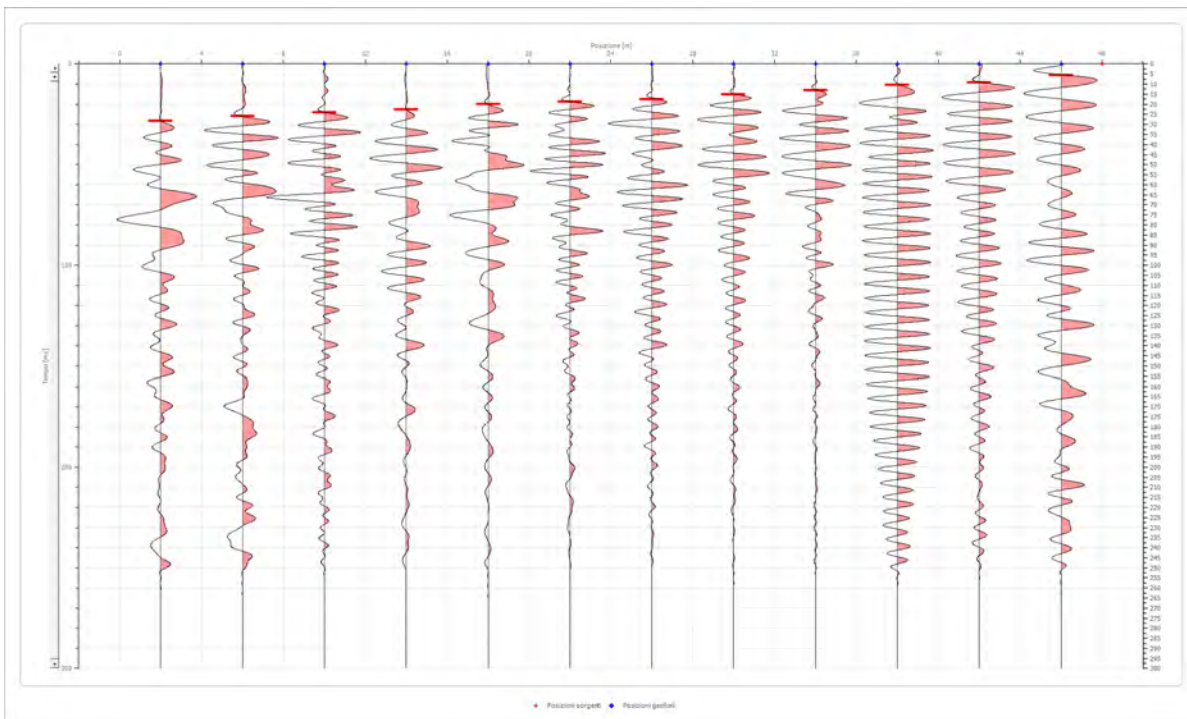


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	17.4289
6.0	14.8331
10.0	12.6082
14.0	11.1248
18.0	8.1582
22.0	4.0791
26.0	4.0791
30.0	8.5290
34.0	10.3832
38.0	11.8665
42.0	14.8331
46.0	17.4289

Battuta 3

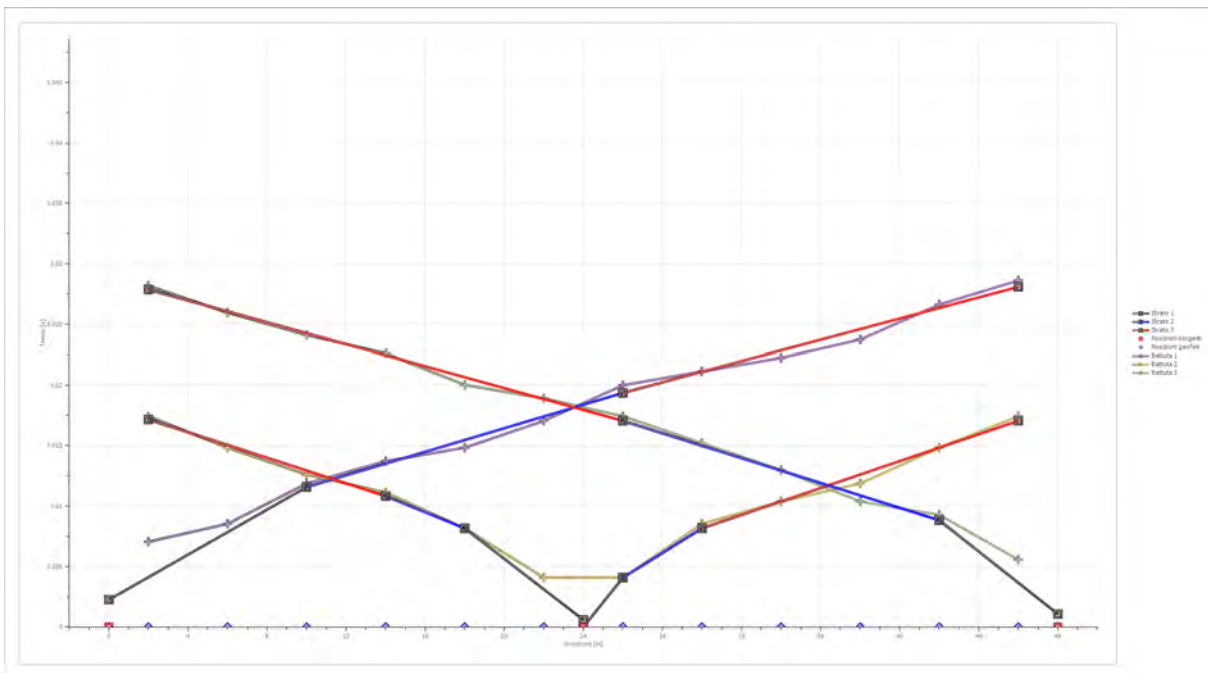
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

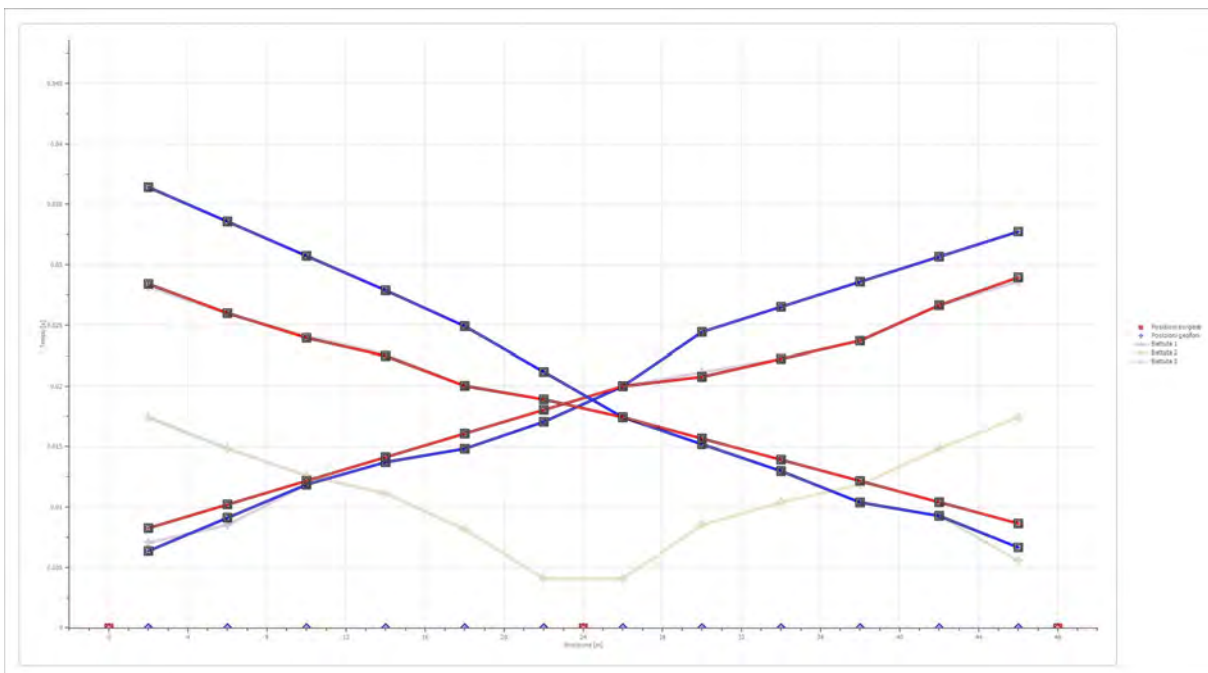


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	28.1829
6.0	25.9580
10.0	24.1038
14.0	22.6205
18.0	20.0247
22.0	18.9122
26.0	17.4289
30.0	15.2040
34.0	12.9790
38.0	10.3832
42.0	9.2707
46.0	5.5624

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

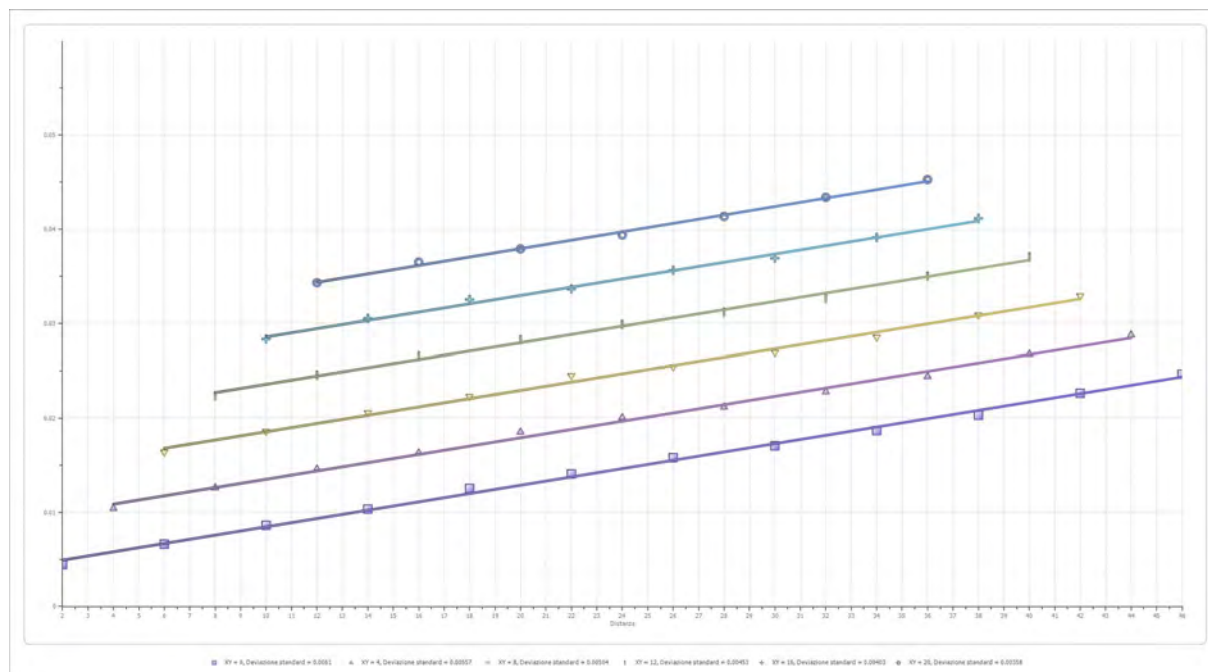
XY: 0

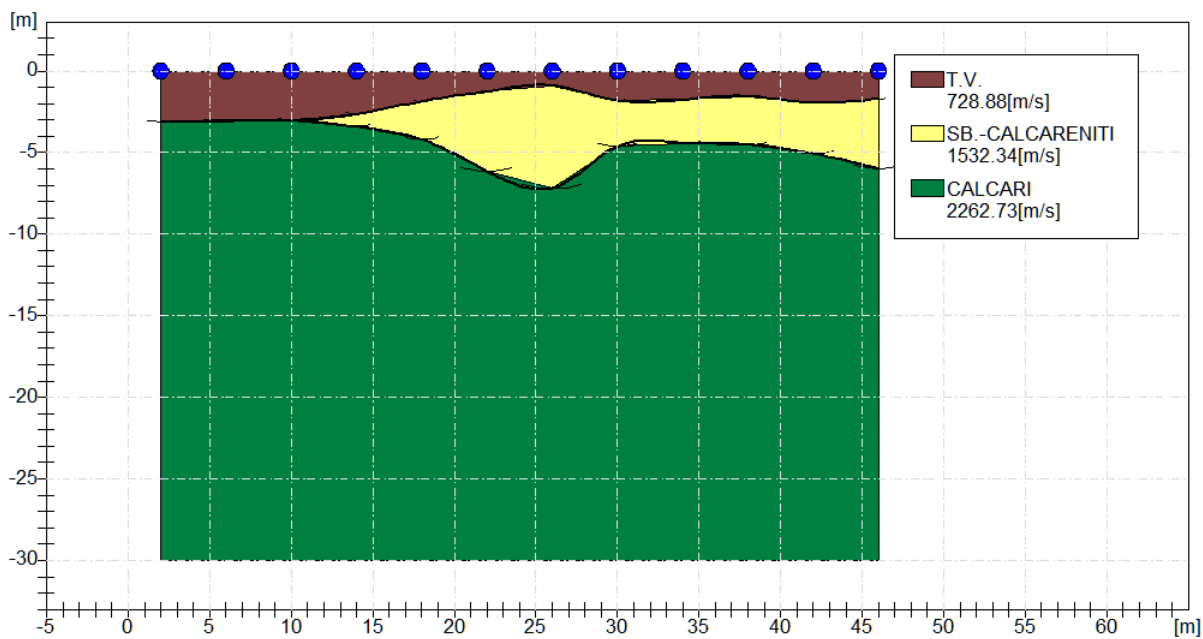
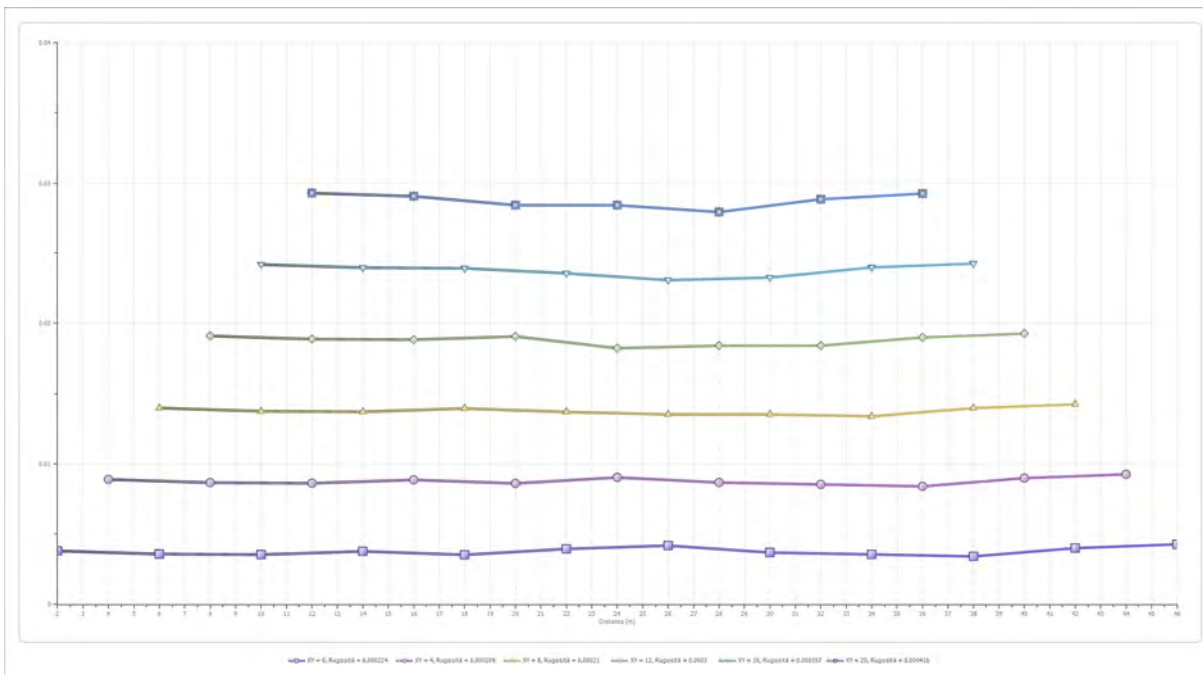
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	3.1	3.1	--
G= 6.0 [m]	3.1	3.1	--
G= 10.0 [m]	3.0	3.0	--
G= 14.0 [m]	2.6	3.4	--
G= 18.0 [m]	1.9	4.2	--
G= 22.0 [m]	1.2	6.1	--
G= 26.0 [m]	0.9	7.2	--
G= 30.0 [m]	1.8	4.6	--
G= 34.0 [m]	1.8	4.4	--
G= 38.0 [m]	1.5	4.5	--
G= 42.0 [m]	1.9	5.0	--
G= 46.0 [m]	1.7	6.0	--
Velocità [m/sec]	728.9	1532.3	2262.7
Descrizione	T.V.	SB.-CALCARENITI	CALCARI

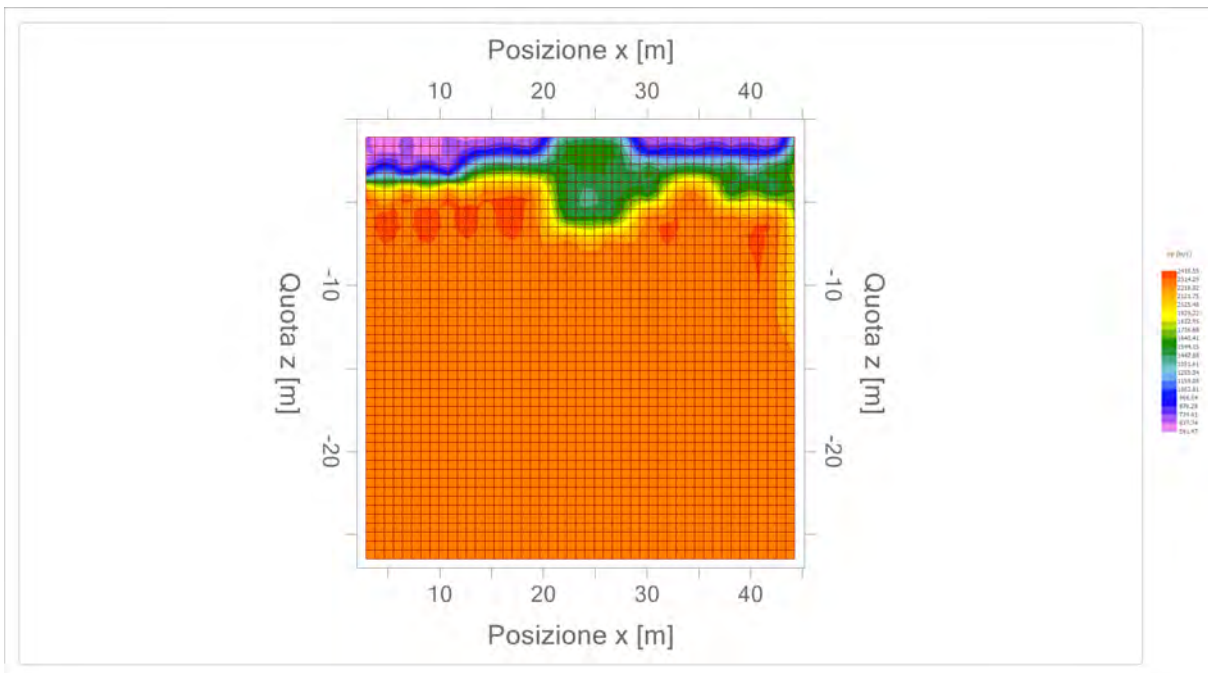
Altri parametri geotecnici

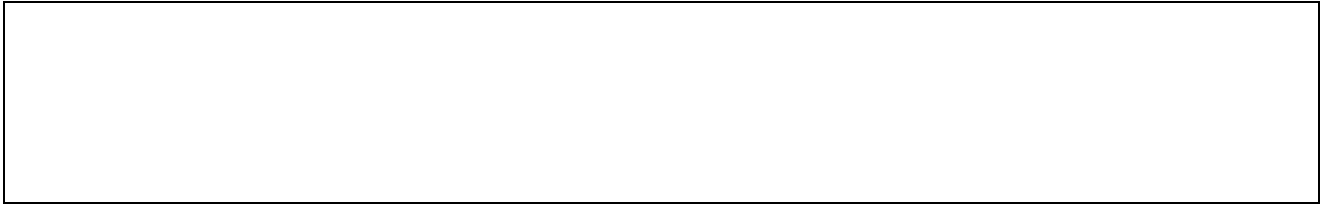
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.38	0.35	0.30
Densità [kg/m³]	1700.00	1900.00	2000.00
Vp [m/s]	728.88	1532.34	2262.73
Vs [m/s]	320.66	736.11	1209.48
G0 [MPa]	174.80	1029.54	2925.69
Ed [Mpa]	903.15	4461.34	10239.93
M0 [MPa]	728.35	3431.80	7314.24
Ey [Mpa]	482.46	2779.76	7606.80

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;










Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

SIS - B2

	Data: luglio 2022
	Il committente AM-2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

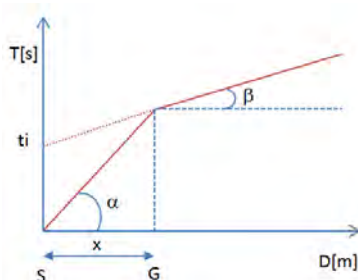
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

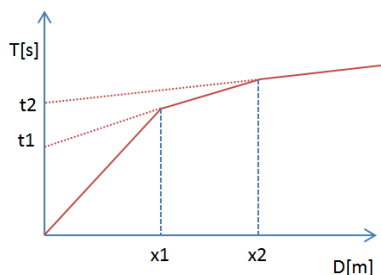
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

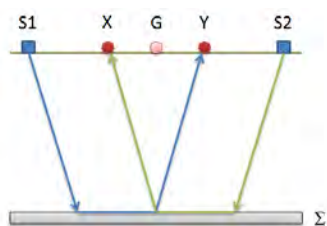


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

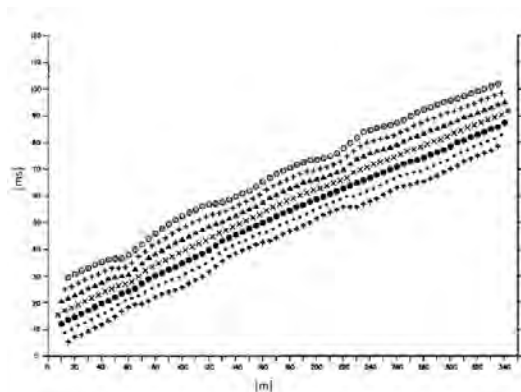
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

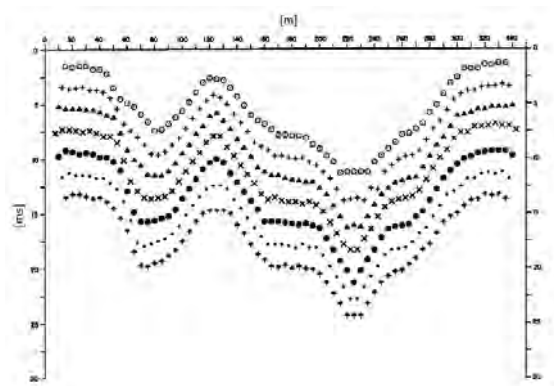
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	SIS - B2
Committente	AM-2 ENERGY SRL
Zona	APRICENA
Operatore	GEOL. N. NAZARIO
Responsabile	GEOL. N. NAZARIO
Data	01/06/2021
Via	SP 37
Latitudine	41,805375[°]
Longitudine	15,409506[°]
Altitudine	122.5[m]

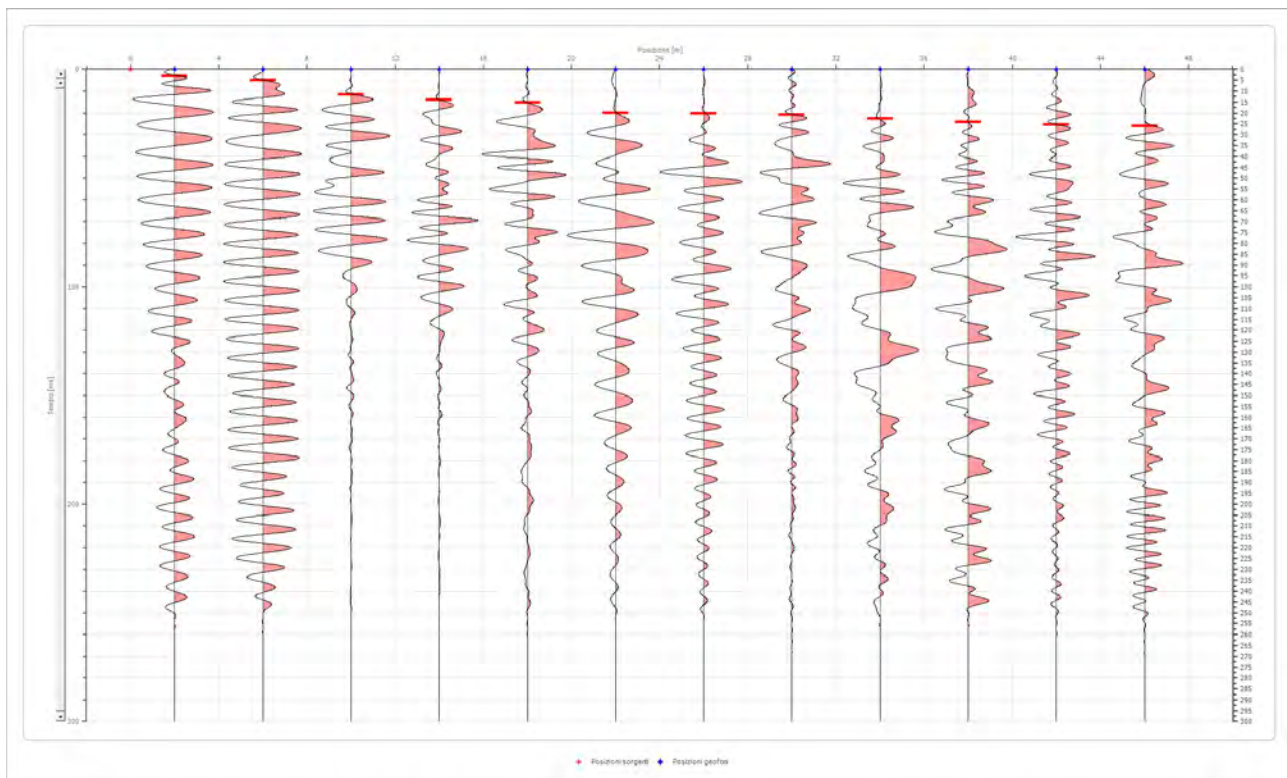
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

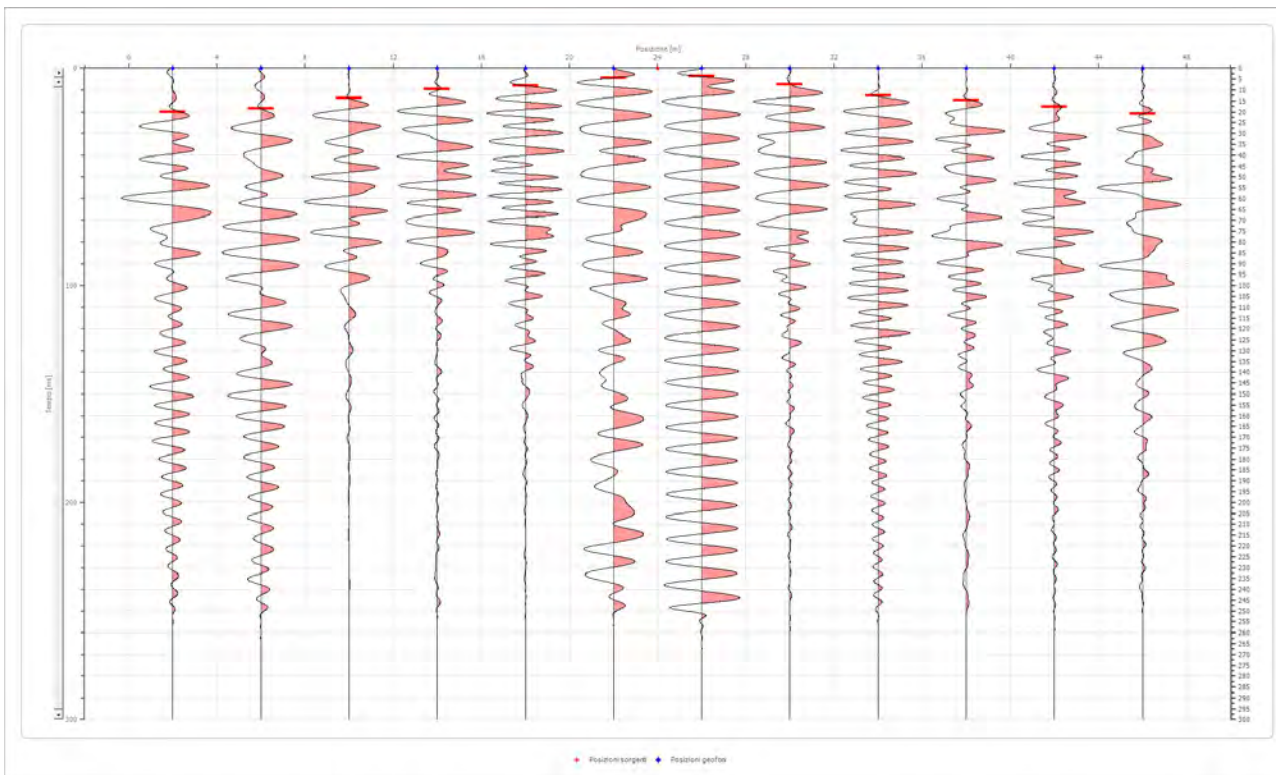


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	2.9666
6.0	5.1916
10.0	11.4957
14.0	14.0915
18.0	15.2040
22.0	20.0247
26.0	20.3956
30.0	20.7664
34.0	22.6205
38.0	24.1038
42.0	25.2163
46.0	25.9580

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

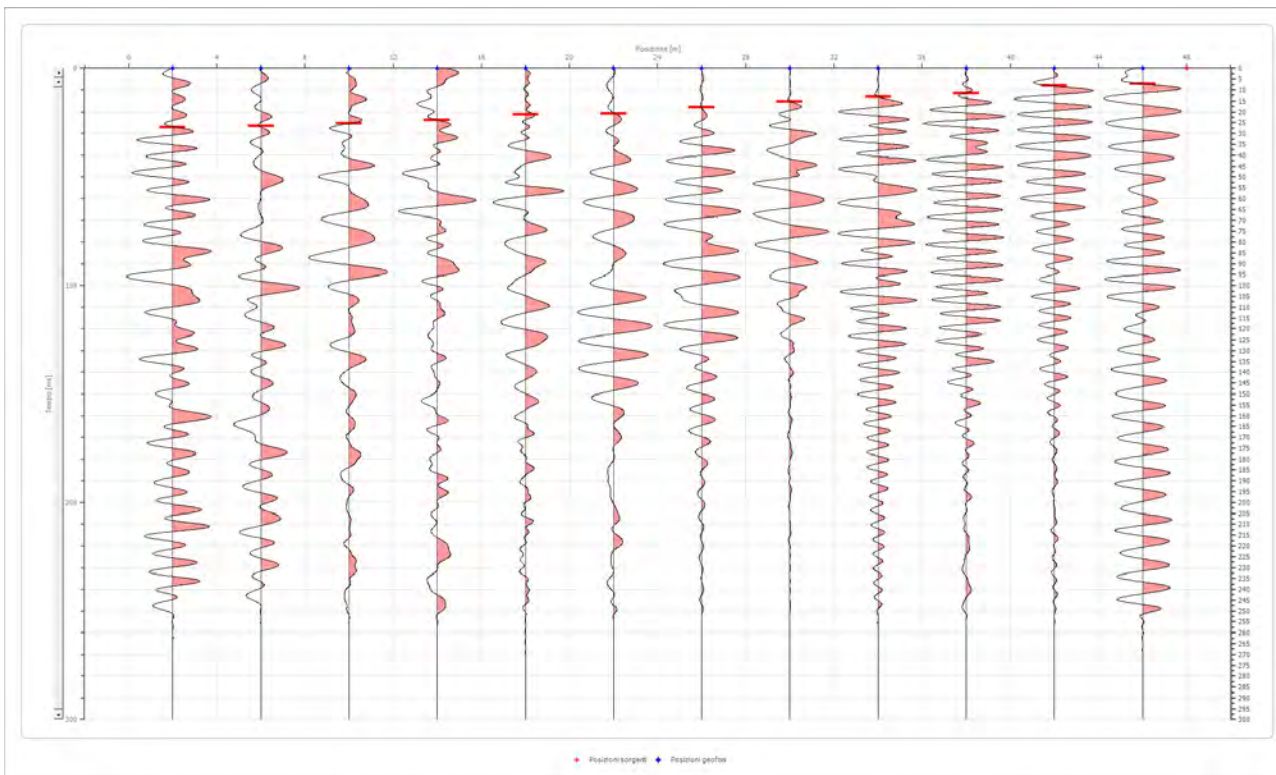


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	20.0000
6.0	18.5414
10.0	13.7206
14.0	9.6415
18.0	8.1582
22.0	4.4499
26.0	3.7083
30.0	7.4166
34.0	12.6082
38.0	14.4623
42.0	17.4289
46.0	20.7664

Battuta 3

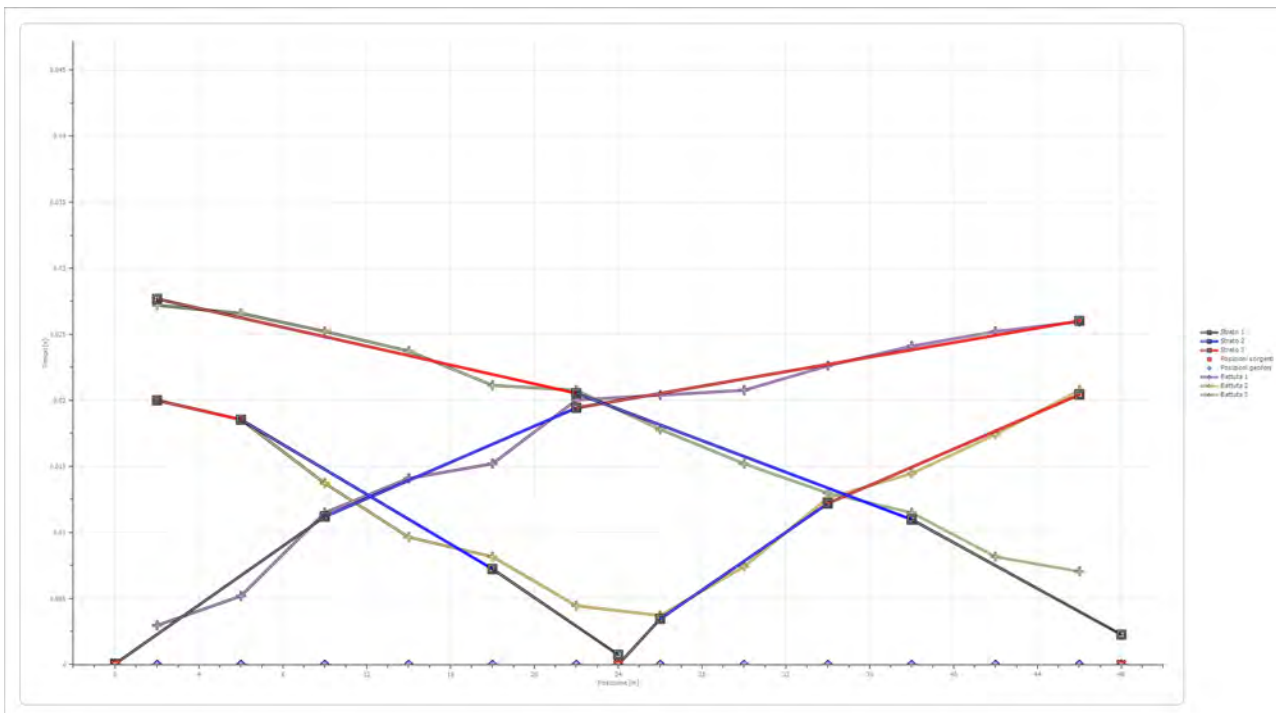
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

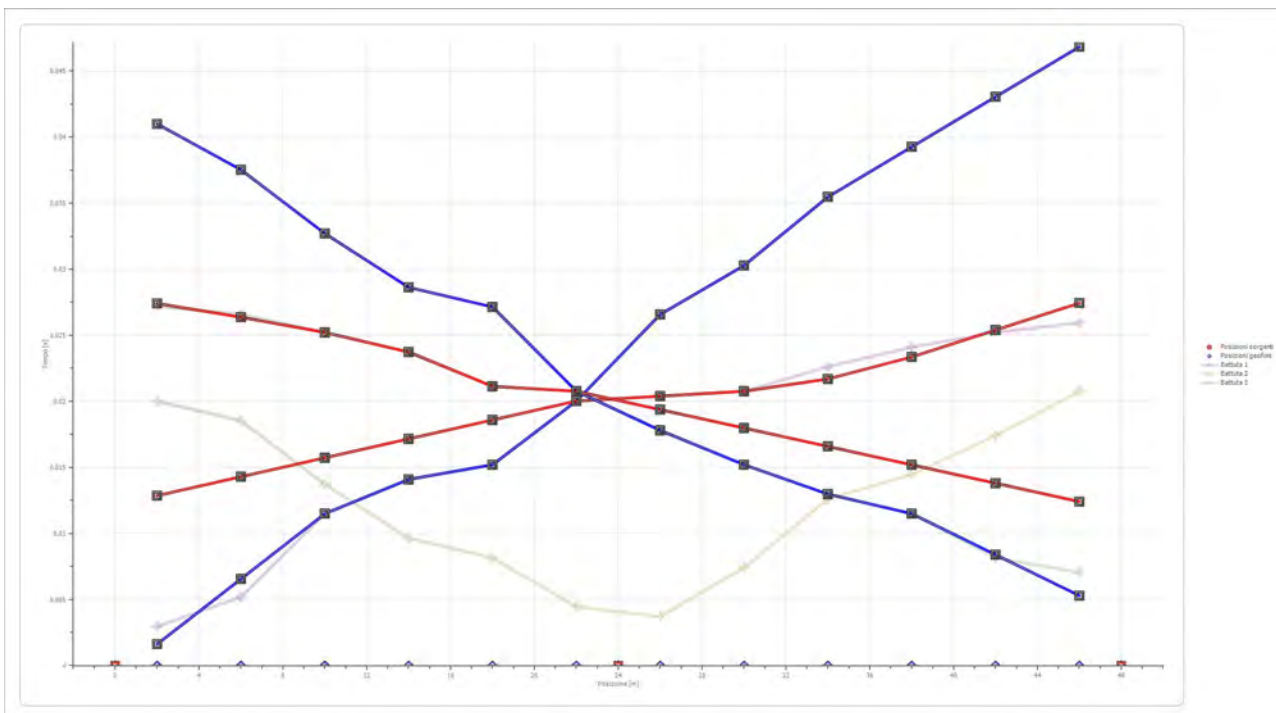


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	27.2009
6.0	26.5827
10.0	25.2163
14.0	23.7330
18.0	21.1372
22.0	20.7664
26.0	17.7998
30.0	15.2040
34.0	12.9790
38.0	11.4957
42.0	8.1582
46.0	7.0457

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

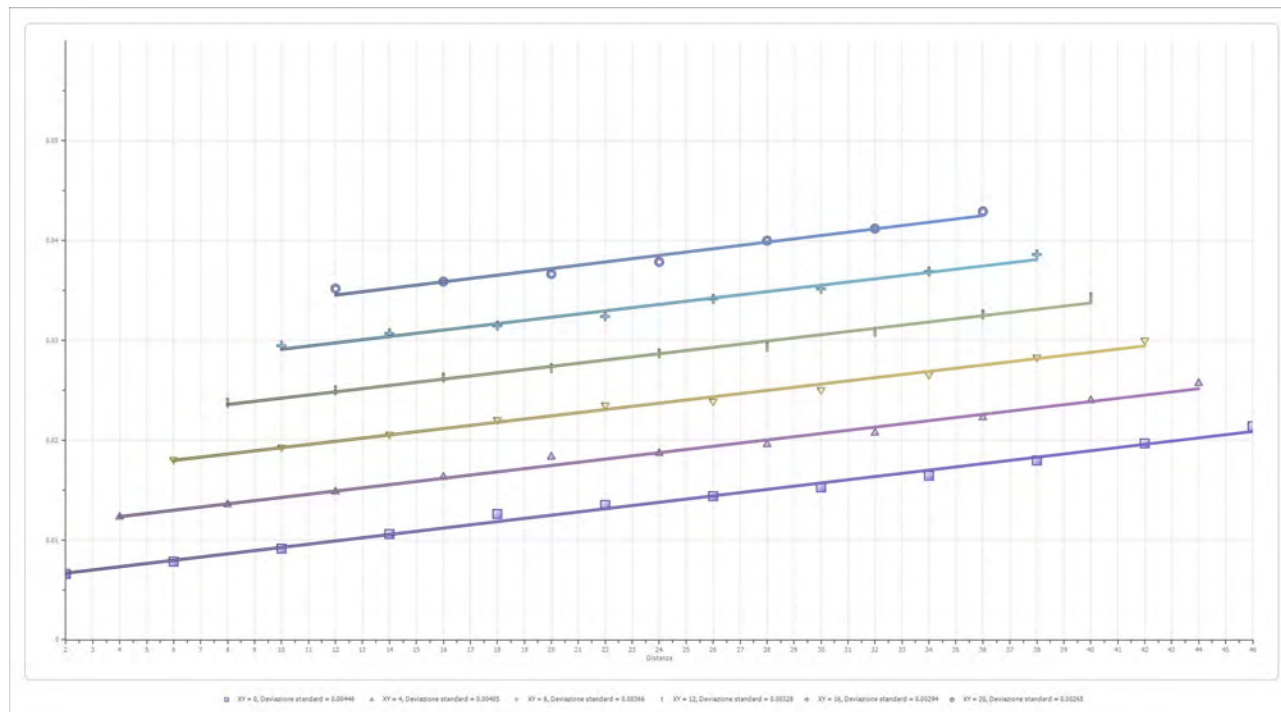
XY: 0

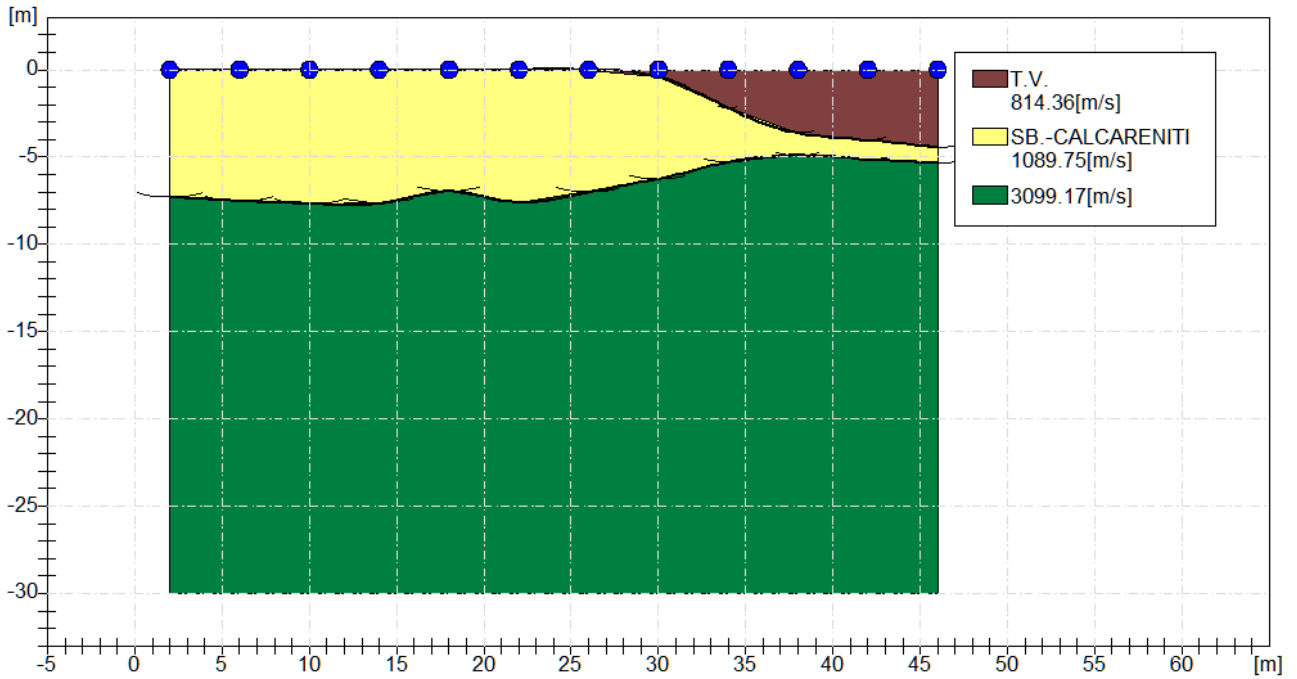
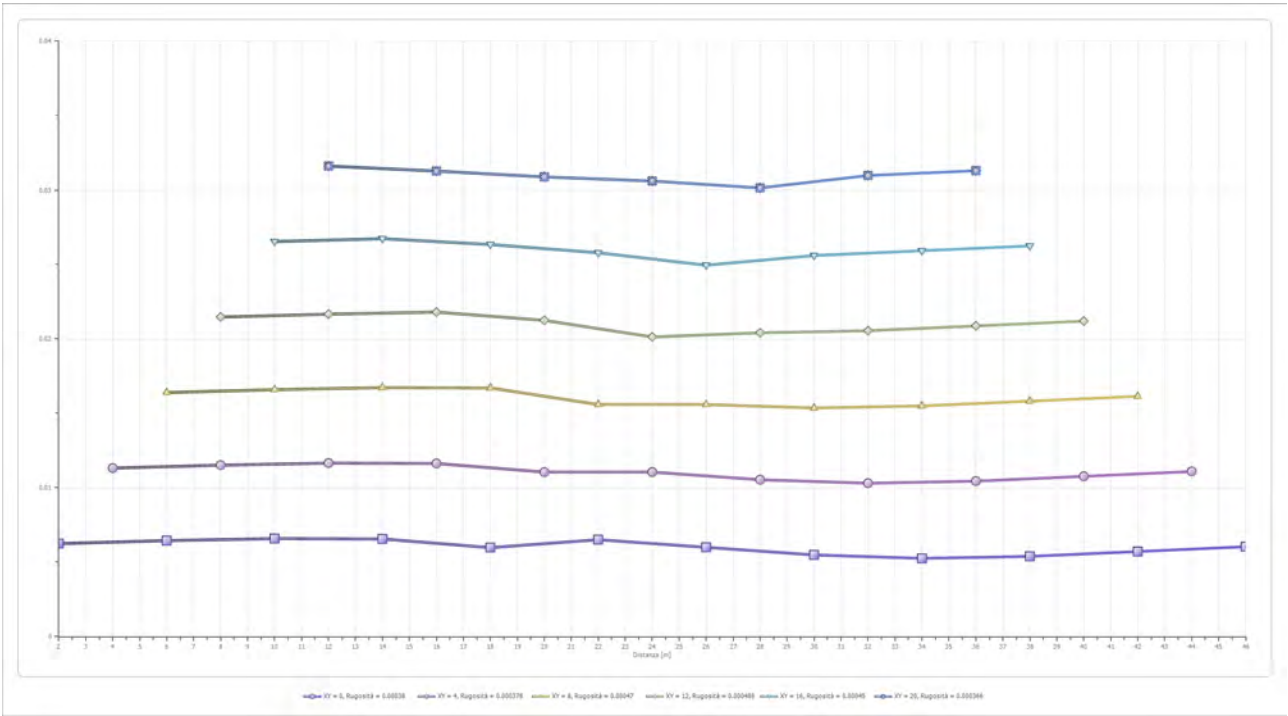
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	0.0	7.3	--
G= 6.0 [m]	0.0	7.5	--
G= 10.0 [m]	0.0	7.7	--
G= 14.0 [m]	0.0	7.6	--
G= 18.0 [m]	0.0	7.0	--
G= 22.0 [m]	0.0	7.6	--
G= 26.0 [m]	0.0	7.0	--
G= 30.0 [m]	0.4	6.3	--
G= 34.0 [m]	2.2	5.3	--
G= 38.0 [m]	3.6	4.9	--
G= 42.0 [m]	4.0	5.1	--
G= 46.0 [m]	4.5	5.4	--
Velocità [m/sec]	814.4	1089.8	3099.2
Descrizione	T.V. SB.-CALCARENITI		

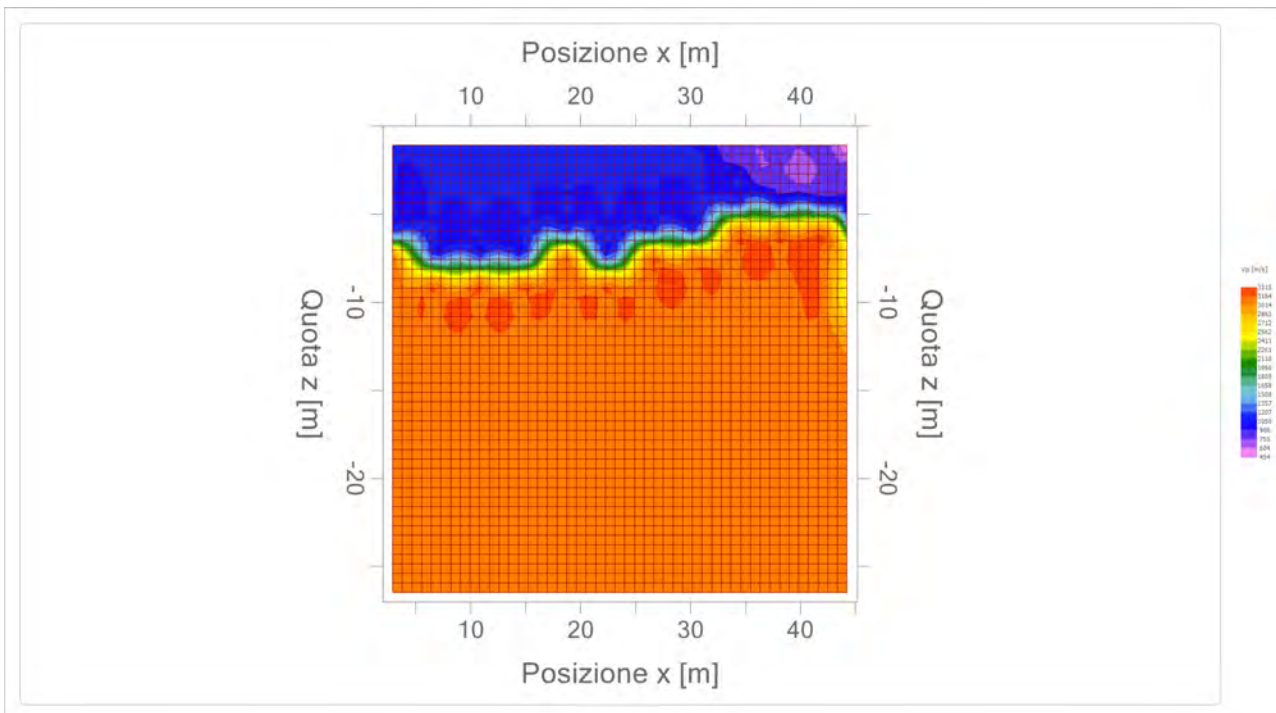
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.35	0.30	0.25
Densità [kg/m³]	1700.00	1900.00	2200.00
Vp [m/s]	814.36	1089.75	3099.17
Vs [m/s]	391.20	582.50	1789.31
G0 [MPa]	260.17	644.68	7043.55
Ed [Mpa]	1127.40	2256.37	21130.66
M0 [Mpa]	867.23	1611.69	14087.11
Ey [Mpa]	702.45	1676.16	17608.89

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;







--

Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

SIS-D1

	Data: luglio 2022
	Il committente AM-2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

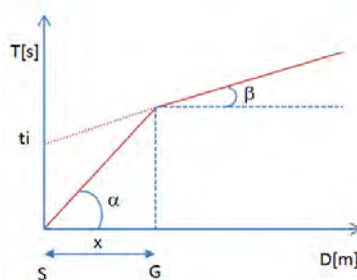
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

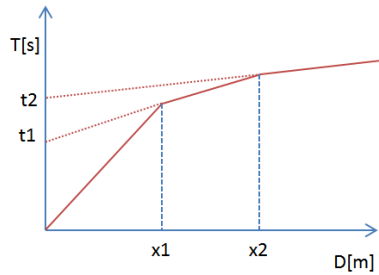
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

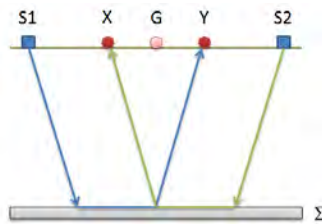


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

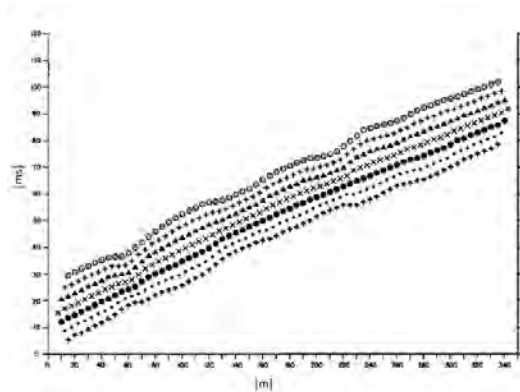
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

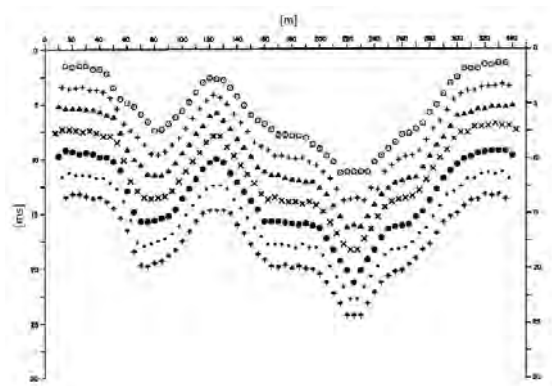
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	SIS-D1
Committente	AM 2 ENERGY SRL
Zona	ASI APRICENA
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	16/06/2021
Via	Z.I. APRICENA
Latitudine	15,4283605°E[°]
Longitudine	41,7646069°N[°]
Altitudine	49.5[m]

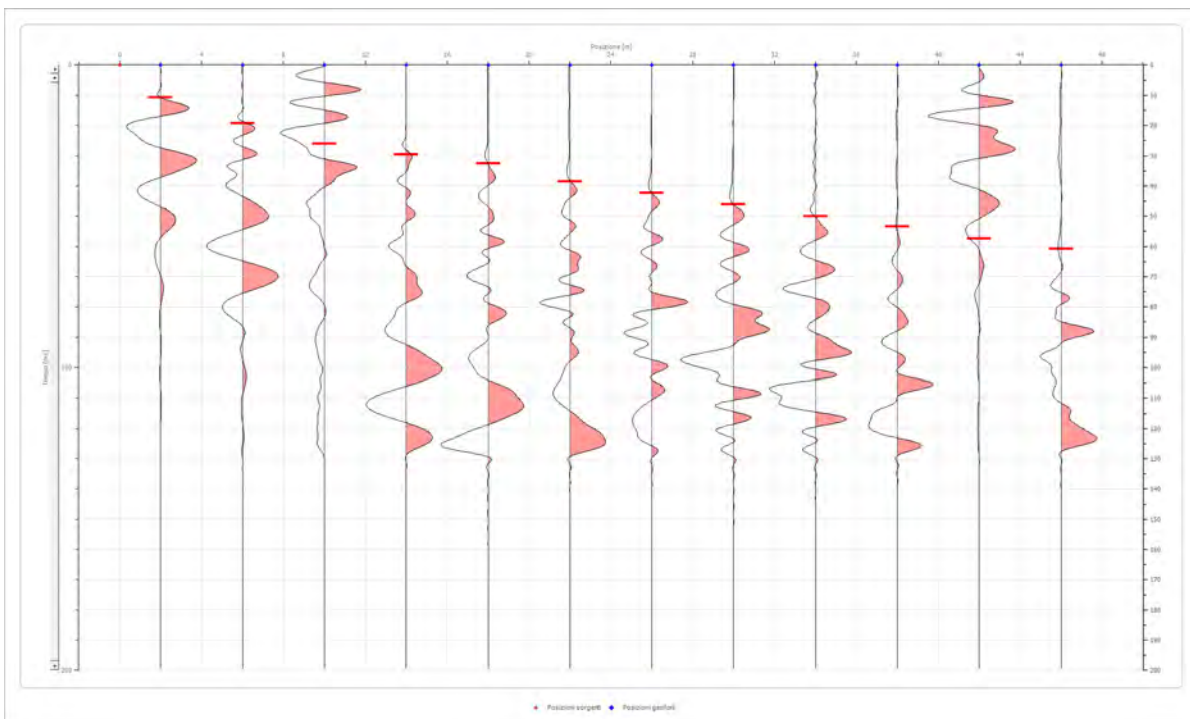
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

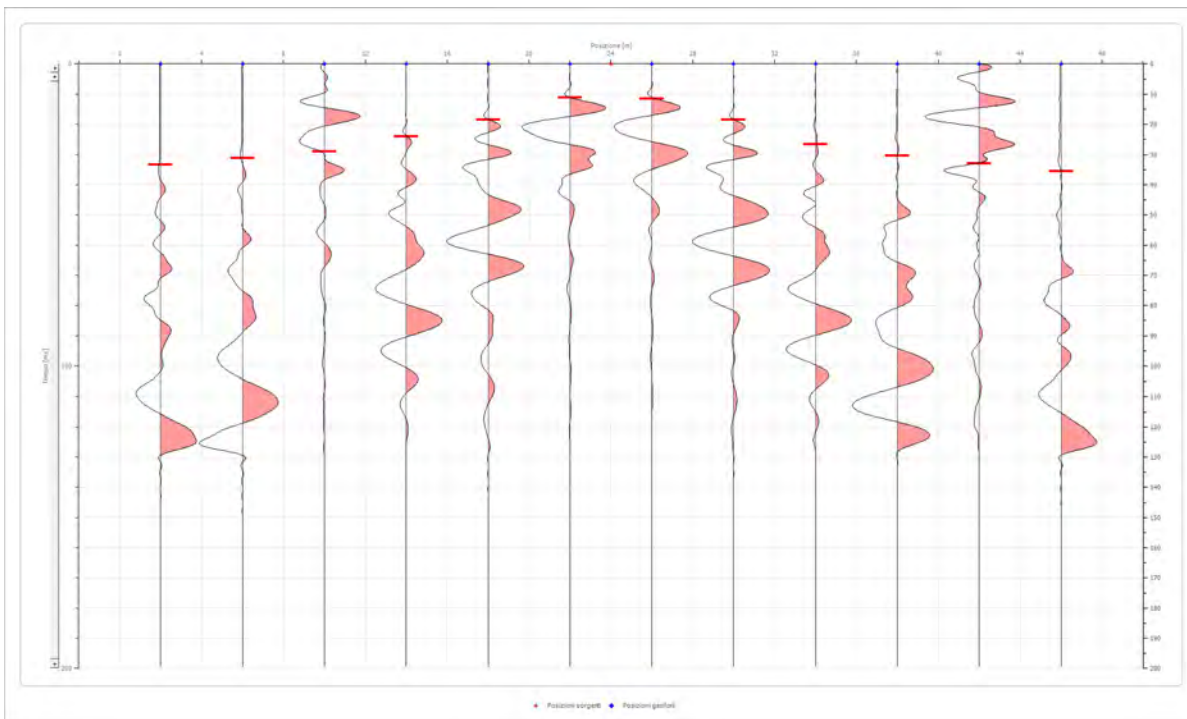


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	10.7540
6.0	19.2651
10.0	25.9580
14.0	29.6663
18.0	32.6329
22.0	38.5661
26.0	42.2744
30.0	45.9827
34.0	50.0618
38.0	53.3993
42.0	57.4784
46.0	60.8158

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

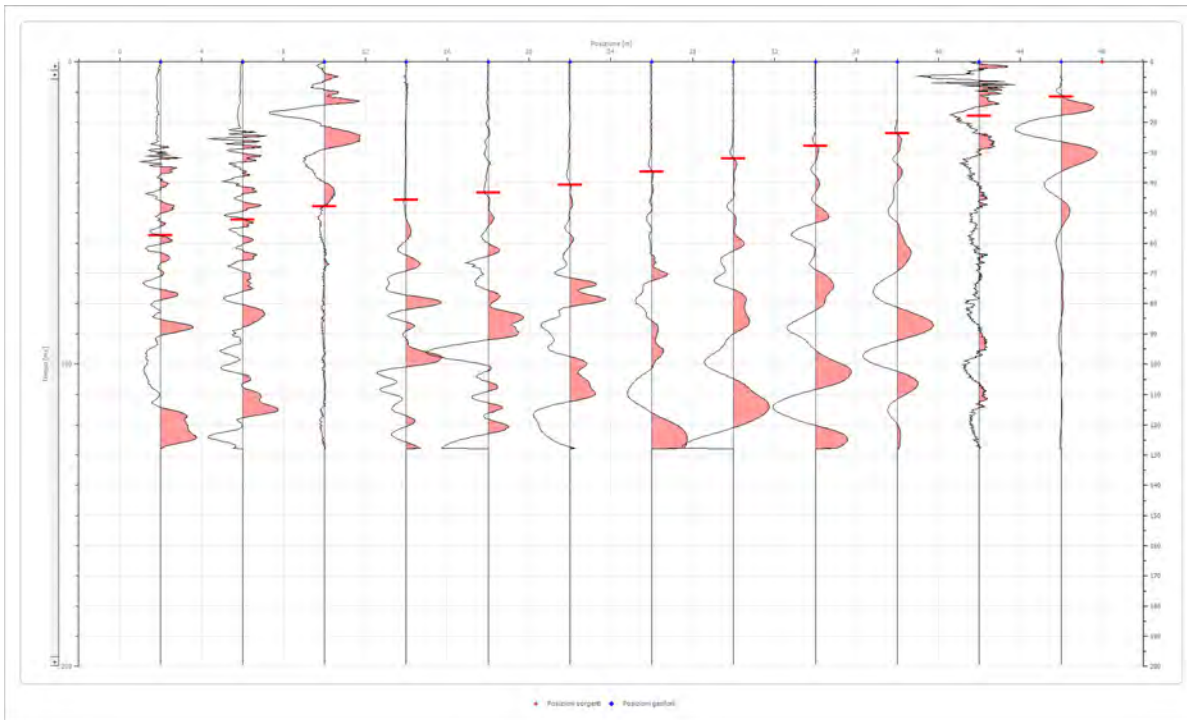
24 [m]
 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	33.3745
6.0	31.1496
10.0	28.9970
14.0	24.1038
18.0	18.4707
22.0	11.1248
26.0	11.4957
30.0	18.4707
34.0	26.6996
38.0	30.4079
42.0	32.9692
46.0	35.5995

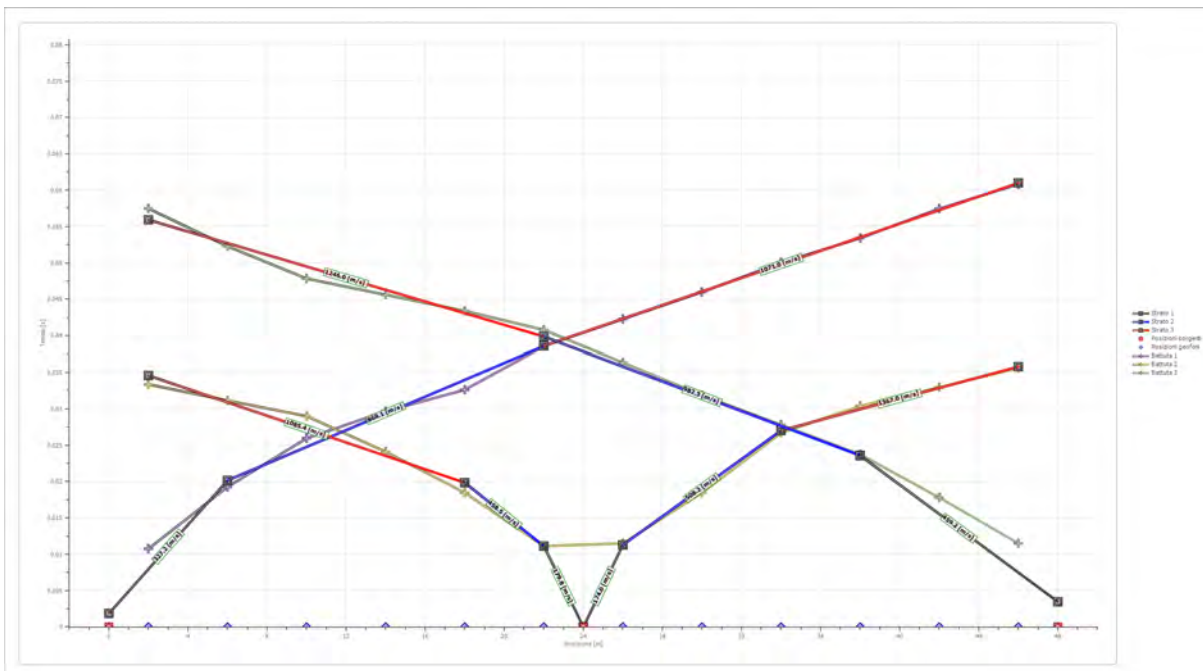
Battuta 3

Posizione sorgente X 48 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

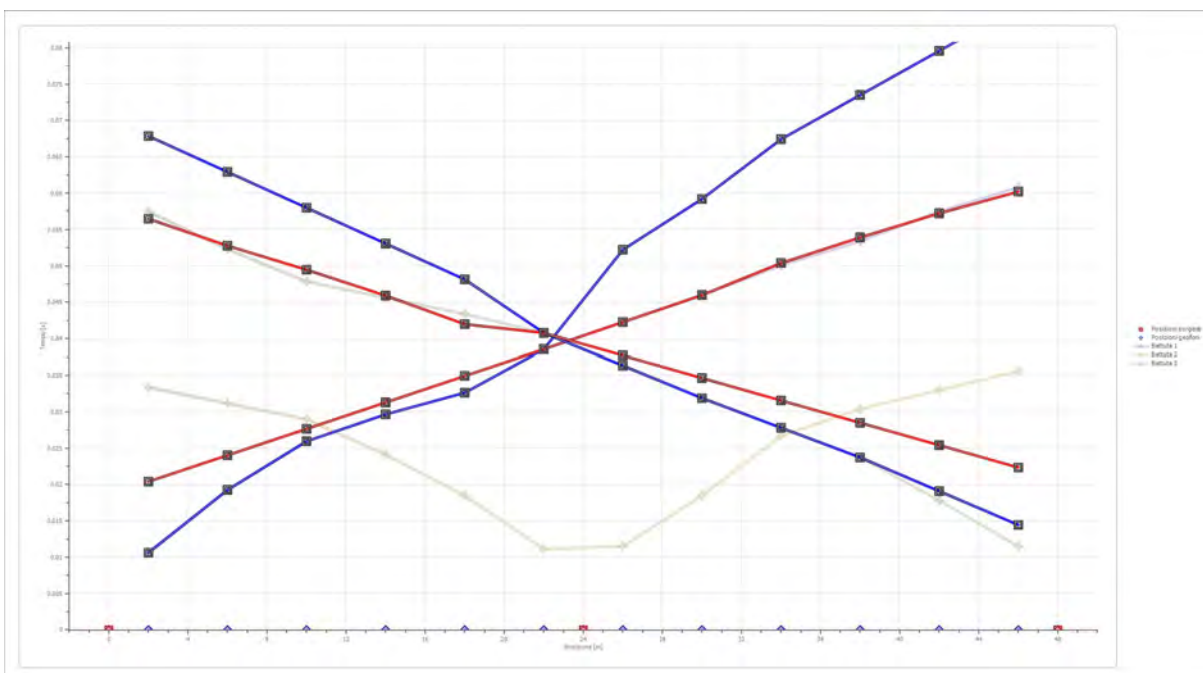


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	57.4784
6.0	52.2868
10.0	47.8368
14.0	45.6119
18.0	43.3869
22.0	40.7911
26.0	36.3412
30.0	31.8912
34.0	27.8121
38.0	23.7330
42.0	17.7998
46.0	11.4957

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

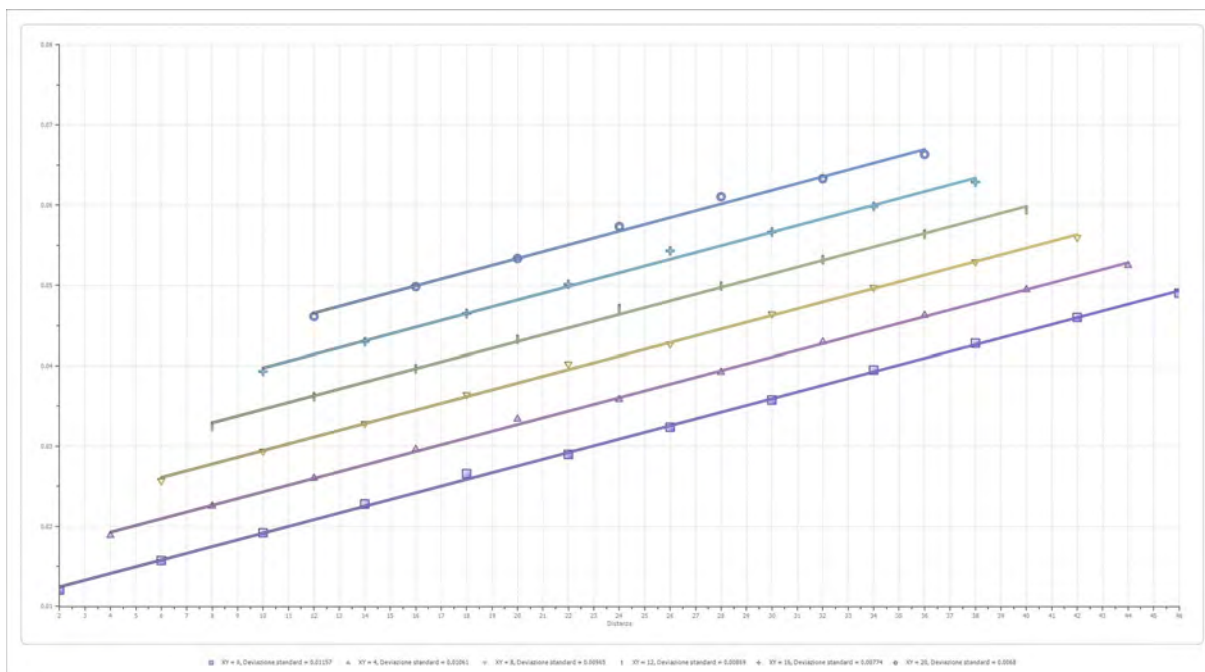
XY: 0

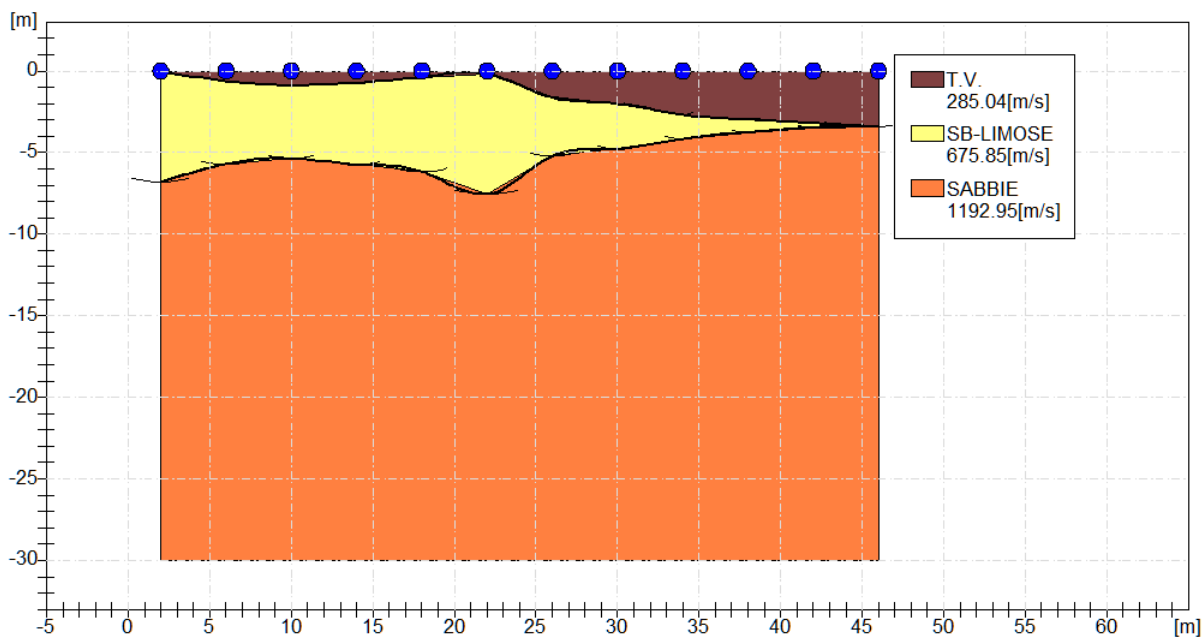
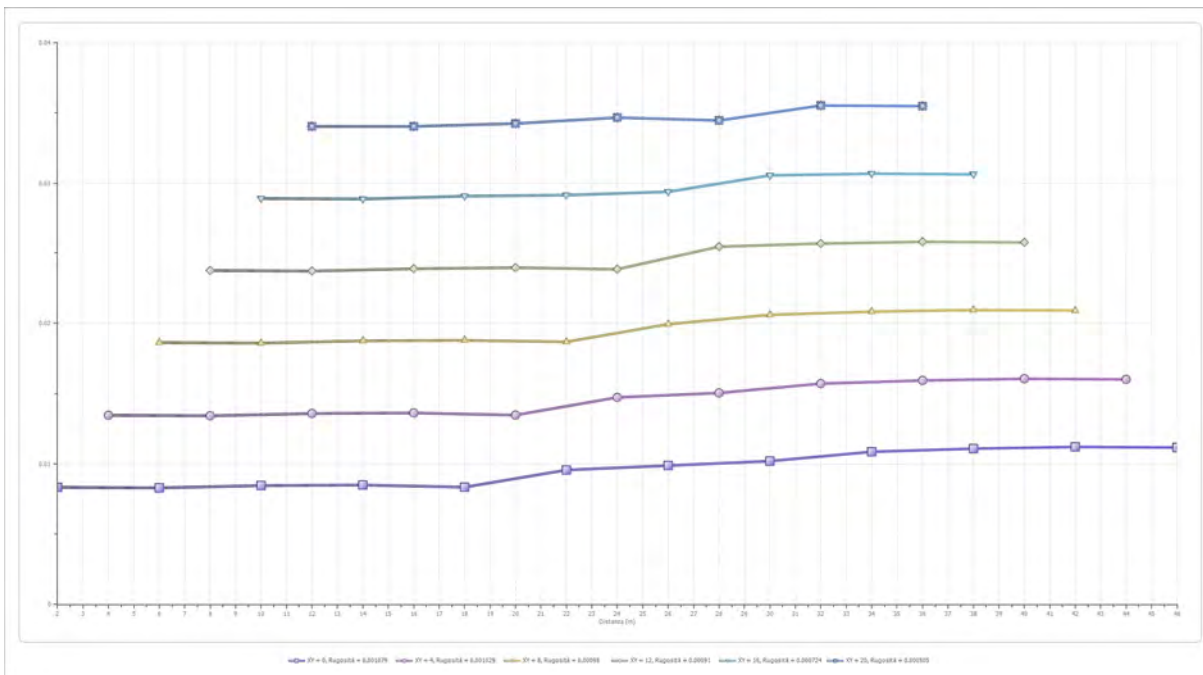
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	0.0	6.8	--
G= 6.0 [m]	0.6	5.7	--
G= 10.0 [m]	0.9	5.4	--
G= 14.0 [m]	0.7	5.7	--
G= 18.0 [m]	0.4	6.2	--
G= 22.0 [m]	0.2	7.6	--
G= 26.0 [m]	1.6	5.2	--
G= 30.0 [m]	2.0	4.8	--
G= 34.0 [m]	2.7	4.2	--
G= 38.0 [m]	3.0	3.8	--
G= 42.0 [m]	3.2	3.5	--
G= 46.0 [m]	3.4	3.4	--
Velocità [m/sec]	285.0	675.8	1193.0
Descrizione	T.V.	SB-LIMOSE	SABBIE

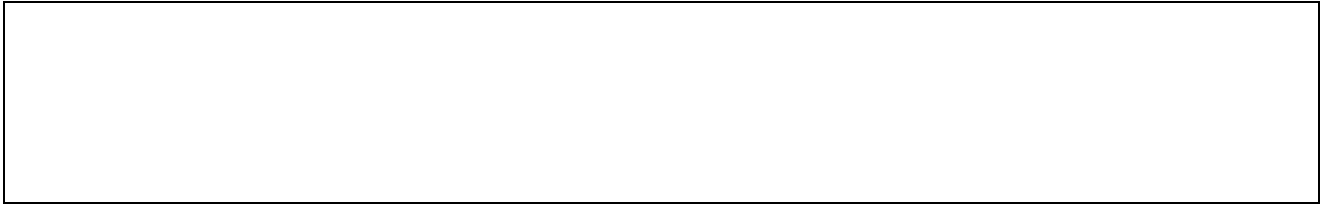
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.48	0.44	0.38
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	285.04	675.85	1192.95
Vs [m/s]	55.90	221.22	524.83
G0 [MPa]	5.31	88.09	523.35
Ed [Mpa]	138.12	822.19	2703.95
M0 [MPa]	132.81	734.10	2180.61
Ey [Mpa]	15.72	253.70	1444.43

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;







Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

SIS-D3

	Data: luglio 2022
	Il committente AM-2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

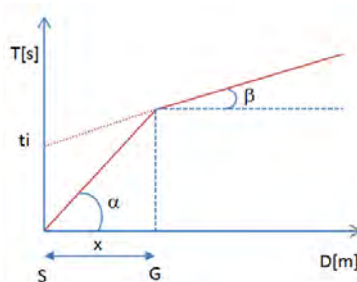
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

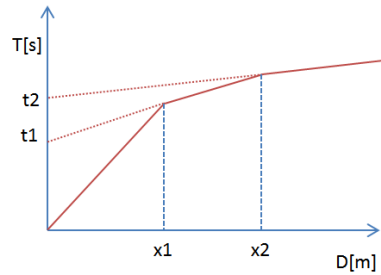
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

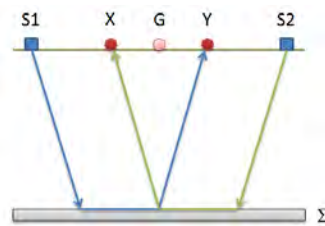


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

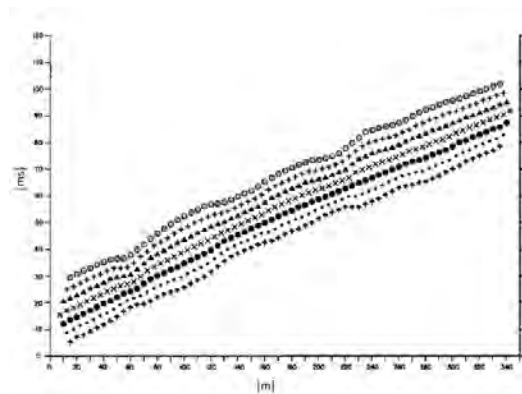
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

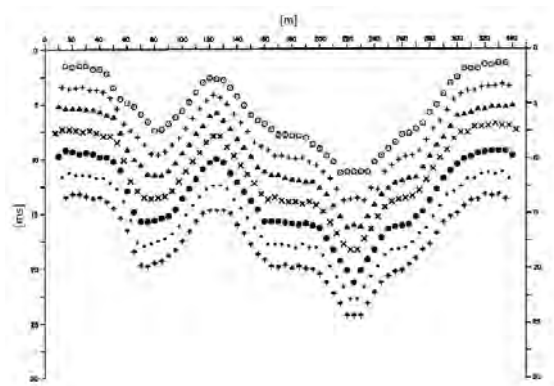
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	SIS-D3
Committente	AM 2 ENERGY SRL
Zona	ZONA ASI APRICENA
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	15/06/2021
Via	Z.I. APRICENA
Latitudine	15,4248392°E[°]
Longitudine	41,7620948°N[°]
Altitudine	49[m]

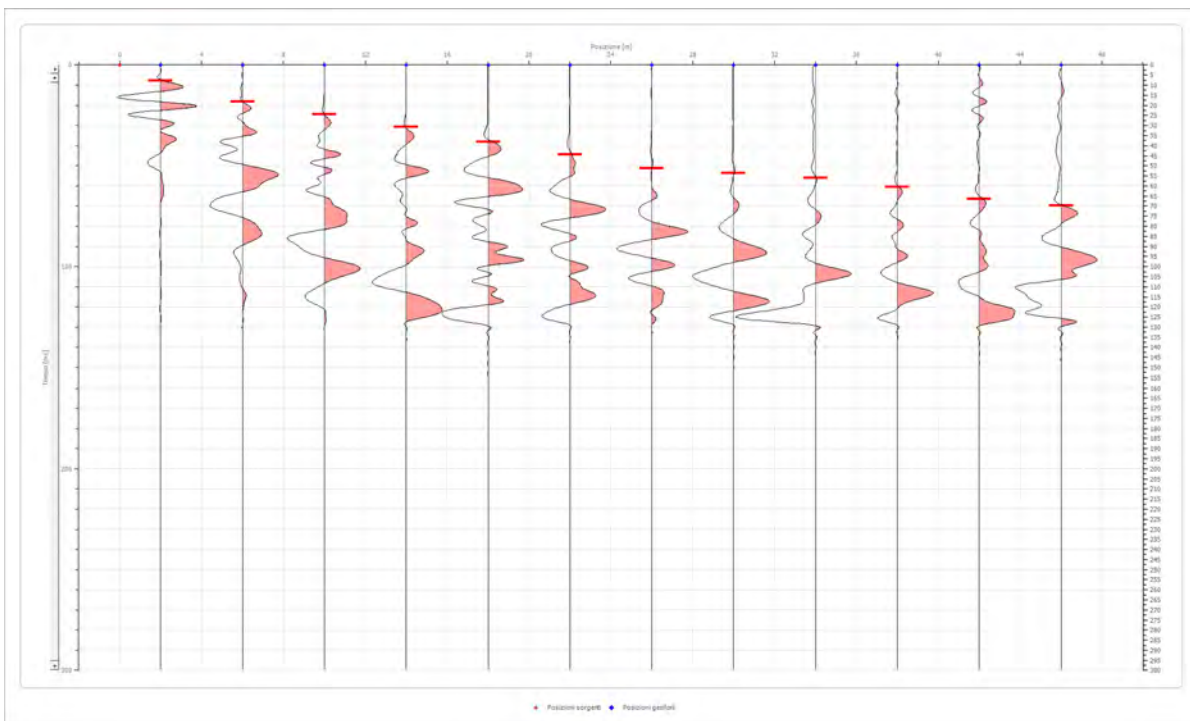
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

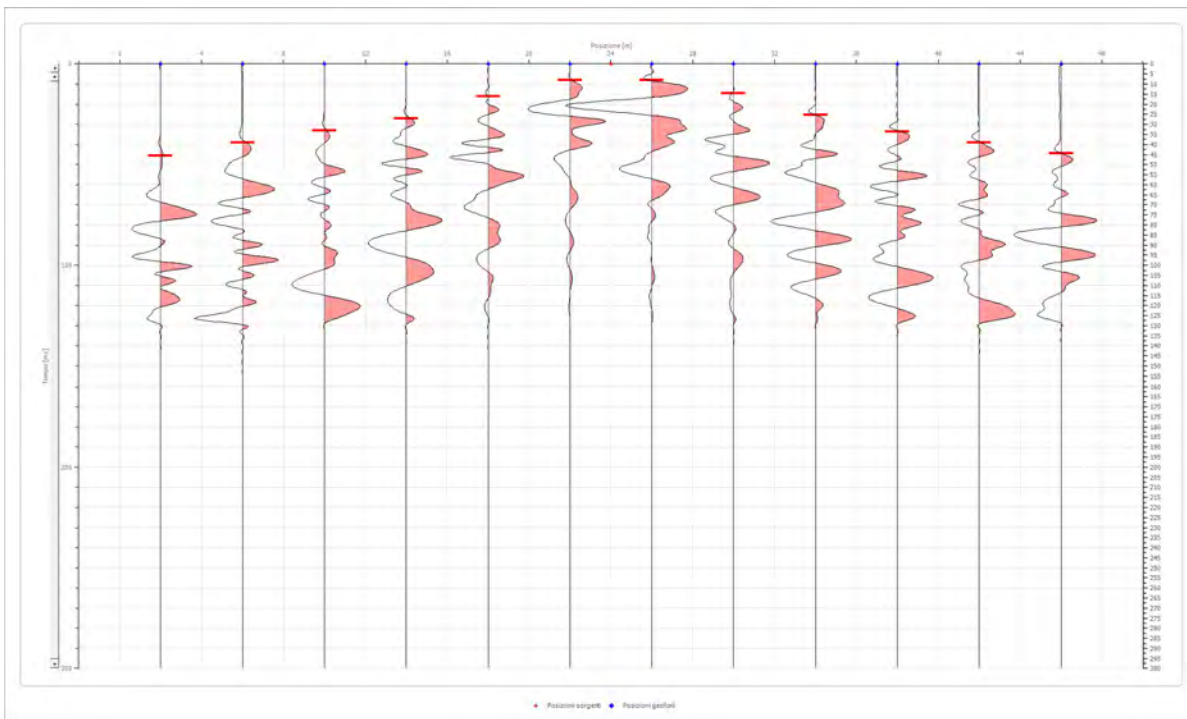


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	7.7874
6.0	18.1706
10.0	24.4747
14.0	30.7787
18.0	38.1953
22.0	44.2500
26.0	51.1743
30.0	53.7701
34.0	55.9951
38.0	60.4450
42.0	66.3782
46.0	69.7157

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

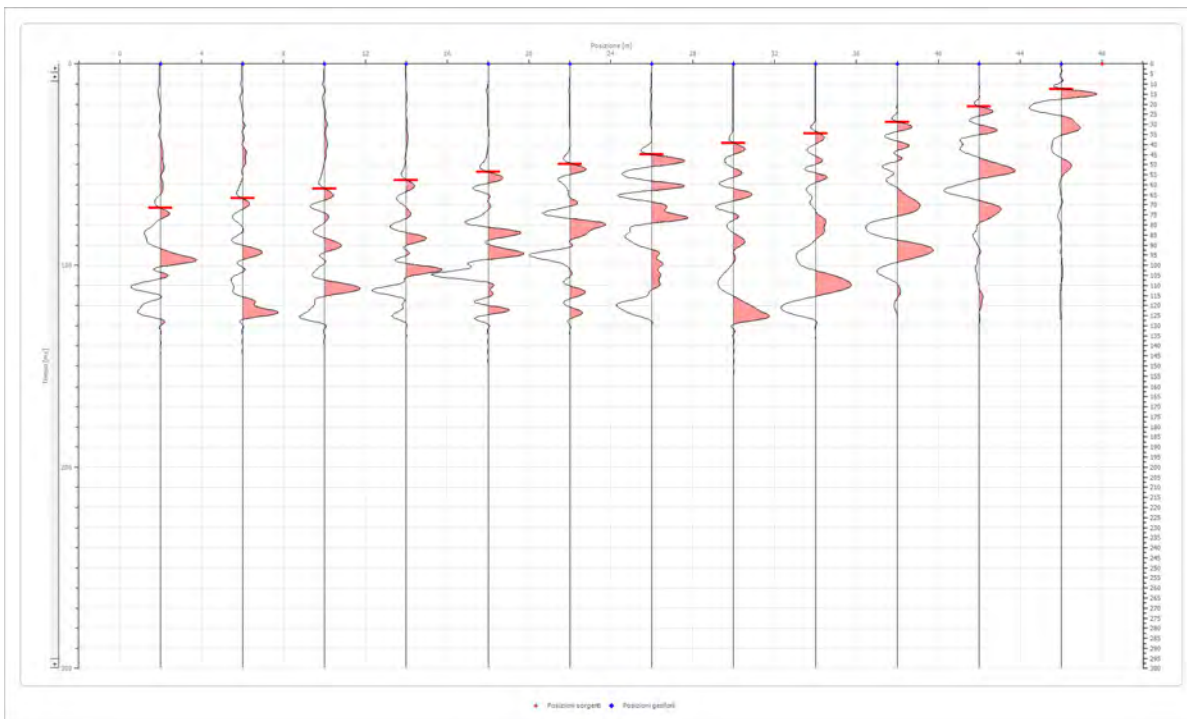
24 [m]
 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	45.6119
6.0	38.9370
10.0	33.0037
14.0	27.0705
18.0	15.9456
22.0	8.1582
26.0	8.1582
30.0	14.4623
34.0	25.2163
38.0	33.7454
42.0	38.9370
46.0	44.4994

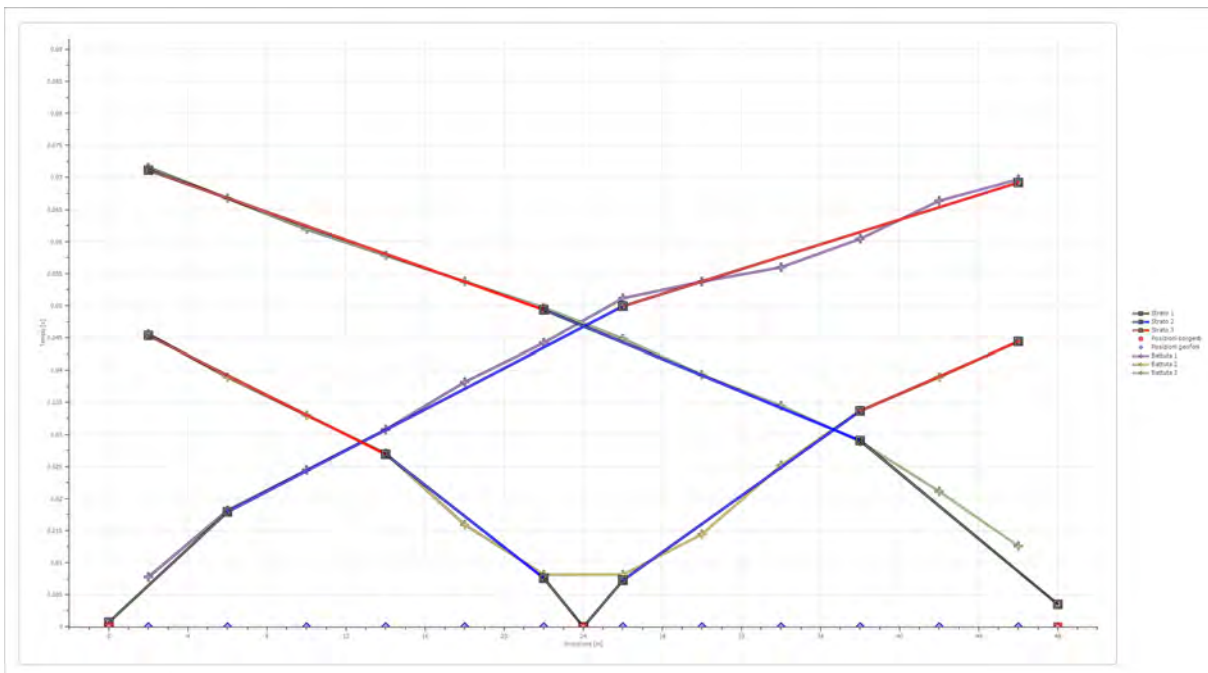
Battuta 3

Posizione sorgente X 48 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

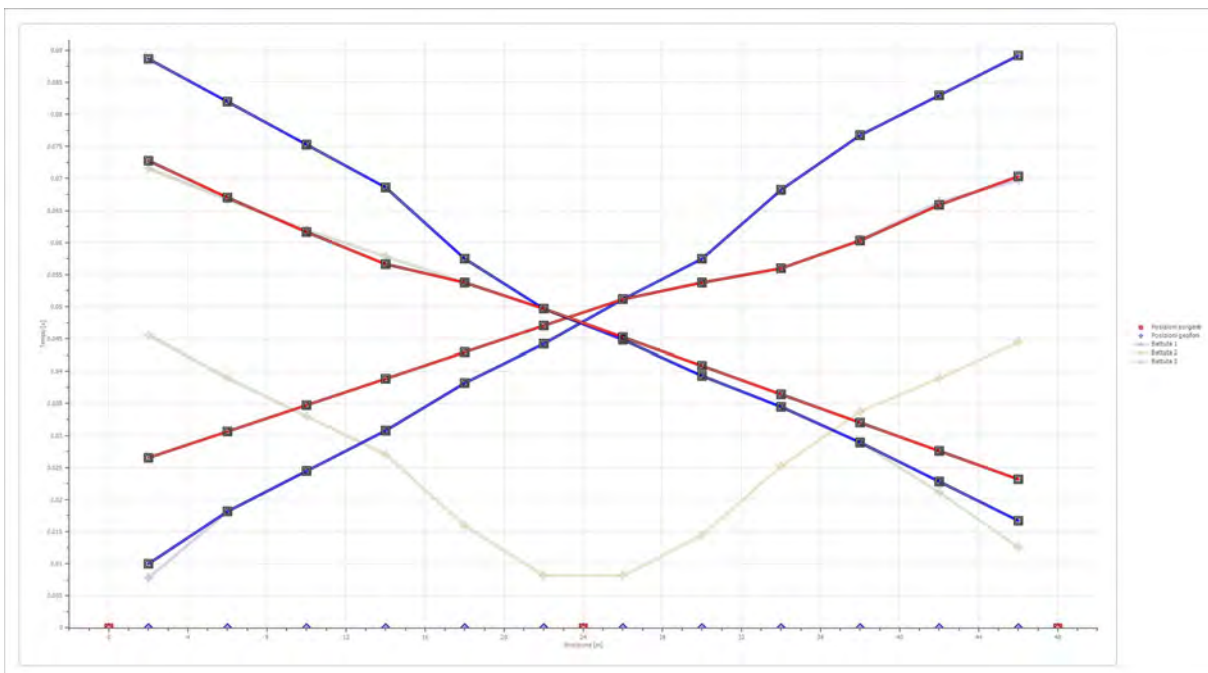


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	71.5698
6.0	66.7491
10.0	61.9283
14.0	57.8492
18.0	53.7701
22.0	49.6910
26.0	44.8702
30.0	39.3078
34.0	34.4870
38.0	28.9246
42.0	21.1372
46.0	12.6082

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

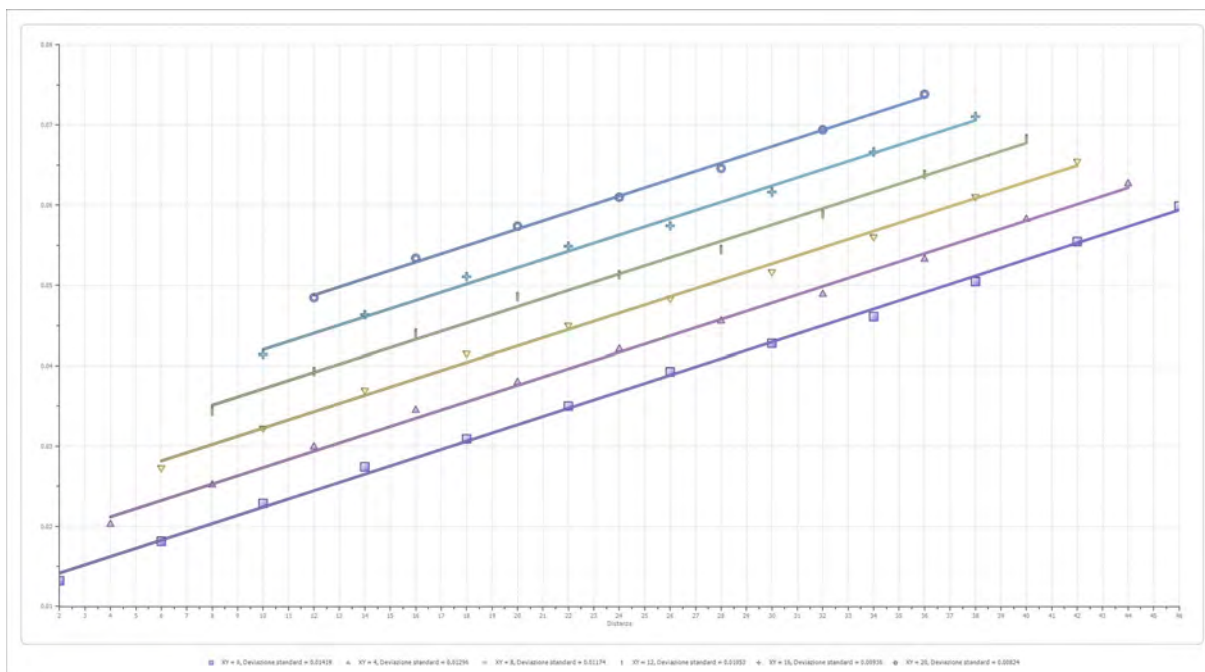
XY: 0

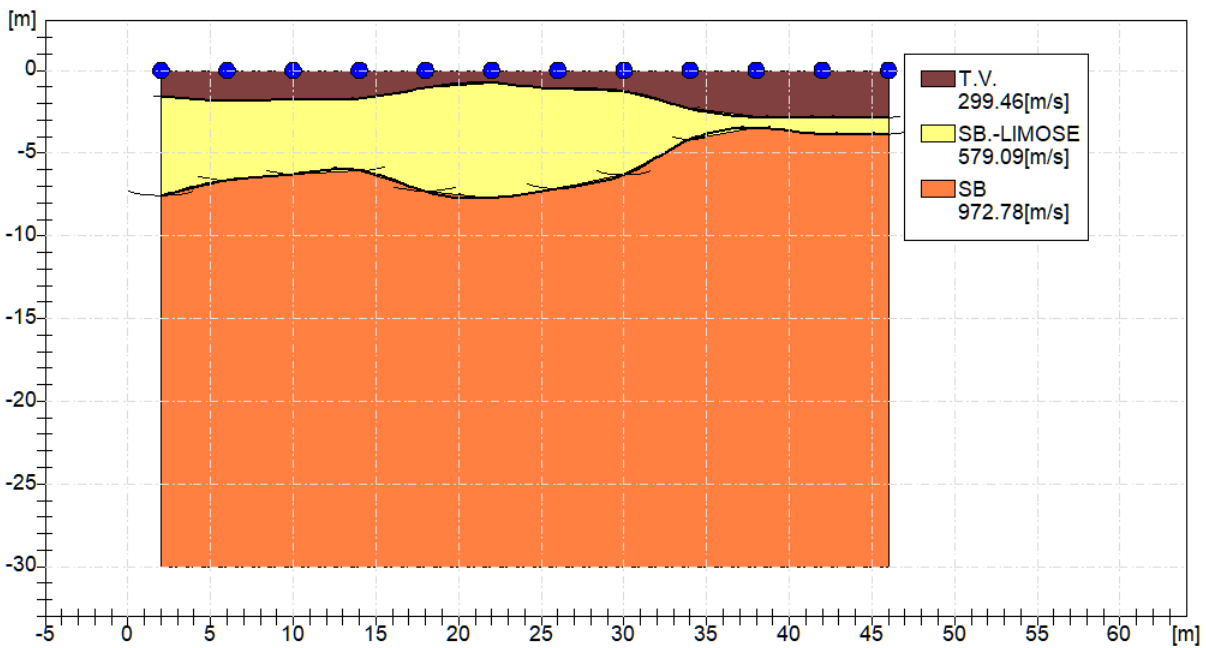
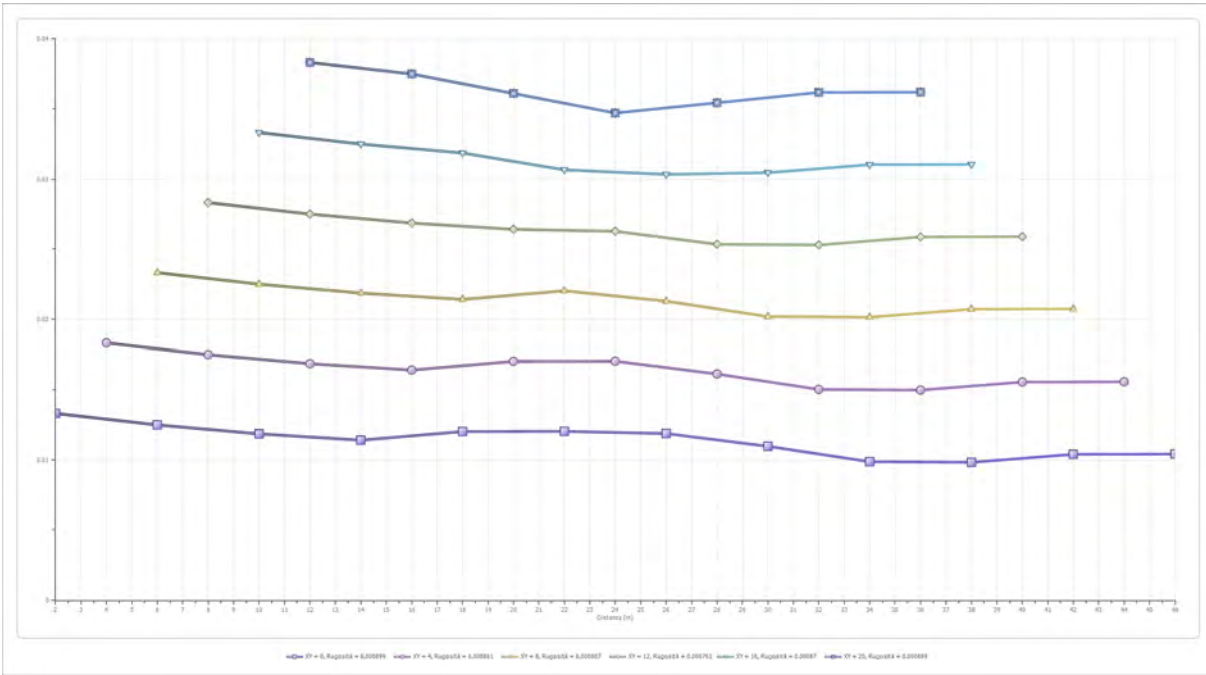
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	1.6	7.6	--
G= 6.0 [m]	1.8	6.6	--
G= 10.0 [m]	1.8	6.3	--
G= 14.0 [m]	1.7	6.0	--
G= 18.0 [m]	1.1	7.3	--
G= 22.0 [m]	0.8	7.7	--
G= 26.0 [m]	1.1	7.1	--
G= 30.0 [m]	1.3	6.3	--
G= 34.0 [m]	2.3	4.2	--
G= 38.0 [m]	2.8	3.5	--
G= 42.0 [m]	2.8	3.9	--
G= 46.0 [m]	2.9	3.8	--
Velocità [m/sec]	299.5	579.1	972.8
Descrizione	T.V.	SB.-LIMOSE	SB

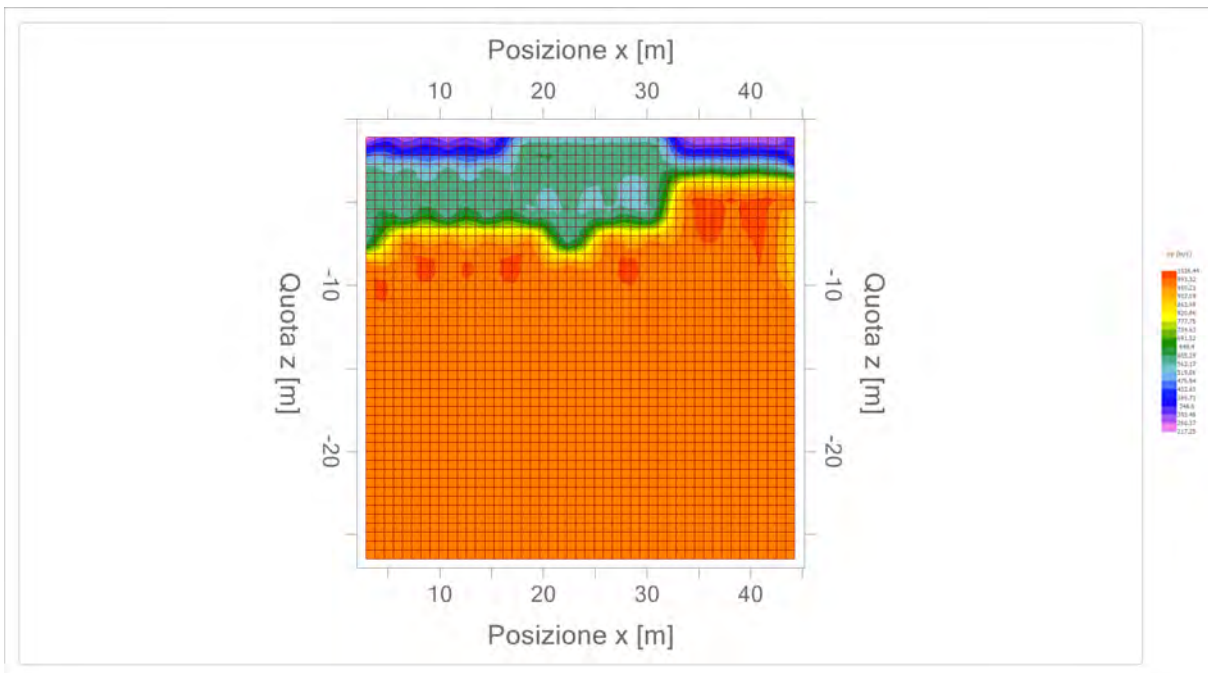
Altri parametri geotecnici

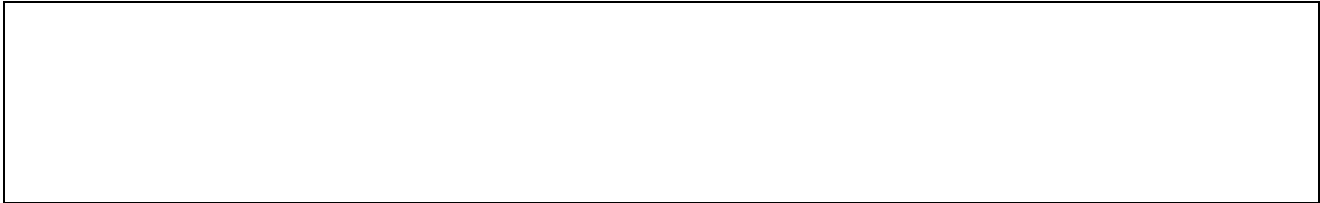
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.44	0.40	0.38
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	299.46	579.09	972.78
Vs [m/s]	98.02	236.41	427.96
G0 [MPa]	16.33	100.60	347.99
Ed [Mpa]	152.45	603.62	1797.96
M0 [MPa]	136.11	503.02	1449.97
Ey [Mpa]	47.04	281.69	960.46

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;










Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

SIS D-4

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

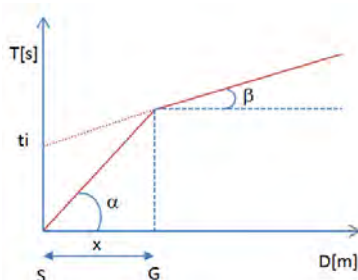
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

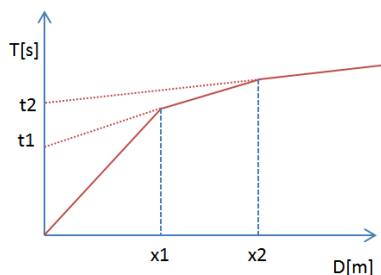
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

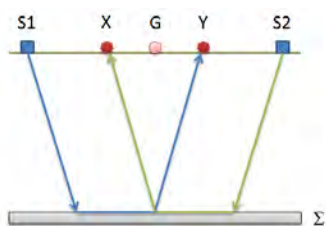


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

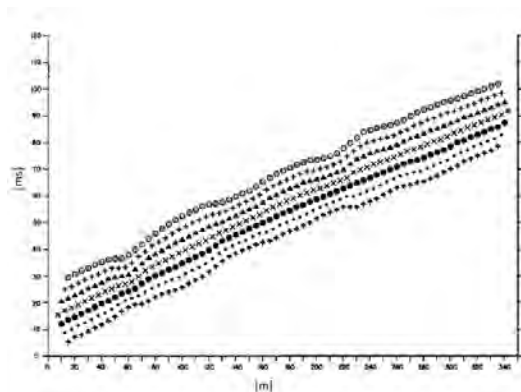
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

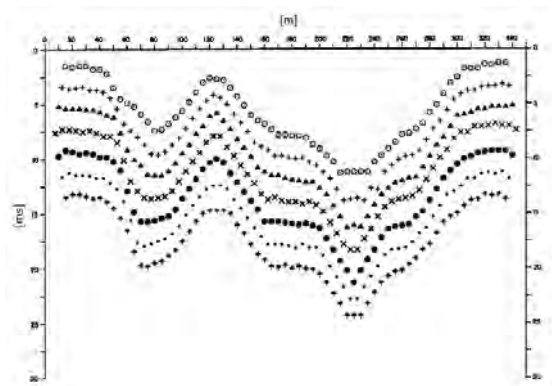
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	SIS D-4
Committente	AM 2 ENERGY SRL
Zona	ASI APRICENA
Operatore	GEOLOG. N. DI LELLA
Responsabile	GEOLOG. N. DI LELLA
Data	24/07/2022
Via	Z.I APRICENA
Latitudine	15,4169502°E[°]
Longitudine	41,7584220°N[°]
Altitudine	46[m]

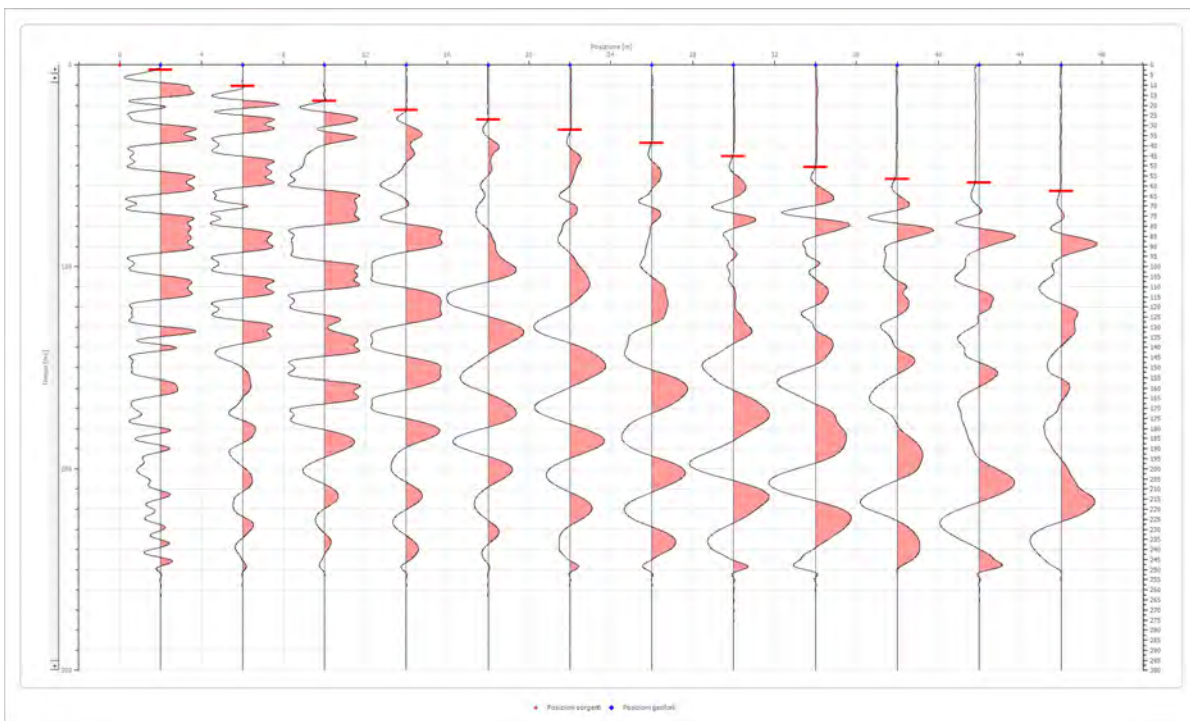
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

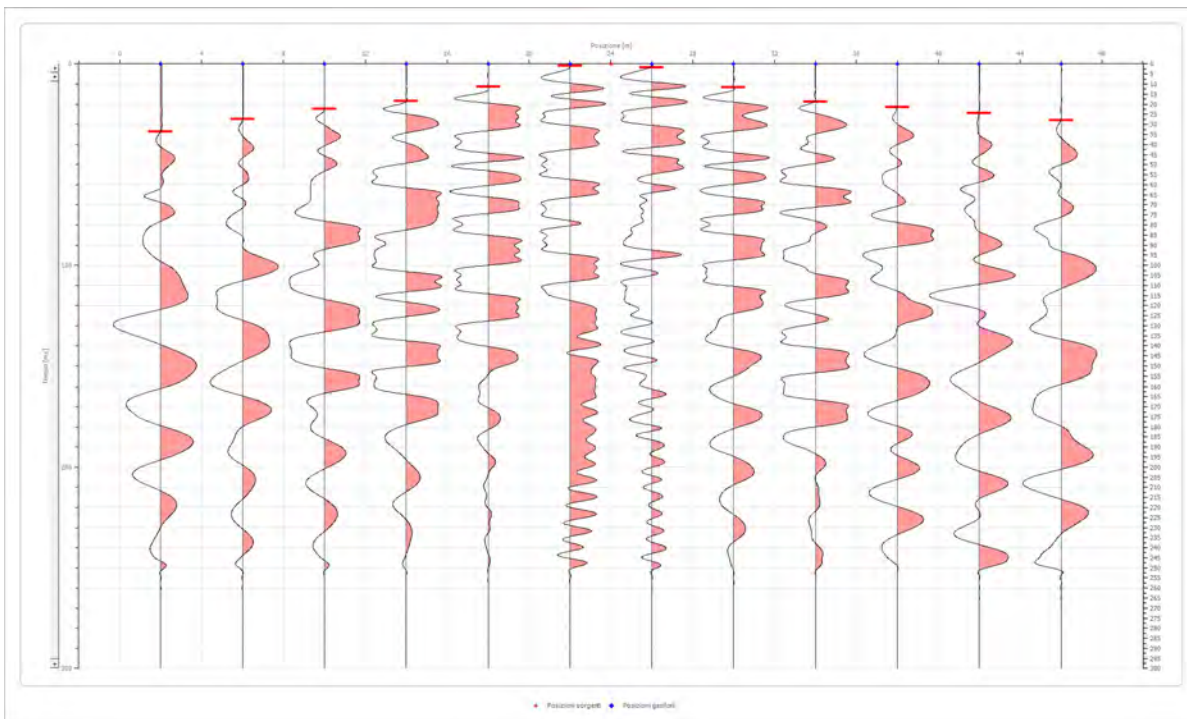


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	2.3833
6.0	10.4270
10.0	17.8749
14.0	22.3436
18.0	27.0000
22.0	32.1748
26.0	38.8750
30.0	45.2500
34.0	50.6455
38.0	56.7500
42.0	58.3913
46.0	62.5621

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

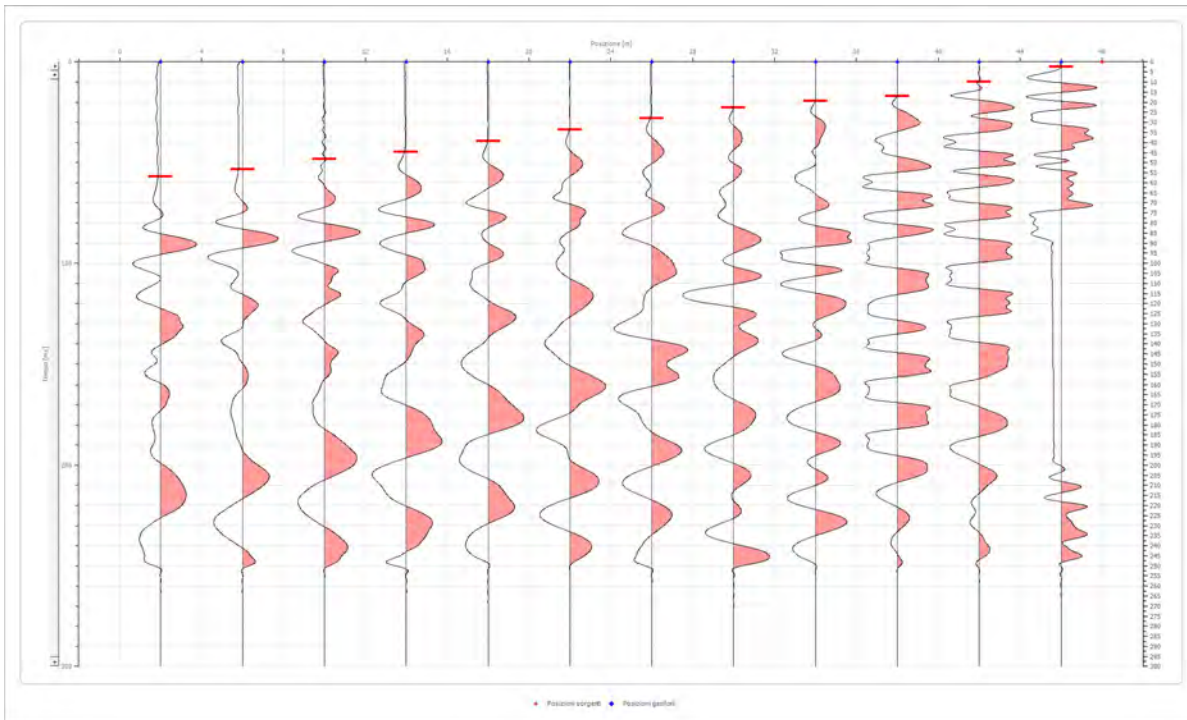
24 [m]
 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	33.6644
6.0	27.4081
10.0	22.3436
14.0	18.4707
18.0	11.3208
22.0	0.8937
26.0	1.7875
30.0	11.6187
34.0	18.7686
38.0	21.4499
42.0	24.5000
46.0	27.8750

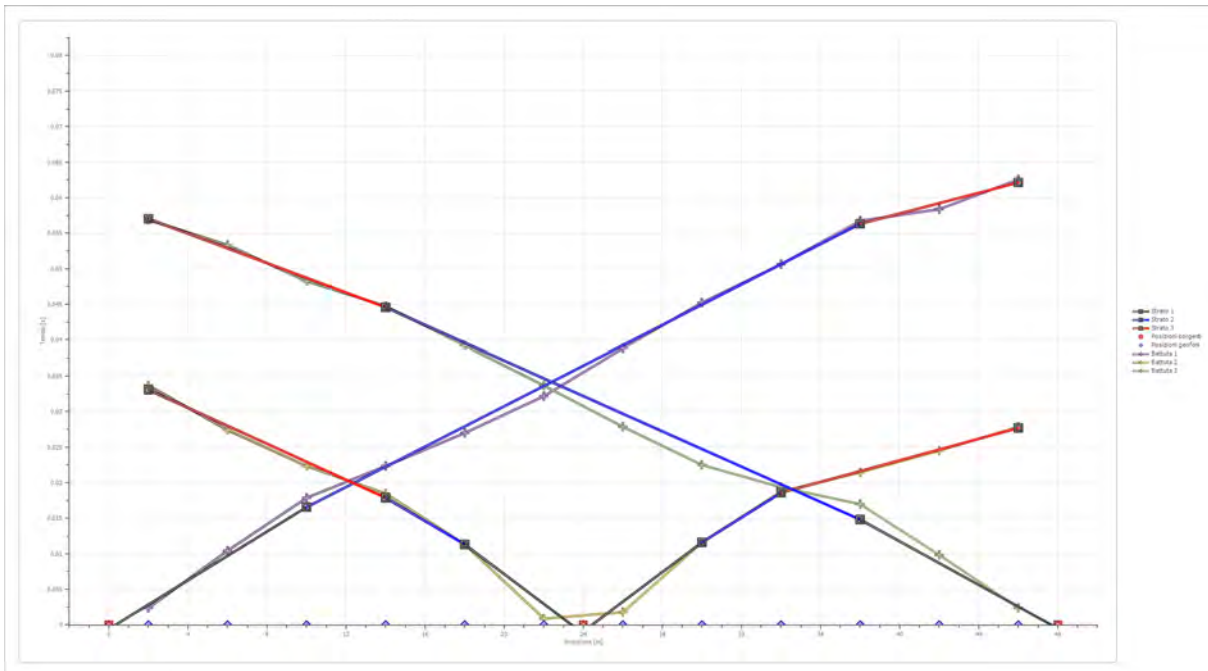
Battuta 3

Posizione sorgente X 48 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

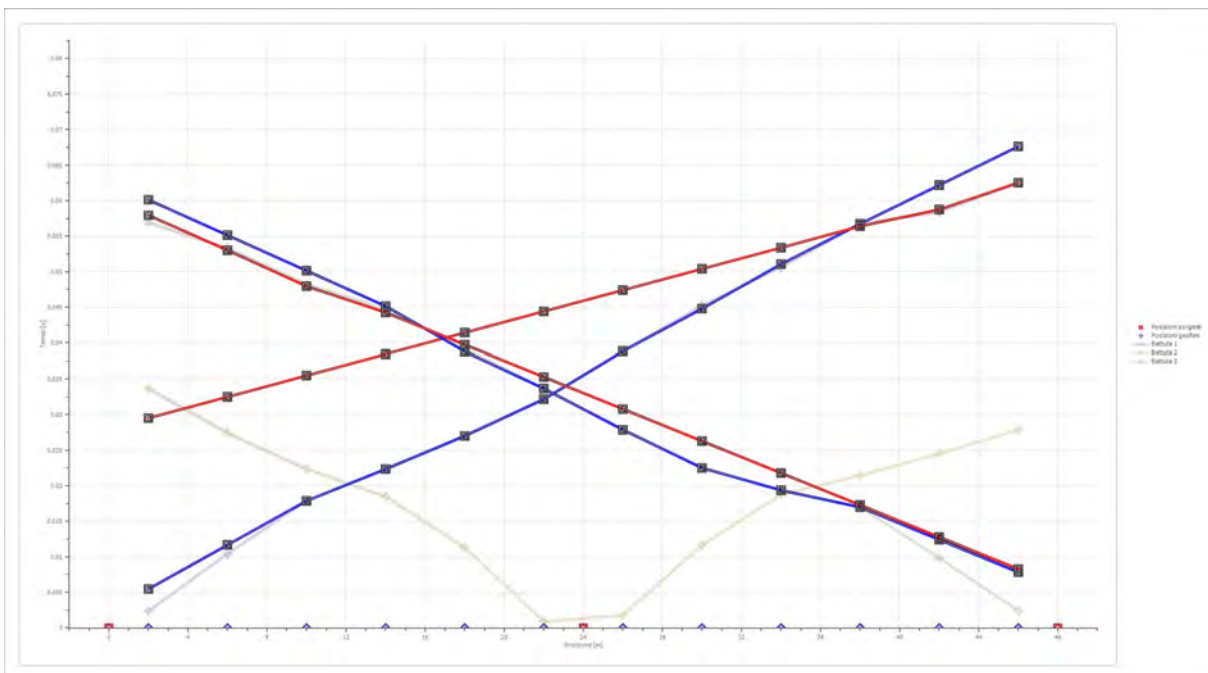


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	56.9017
6.0	53.3267
10.0	48.2622
14.0	44.7500
18.0	39.2500
22.0	33.6644
26.0	27.8750
30.0	22.5000
34.0	19.3644
38.0	16.9811
42.0	9.8312
46.0	2.3833

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

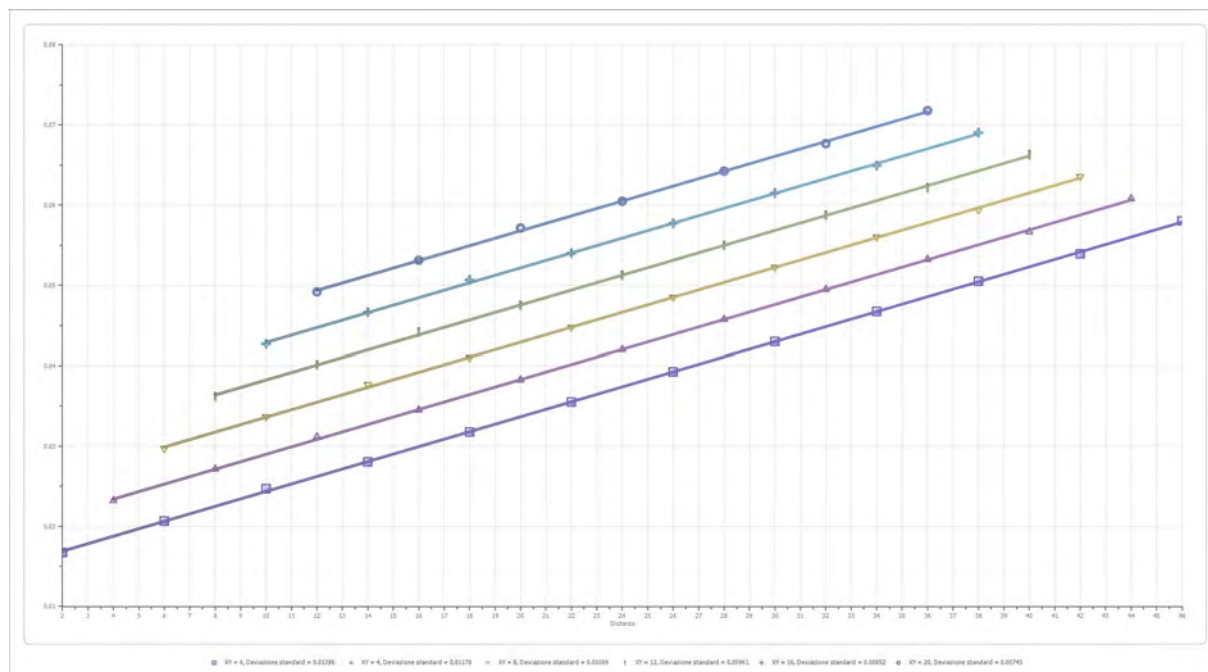
XY: 0

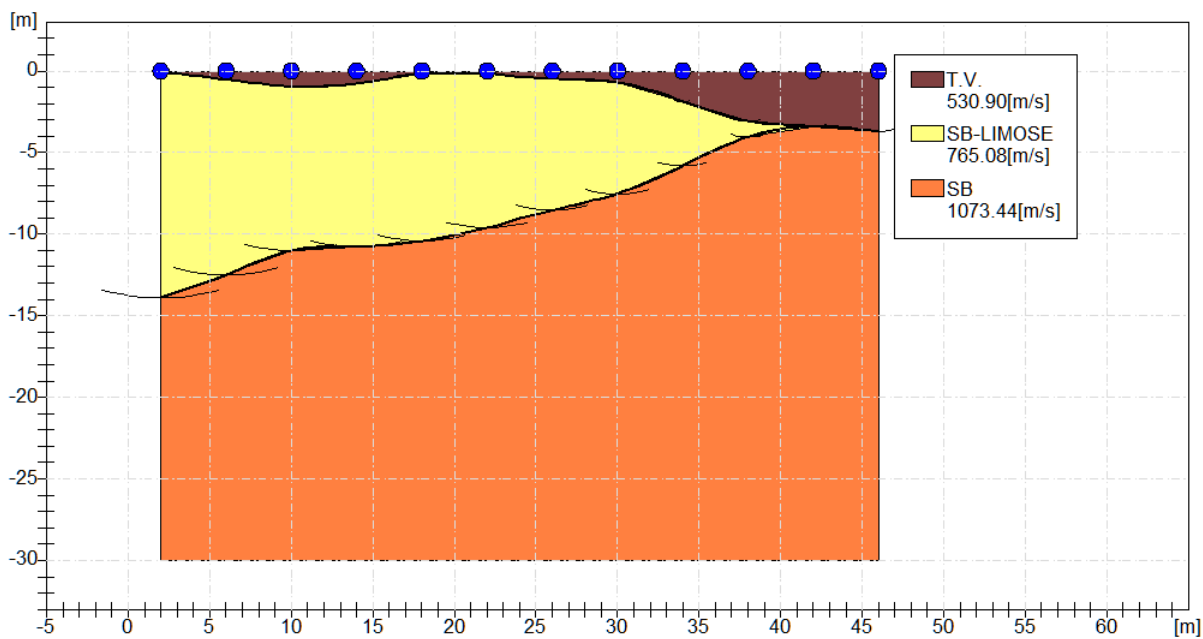
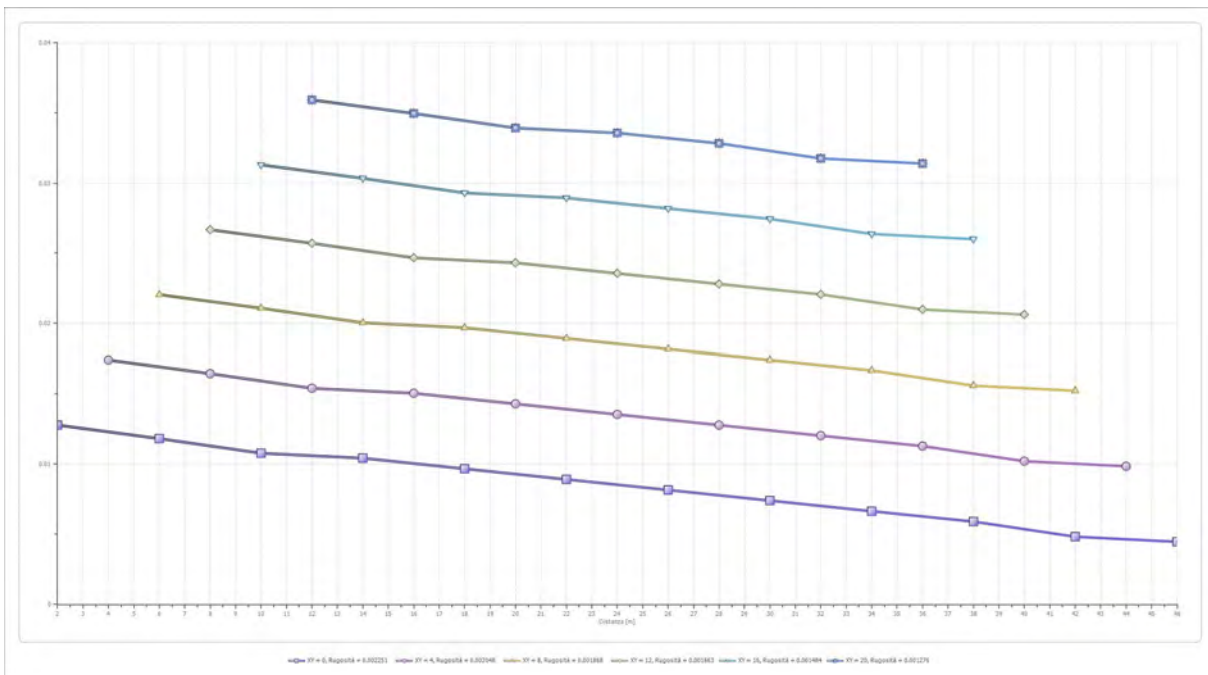
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	0.1	13.9	--
G= 6.0 [m]	0.5	12.5	--
G= 10.0 [m]	1.0	11.0	--
G= 14.0 [m]	0.8	10.8	--
G= 18.0 [m]	0.2	10.4	--
G= 22.0 [m]	0.2	9.6	--
G= 26.0 [m]	0.5	8.5	--
G= 30.0 [m]	0.7	7.5	--
G= 34.0 [m]	1.9	5.8	--
G= 38.0 [m]	3.1	4.0	--
G= 42.0 [m]	3.4	3.4	--
G= 46.0 [m]	3.7	3.7	--
Velocità [m/sec]	530.9	765.1	1073.4
Descrizione	T.V.	SB-LIMOSE	SB

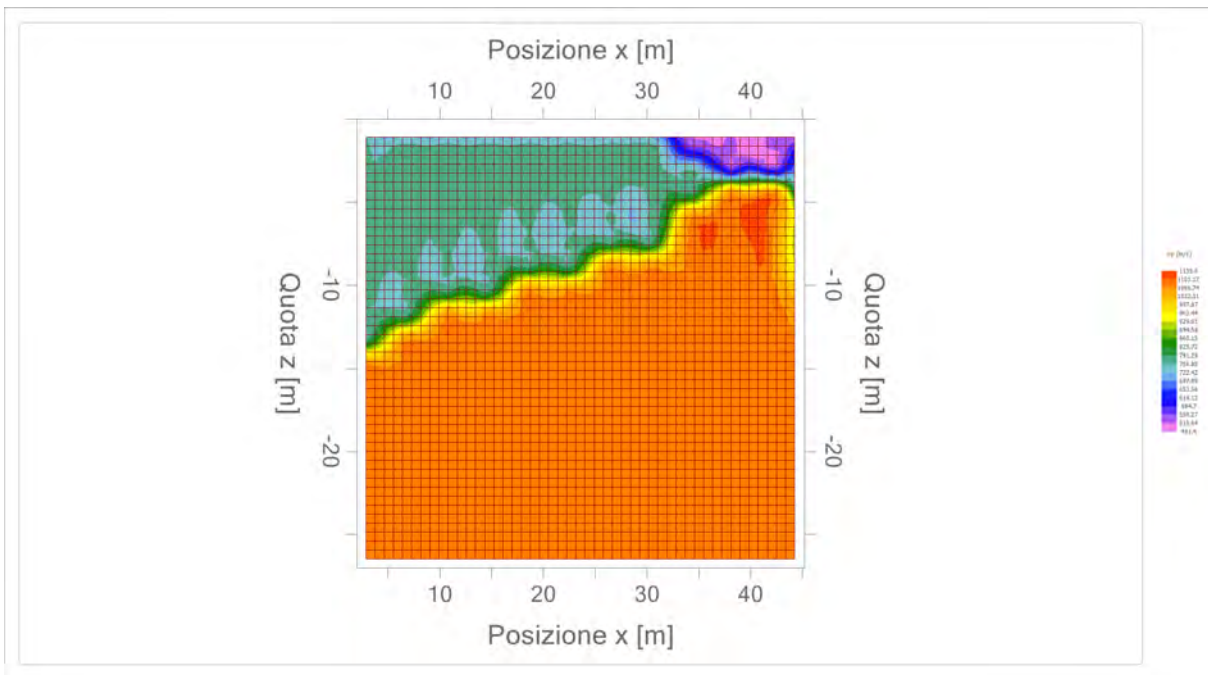
Altri parametri geotecnici

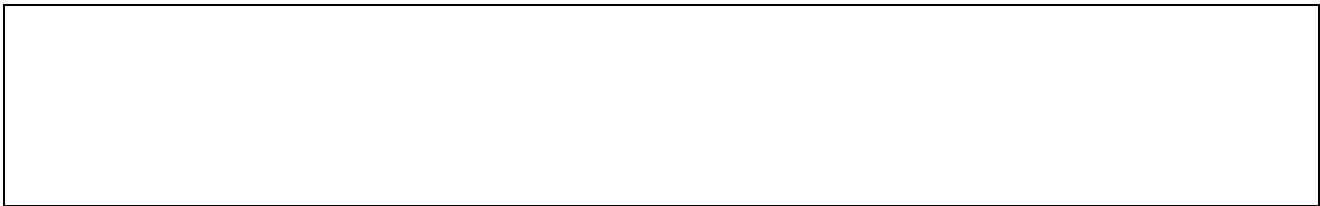
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.44	0.40	0.38
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	530.90	765.08	1073.44
Vs [m/s]	173.78	312.34	472.25
G0 [MPa]	51.34	175.61	423.74
Ed [Mpa]	479.15	1053.64	2189.32
M0 [MPa]	427.82	878.03	1765.58
Ey [Mpa]	147.85	491.70	1169.52

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;









Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - SIS-D5

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

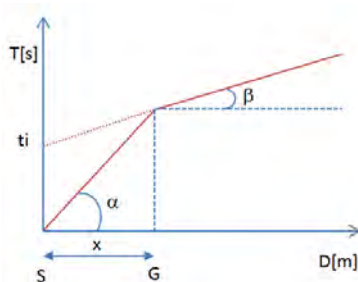
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

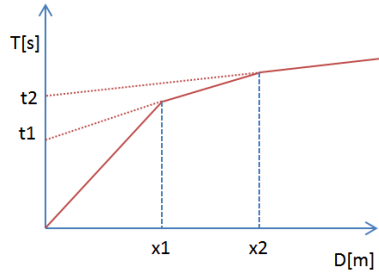
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

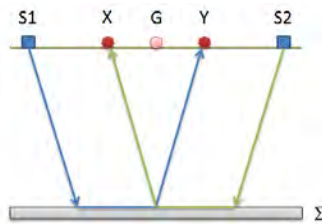


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

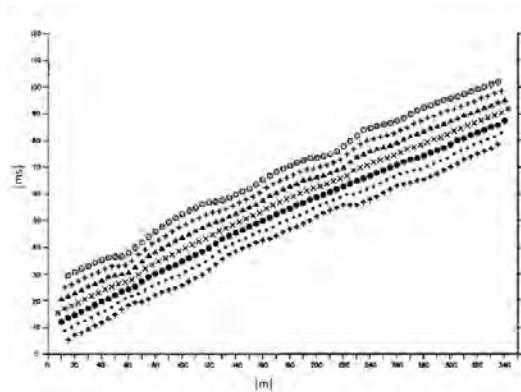
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

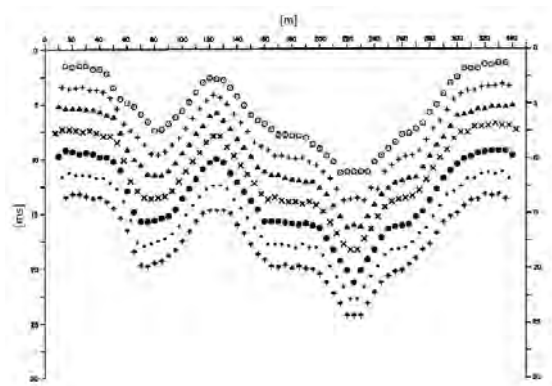
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FTV - AM2 APRICENA - SIS-D5
Committente	AM 2 ENERGY SRL
Zona	ZONA ASI APRICENA
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	12/07/2022
Via	ZONA I. APRICENA
Latitudine	15,4213557°E[°]
Longitudine	41,7524240°N[°]
Altitudine	42.3[m]

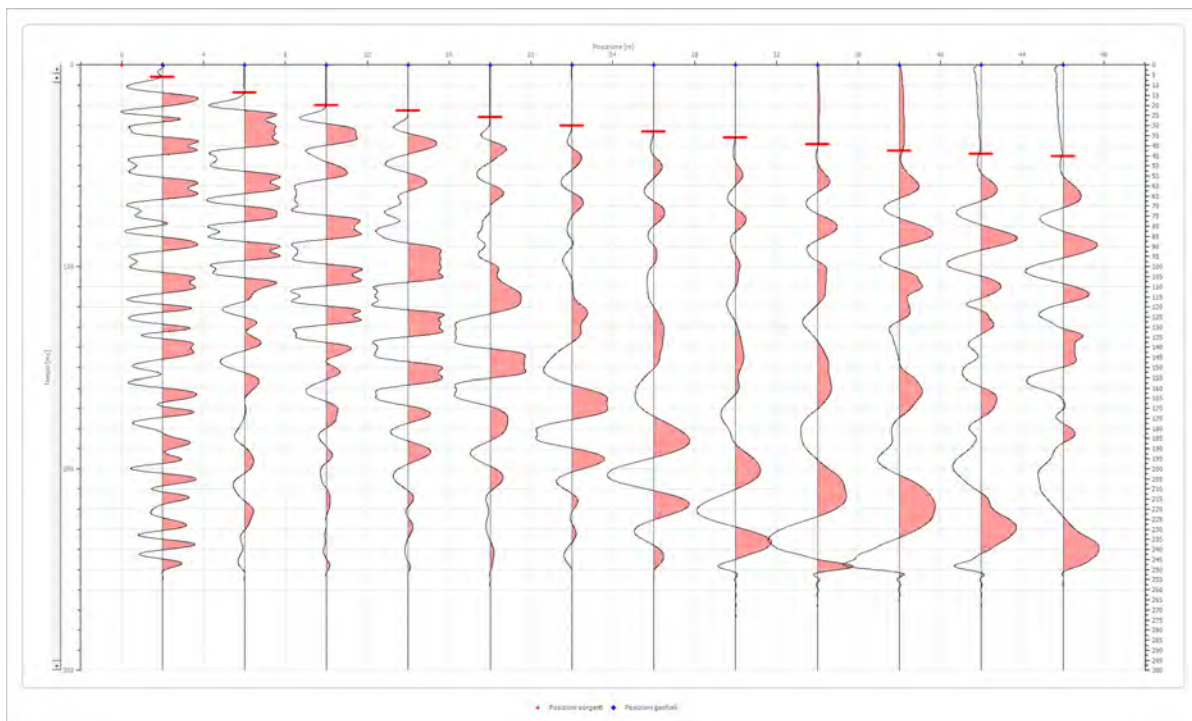
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

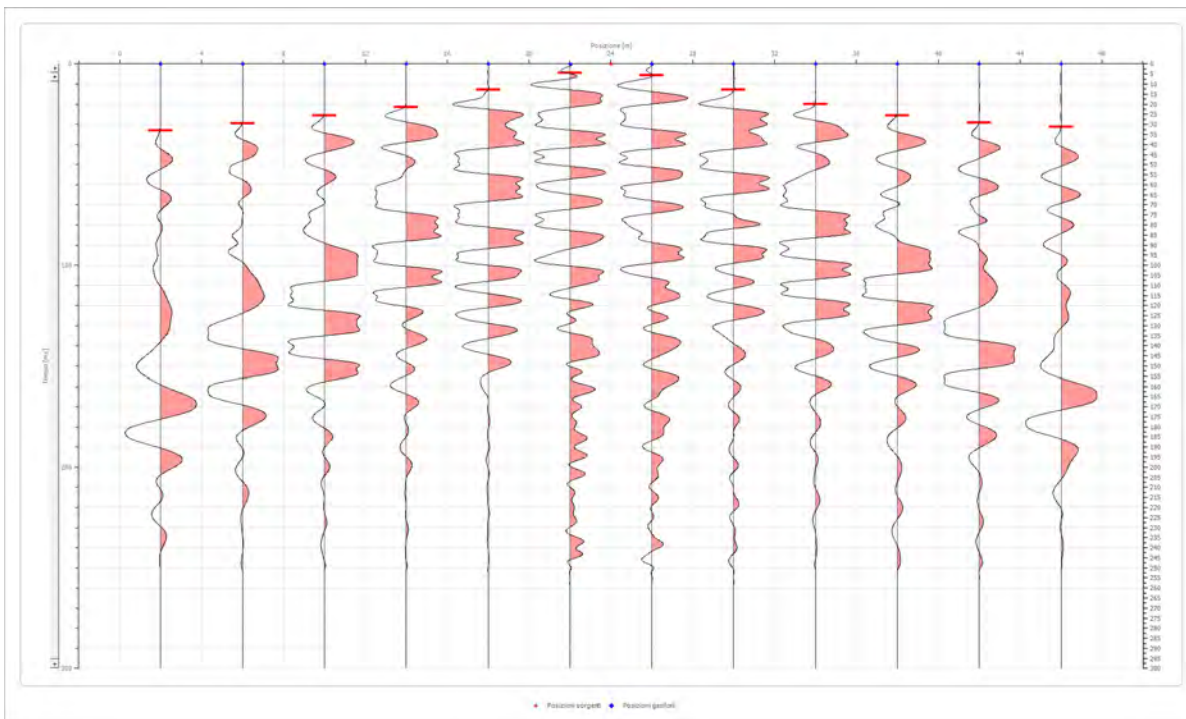


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.9583
6.0	13.7041
10.0	20.0000
14.0	22.7500
18.0	26.0000
22.0	30.1250
26.0	33.0000
30.0	36.0000
34.0	39.3247
38.0	42.6018
42.0	44.0914
46.0	45.2830

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

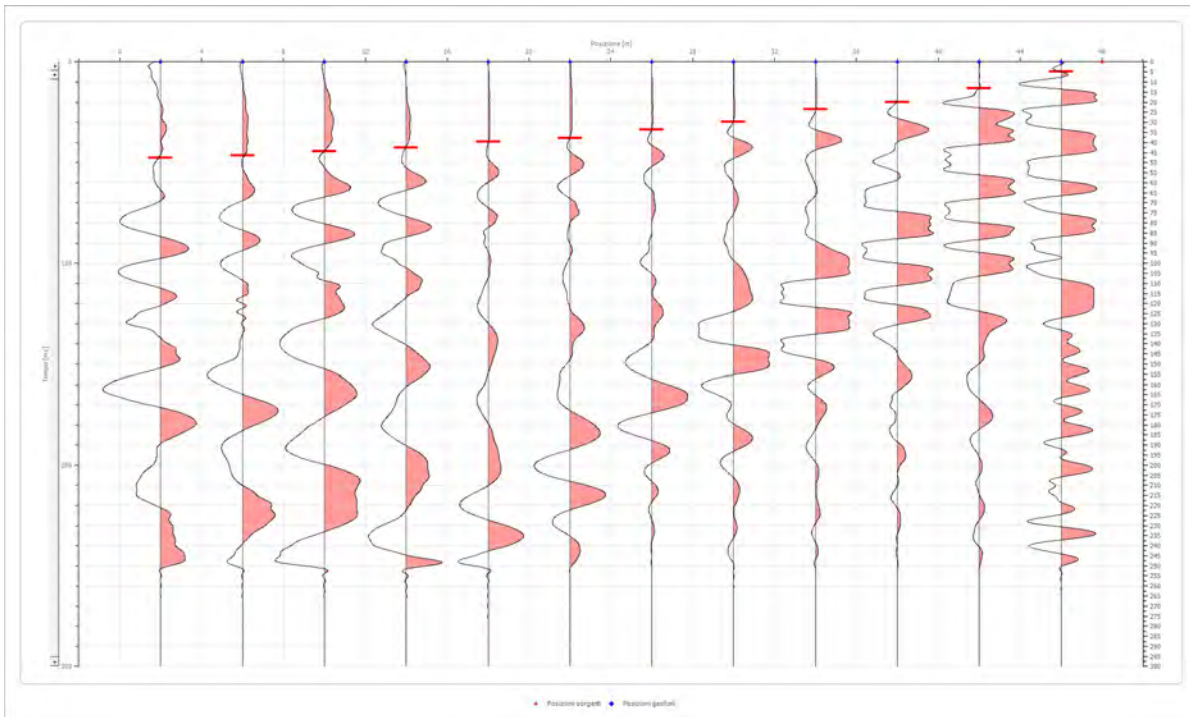


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	33.0685
6.0	29.3750
10.0	25.6207
14.0	21.4499
18.0	12.8103
22.0	4.4687
26.0	5.6604
30.0	12.8103
34.0	20.0000
38.0	25.6207
42.0	29.1956
46.0	31.3750

Battuta 3

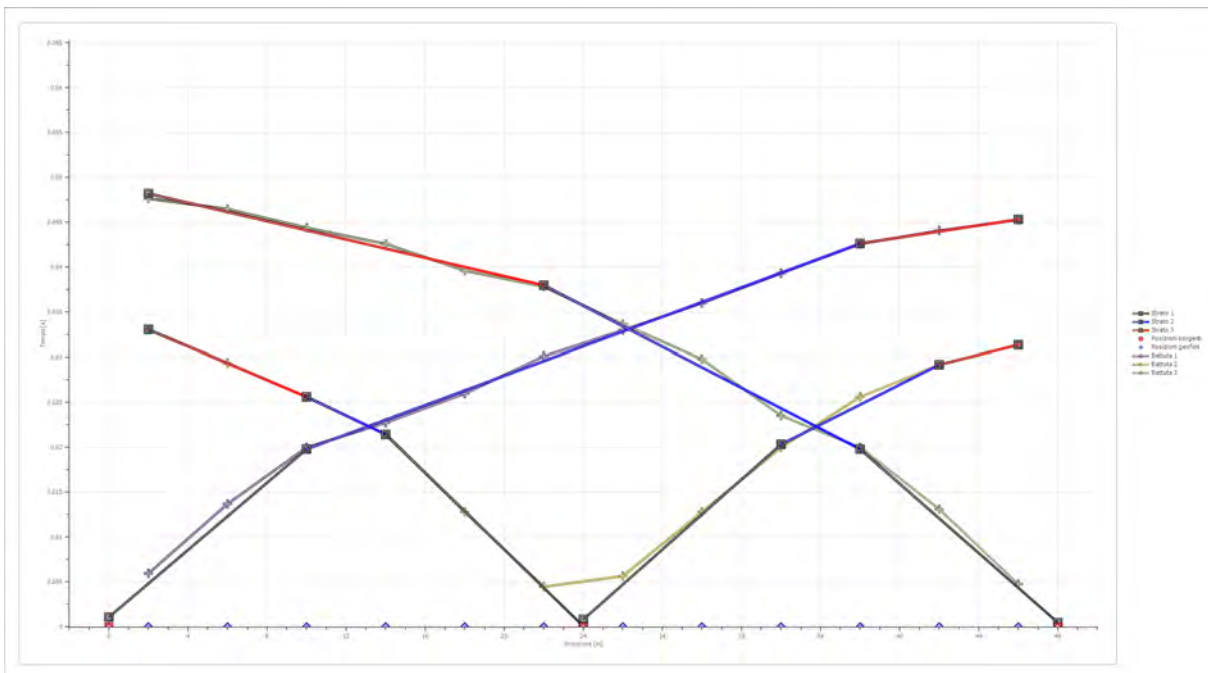
Posizione sorgente X
Posizione sorgente Z

48 [m]
0 [m]

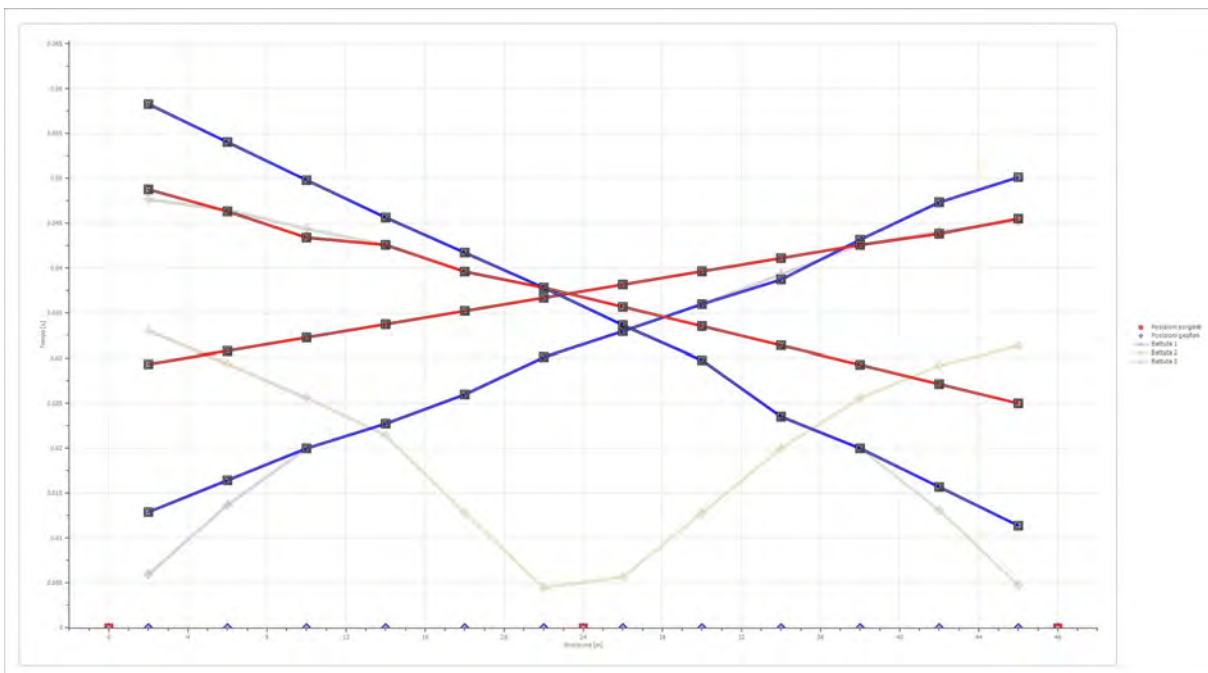


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	47.6663
6.0	46.4747
10.0	44.3893
14.0	42.6018
18.0	39.6226
22.0	37.8352
26.0	33.6644
30.0	29.7915
34.0	23.5353
38.0	20.0000
42.0	13.1082
46.0	4.7666

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

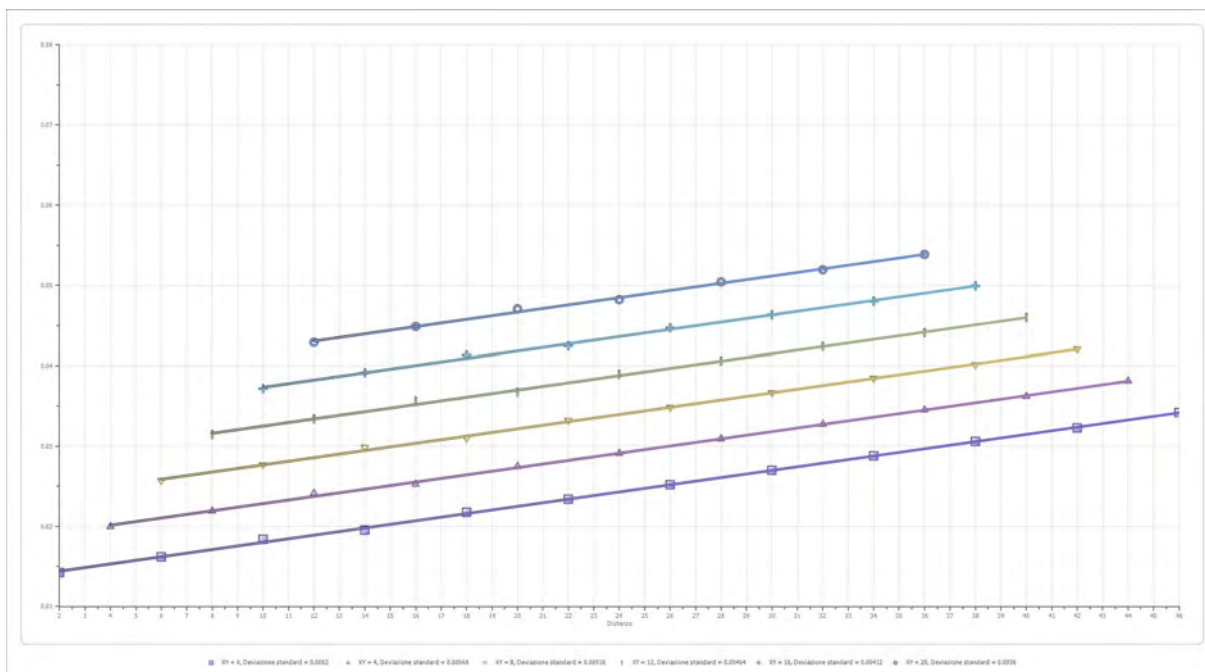
XY: 0

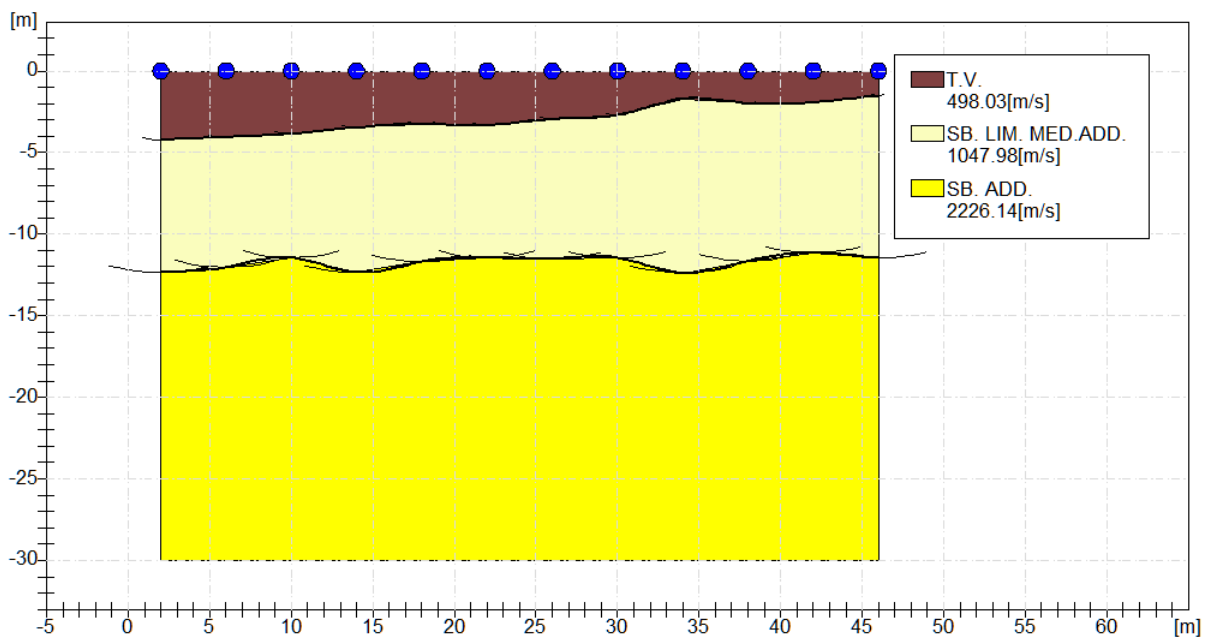
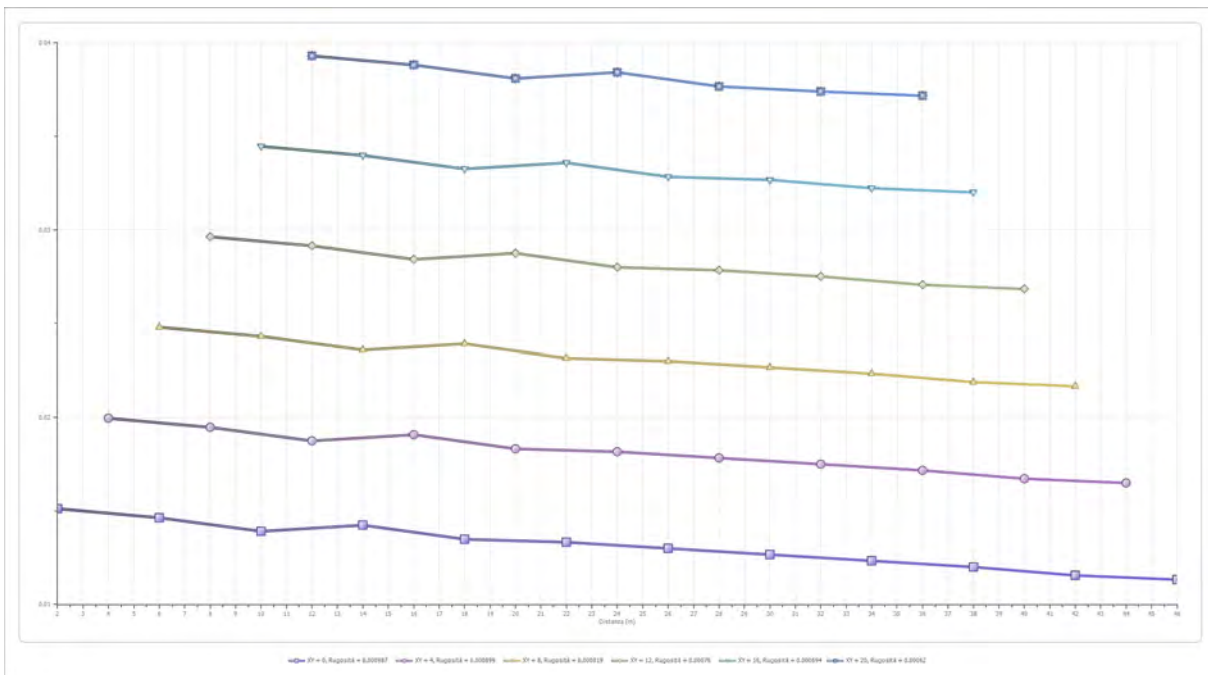
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	4.2	12.4	--
G= 6.0 [m]	4.0	12.0	--
G= 10.0 [m]	3.9	11.4	--
G= 14.0 [m]	3.4	12.4	--
G= 18.0 [m]	3.3	11.7	--
G= 22.0 [m]	3.3	11.4	--
G= 26.0 [m]	3.0	11.5	--
G= 30.0 [m]	2.7	11.5	--
G= 34.0 [m]	1.7	12.4	--
G= 38.0 [m]	2.0	11.6	--
G= 42.0 [m]	1.9	11.2	--
G= 46.0 [m]	1.5	11.5	--
Velocità [m/sec]	498.0	1048.0	2226.1
Descrizione	T.V.	SB. LIM. MED.ADD.	SB. ADD.

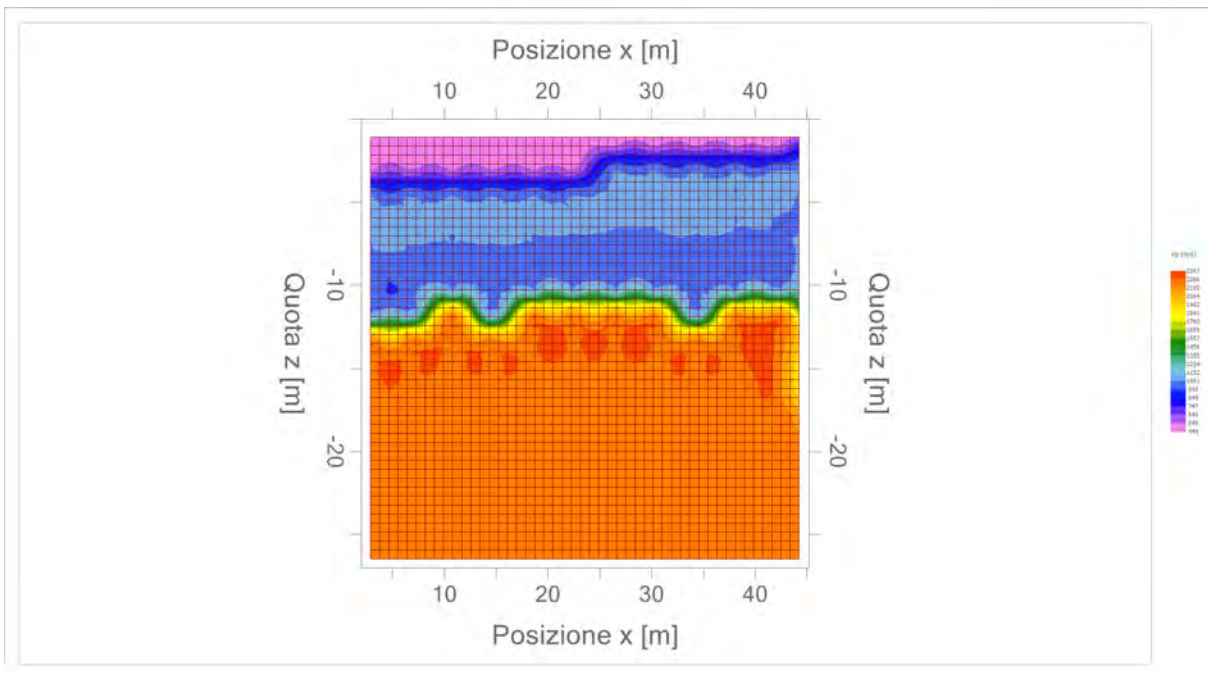
Altri parametri geotecnici

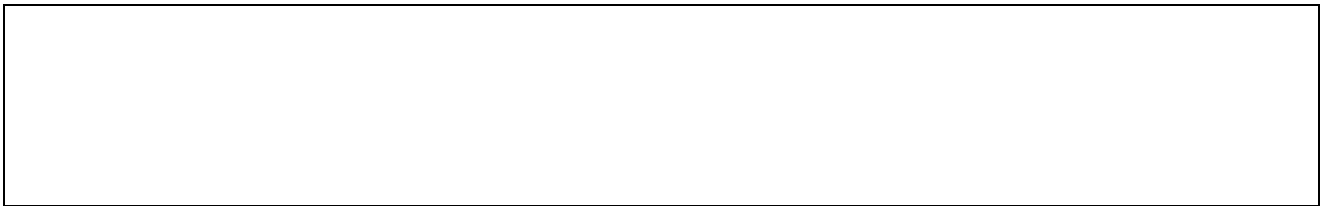
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.35
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	498.03	1047.98	2226.14
Vs [m/s]	203.32	461.05	1069.40
G0 [MPa]	70.28	382.62	2172.88
Ed [Mpa]	421.67	1976.86	9415.80
M0 [MPa]	351.39	1594.24	7242.93
Ey [Mpa]	196.78	1056.02	5866.77

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;









Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - SIS-D6

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

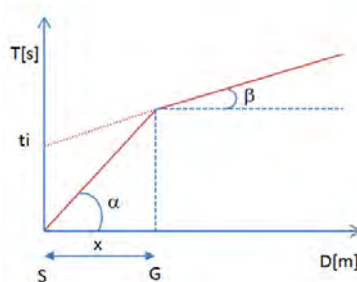
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

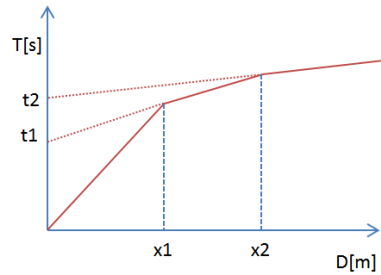
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

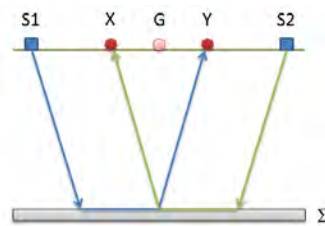


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

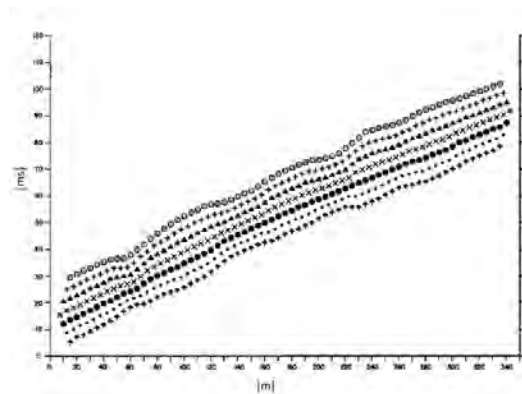
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

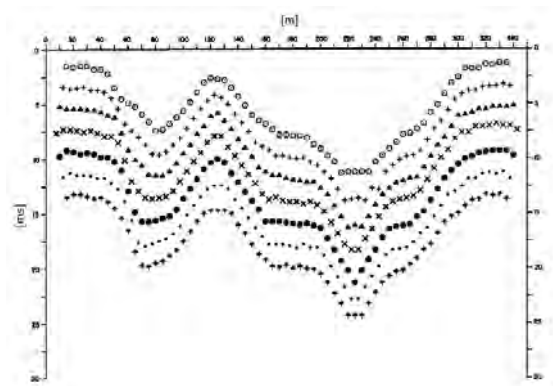
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FTV - AM2 APRICENA - SIS-D6
Committente	AM 2 ENERGY SRL
Zona	ZONA ASI APRICENA
Operatore	GEOL. NAZARIO DI LELLA
Responsabile	GEOL. NAZARIO DI LELLA
Data	10/07/2022
Via	Z.I. APRICENA
Latitudine	15,4201710°E[°]
Longitudine	41,7449379°N[°]
Altitudine	43.5[m]

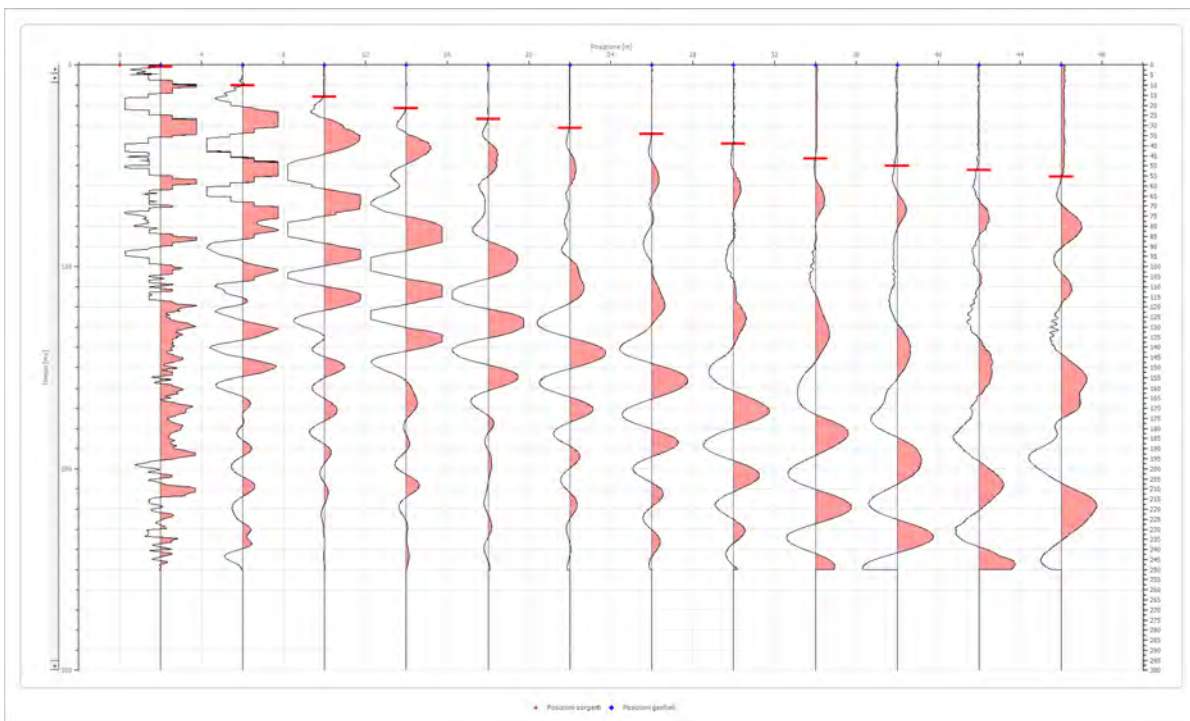
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

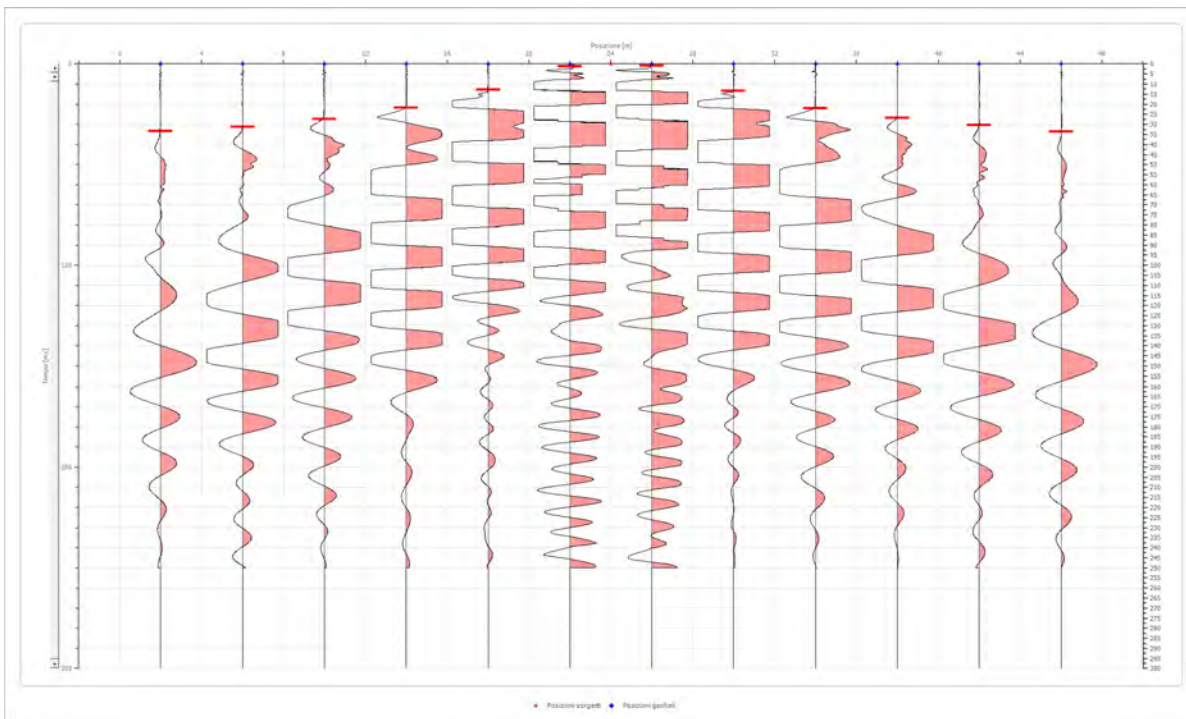


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	0.8937
6.0	10.1291
10.0	15.7895
14.0	21.3750
18.0	26.8750
22.0	31.3750
26.0	34.3750
30.0	39.0000
34.0	46.4747
38.0	50.0497
42.0	52.1351
46.0	55.4121

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

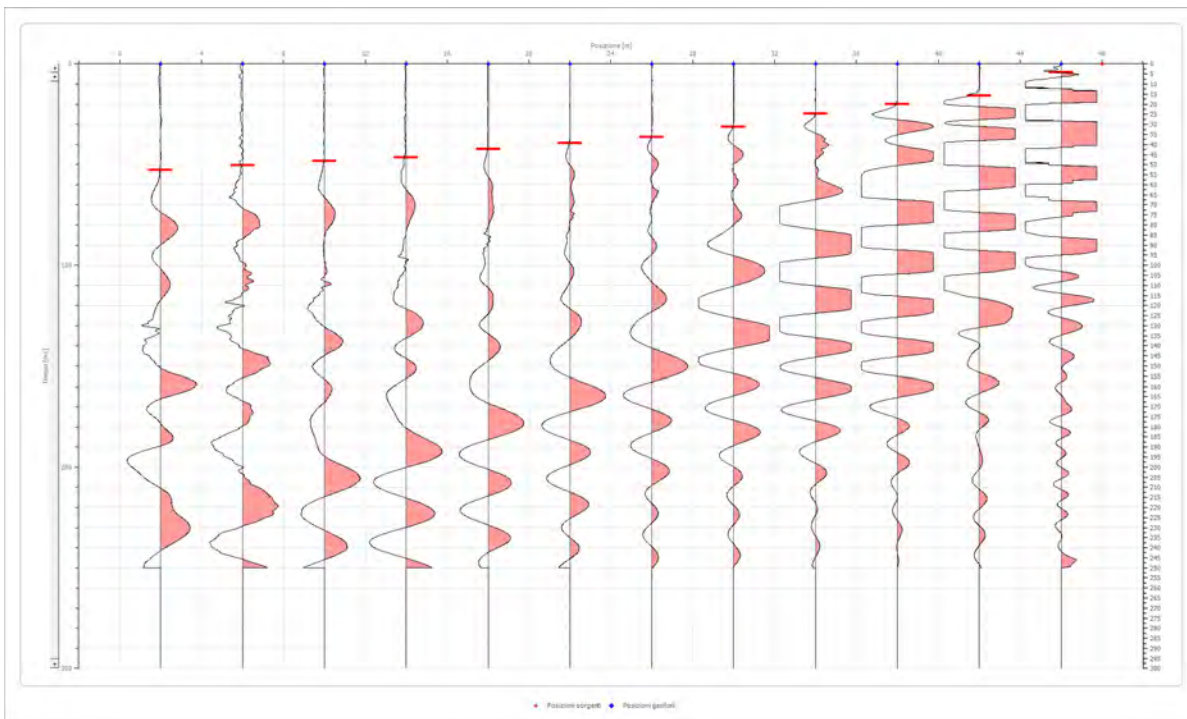


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	33.5000
6.0	31.2500
10.0	27.4081
14.0	21.7500
18.0	12.8103
22.0	1.1917
26.0	0.8937
30.0	13.4062
34.0	22.0457
38.0	26.8123
42.0	30.2500
46.0	33.6644

Battuta 3

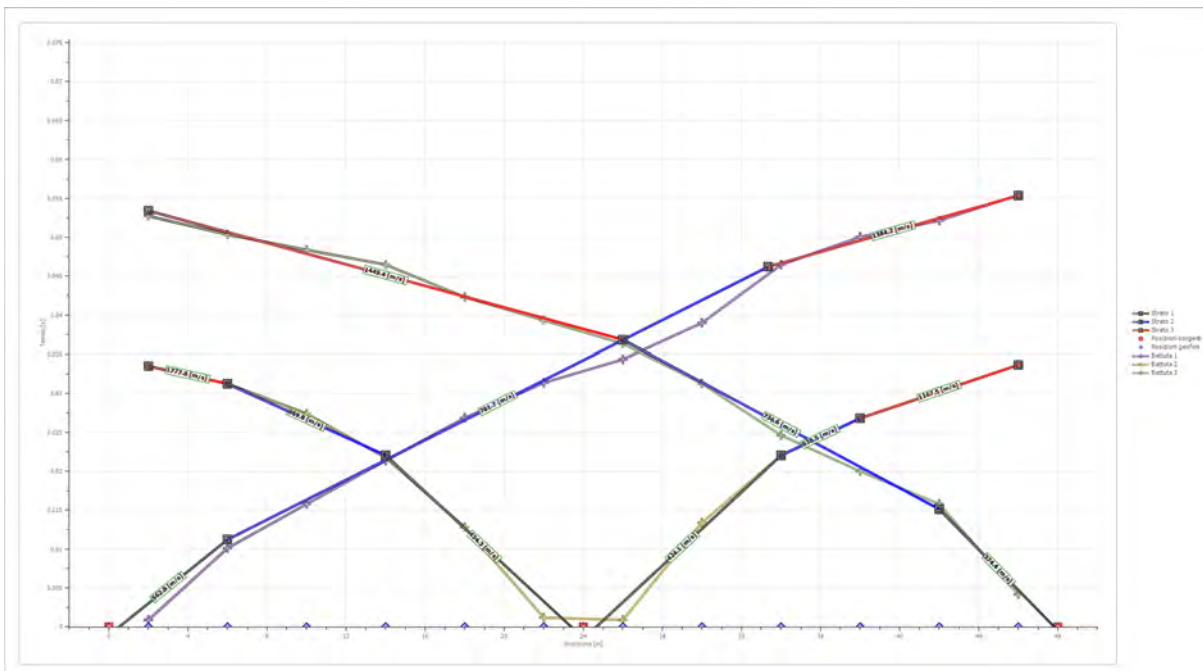
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

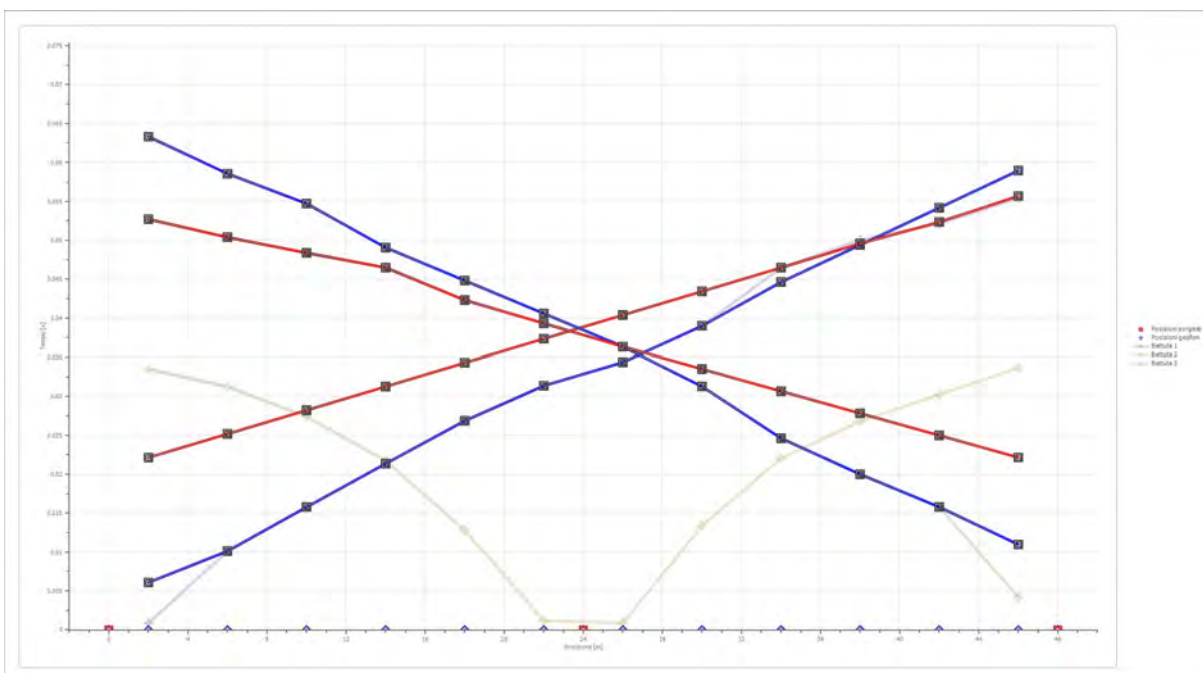


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	52.7309
6.0	50.3476
10.0	48.3750
14.0	46.4747
18.0	42.3039
22.0	39.3247
26.0	36.3456
30.0	31.2810
34.0	24.6250
38.0	20.0000
42.0	15.7895
46.0	4.1708

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

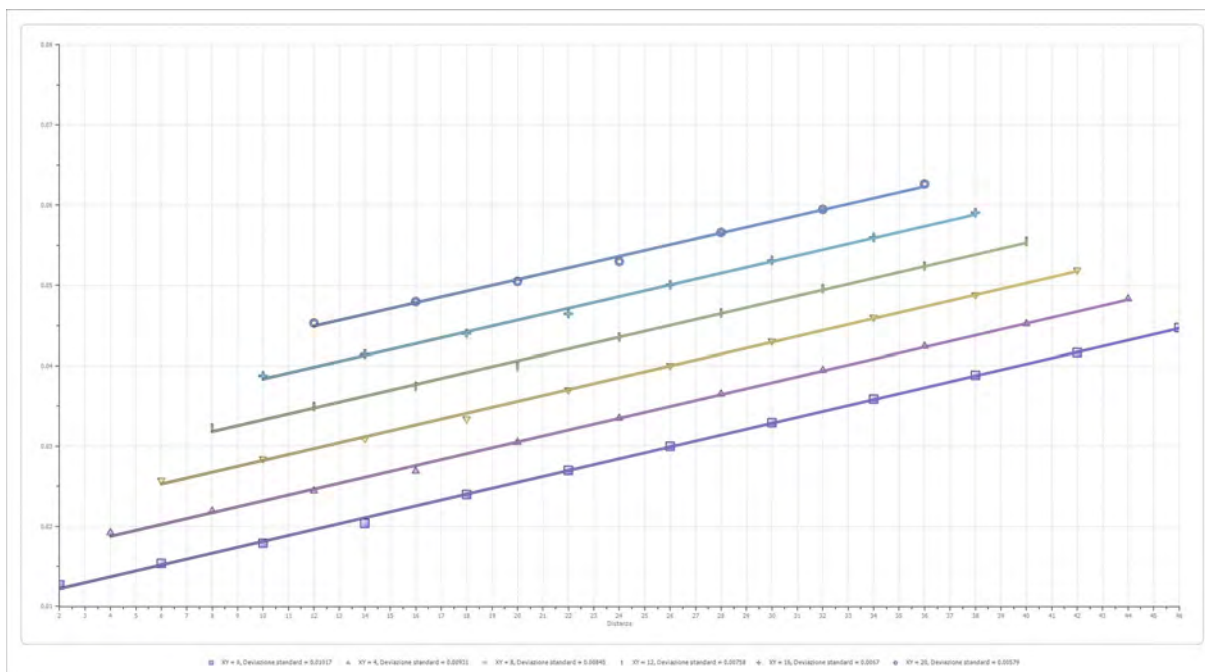
XY: 0

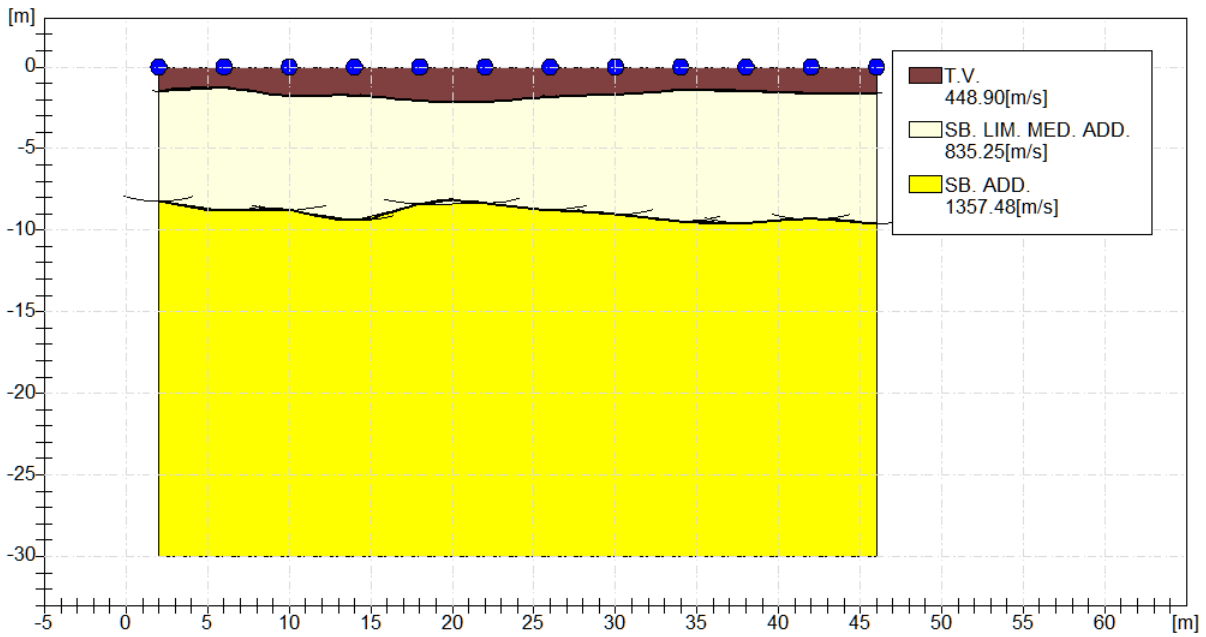
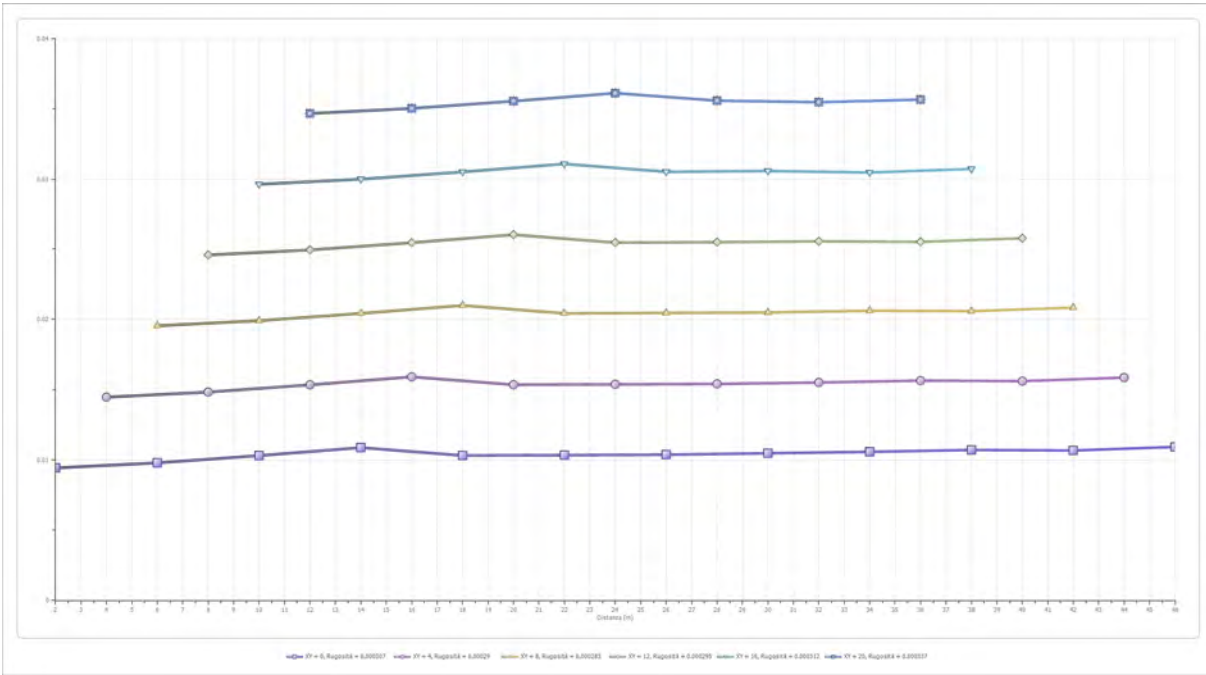
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	1.5	8.2	--
G= 6.0 [m]	1.3	8.8	--
G= 10.0 [m]	1.8	8.8	--
G= 14.0 [m]	1.7	9.4	--
	2.1	8.4	--
G= 22.0 [m]	2.2	8.3	--
G= 26.0 [m] G= 18.0 [m]	1.8	8.8	--
G= 30.0 [m]	1.7	9.0	--
G= 34.0 [m]	1.4	9.5	--
G= 38.0 [m]	1.5	9.6	--
G= 42.0 [m]	1.6	9.3	--
G= 46.0 [m]	1.6	9.6	--
Velocità [m/sec]	448.9	835.3	1357.5
Descrizione	T.V.	SB. LIM. MED. ADD.	SB. ADD.

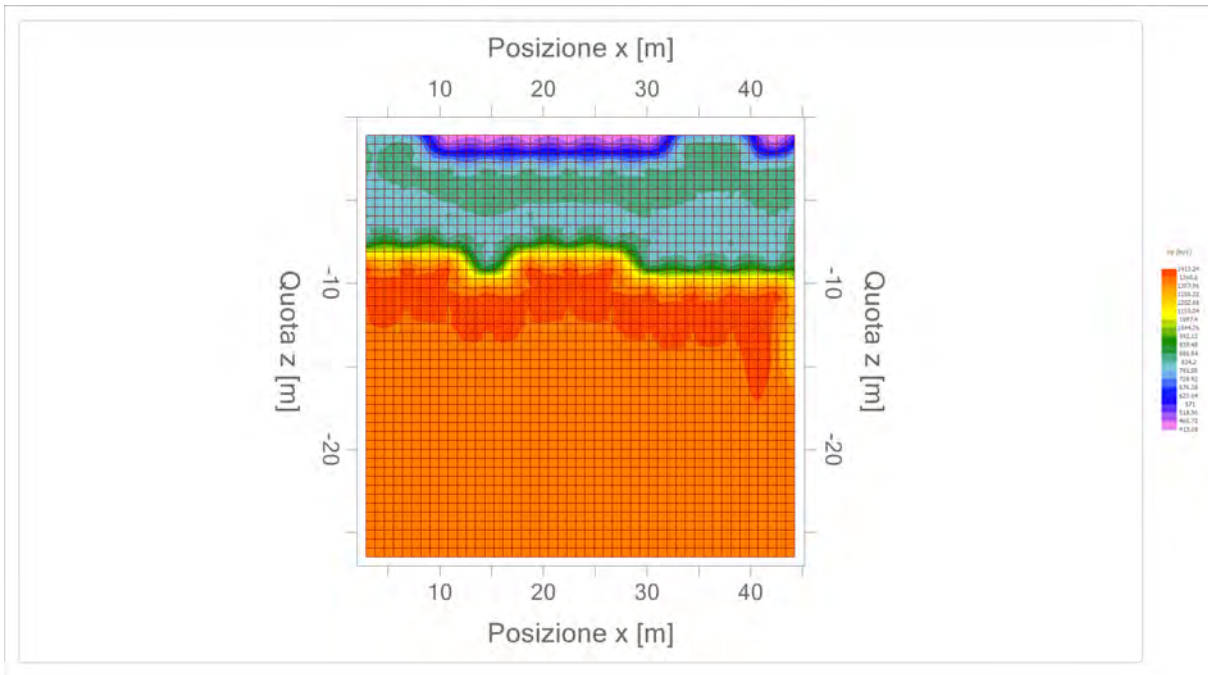
Altri parametri geotecnici

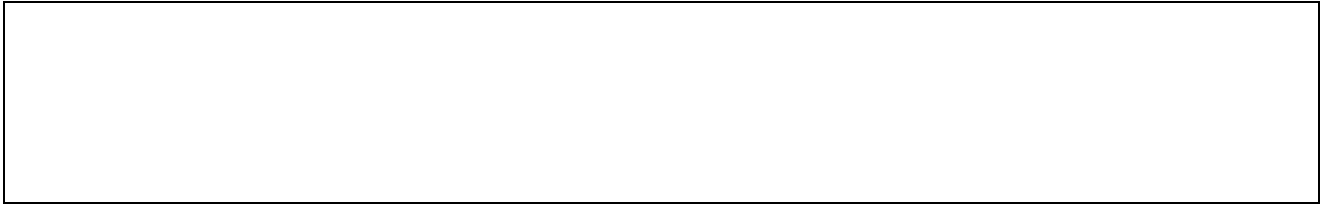
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.35
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	448.90	835.25	1357.48
Vs [m/s]	183.26	367.46	652.11
G0 [MPa]	57.09	243.05	807.98
Ed [Mpa]	342.56	1255.77	3501.23
M0 [MPa]	285.47	1012.72	2693.25
Ey [Mpa]	159.86	670.82	2181.54

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;










Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - SIS-D7

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

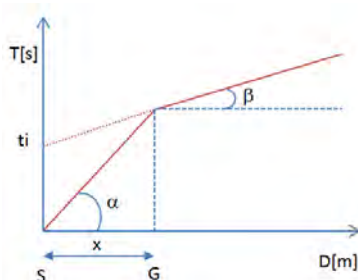
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

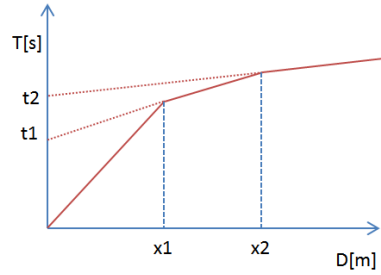
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

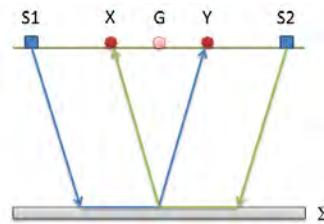


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

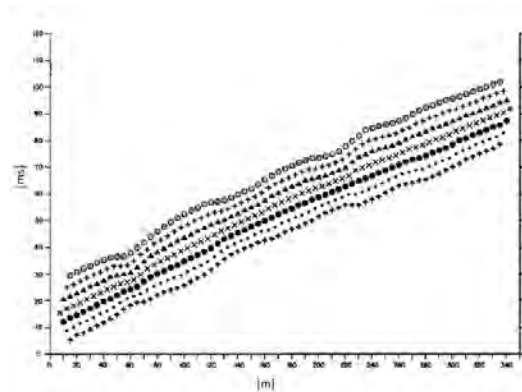
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

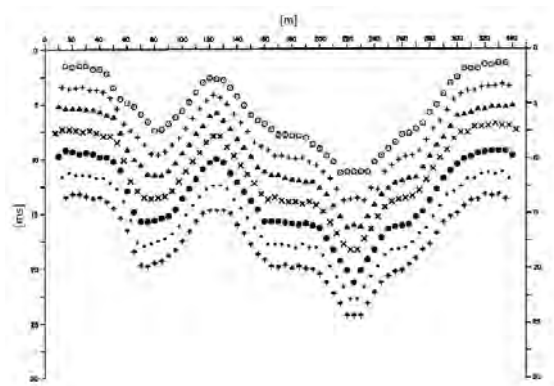
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FTV - AM2 APRICENA - SIS-D7
Committente	AM2 ENERGY SRL
Zona	ZONA ASI
Operatore	GEOL. DI LELLA NAZARIO
Responsabile	GROL. DI LELLA NAZARIO
Data	10/07/2022
Via	Z.I. APRICENA
Latitudine	15,4099179°E[°]
Longitudine	41,7539529°N[°]
Altitudine	46.5[m]

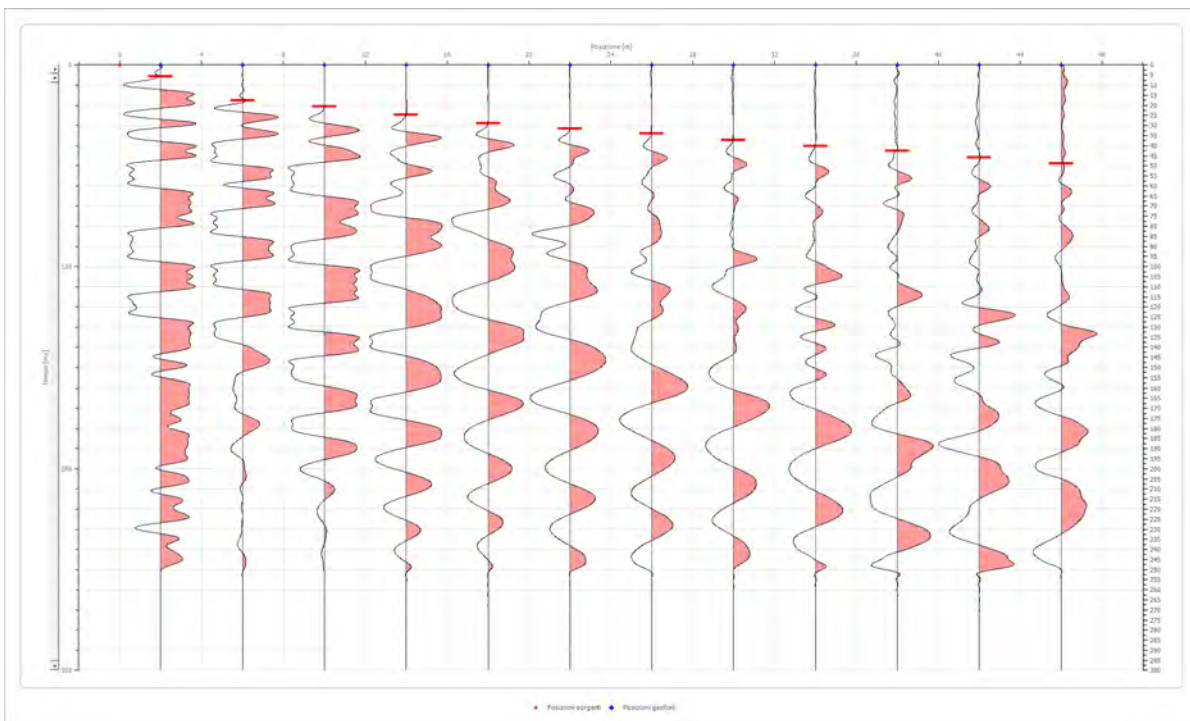
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

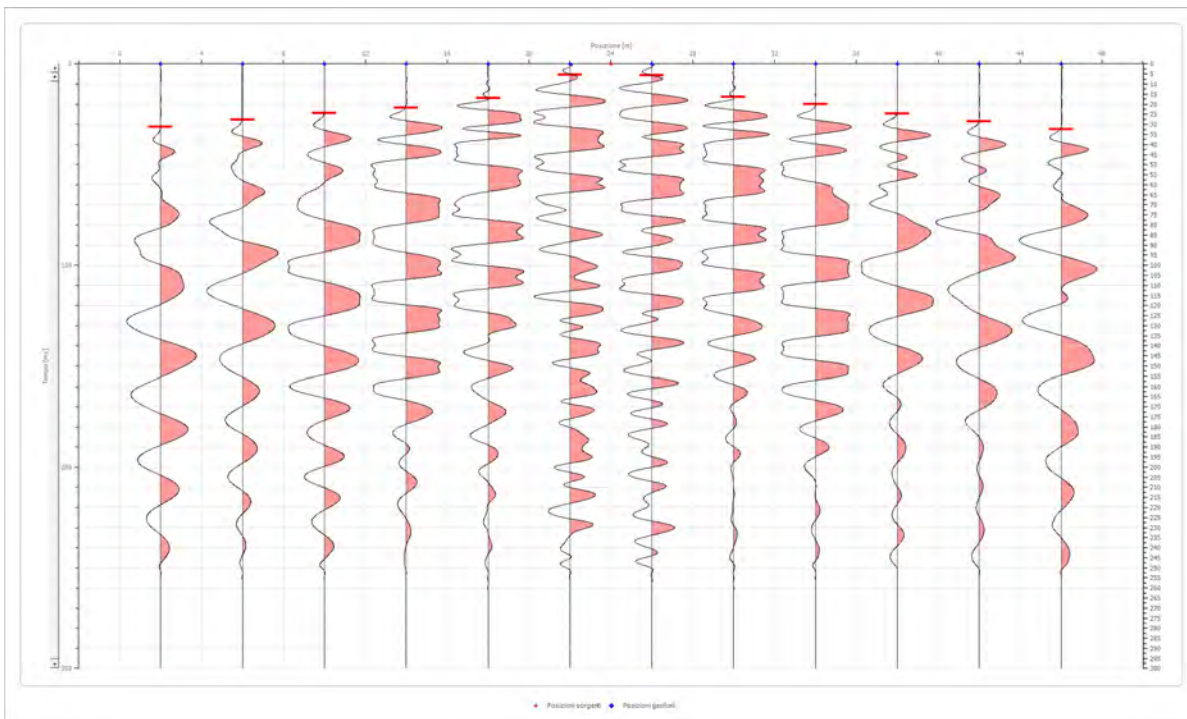


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.6604
6.0	17.5770
10.0	20.6250
14.0	24.7500
18.0	28.8750
22.0	31.6250
26.0	33.9623
30.0	37.1250
34.0	40.1250
38.0	42.6018
42.0	45.8788
46.0	48.8580

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

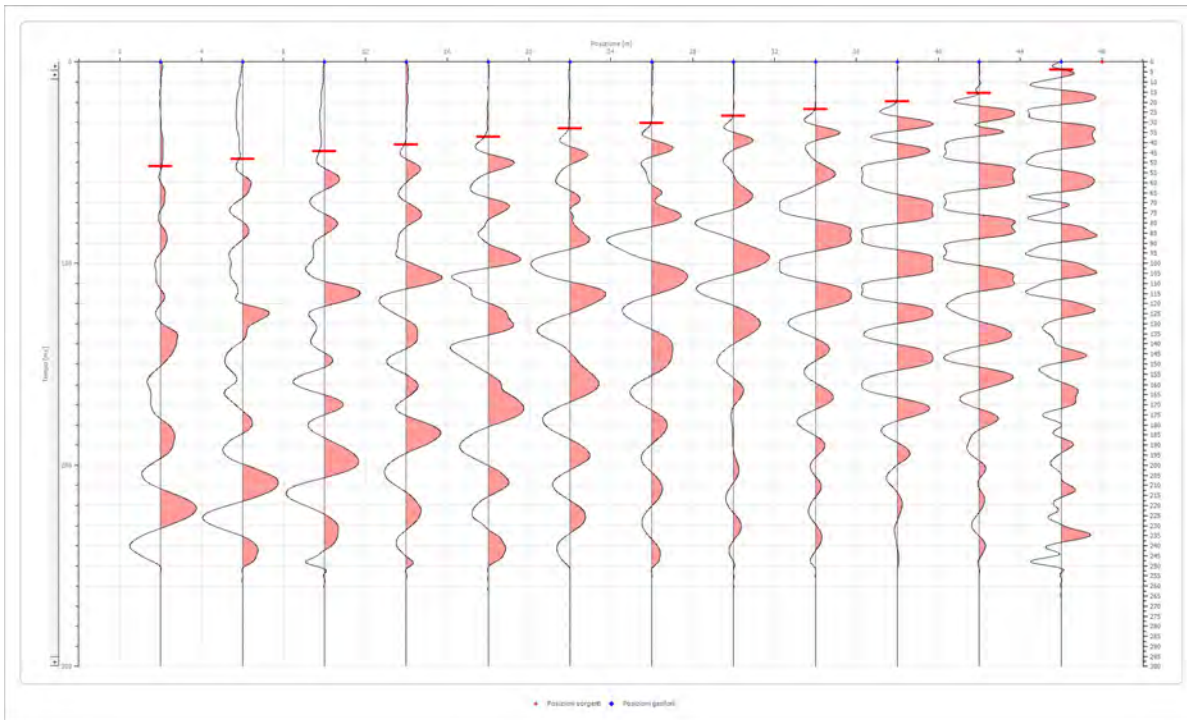


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	31.3750
6.0	27.7061
10.0	24.3750
14.0	21.7478
18.0	16.9811
22.0	5.3625
26.0	5.6604
30.0	16.3853
34.0	20.0000
38.0	24.7269
42.0	28.5000
46.0	32.3750

Battuta 3

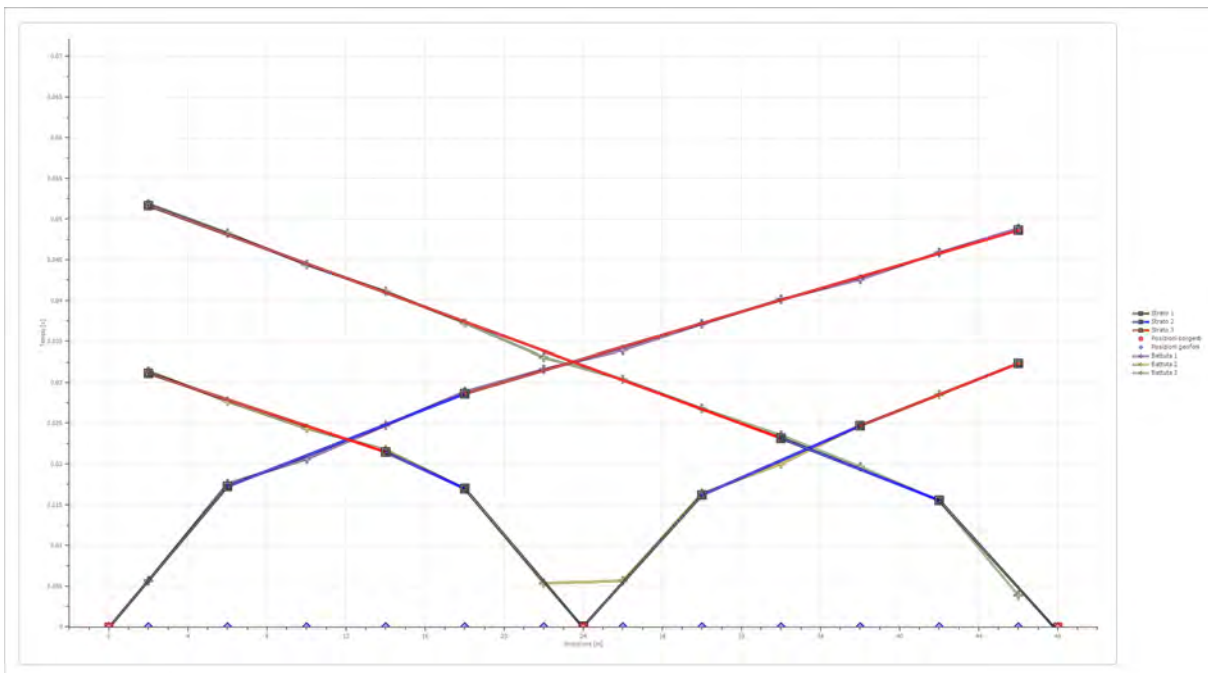
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

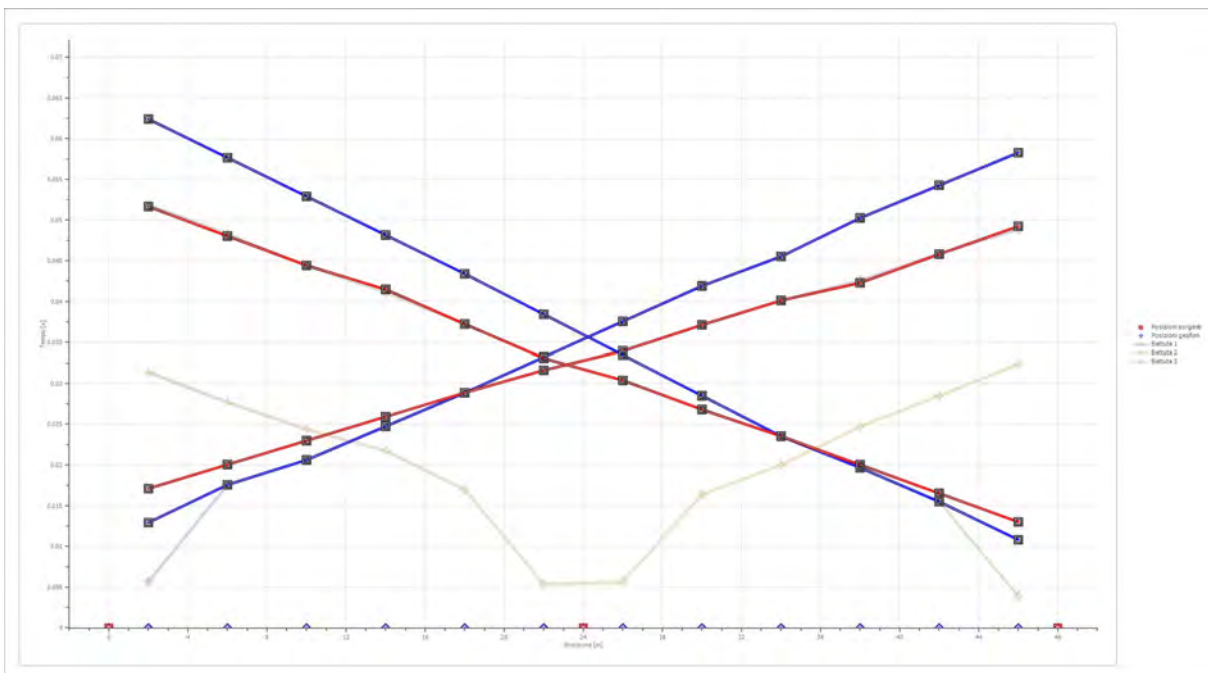


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	51.8371
6.0	48.2622
10.0	44.3893
14.0	41.1122
18.0	37.2393
22.0	33.0685
26.0	30.3873
30.0	26.8123
34.0	23.5353
38.0	19.6624
42.0	15.4916
46.0	3.8729

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

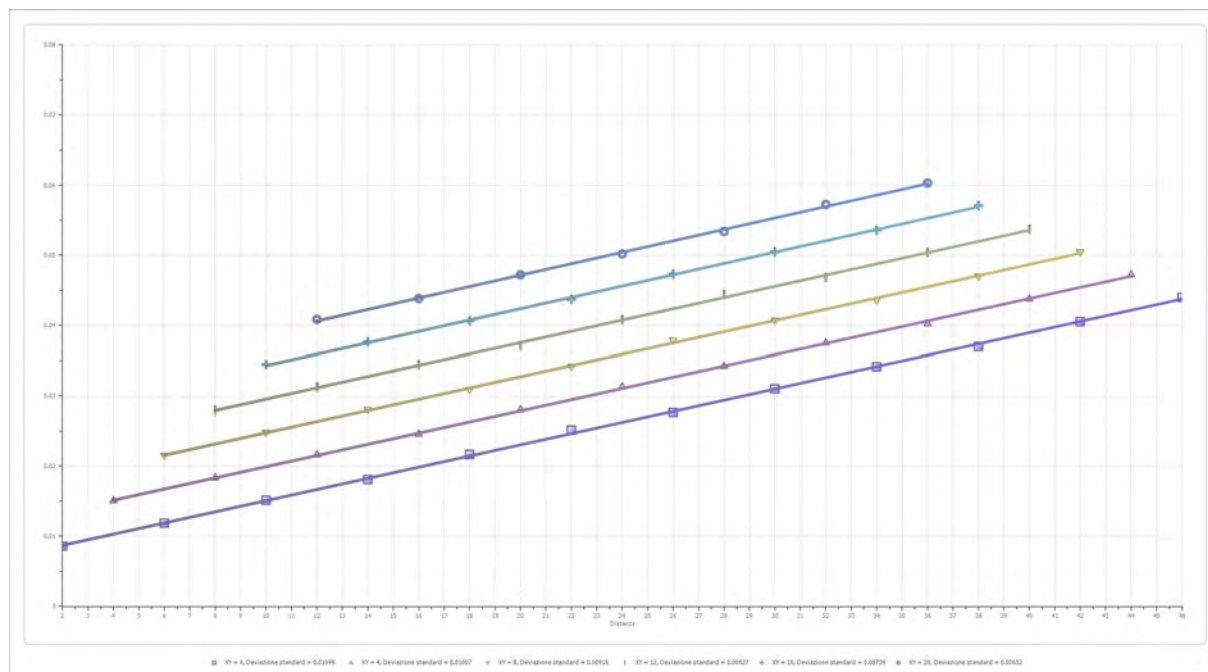
XY: 0

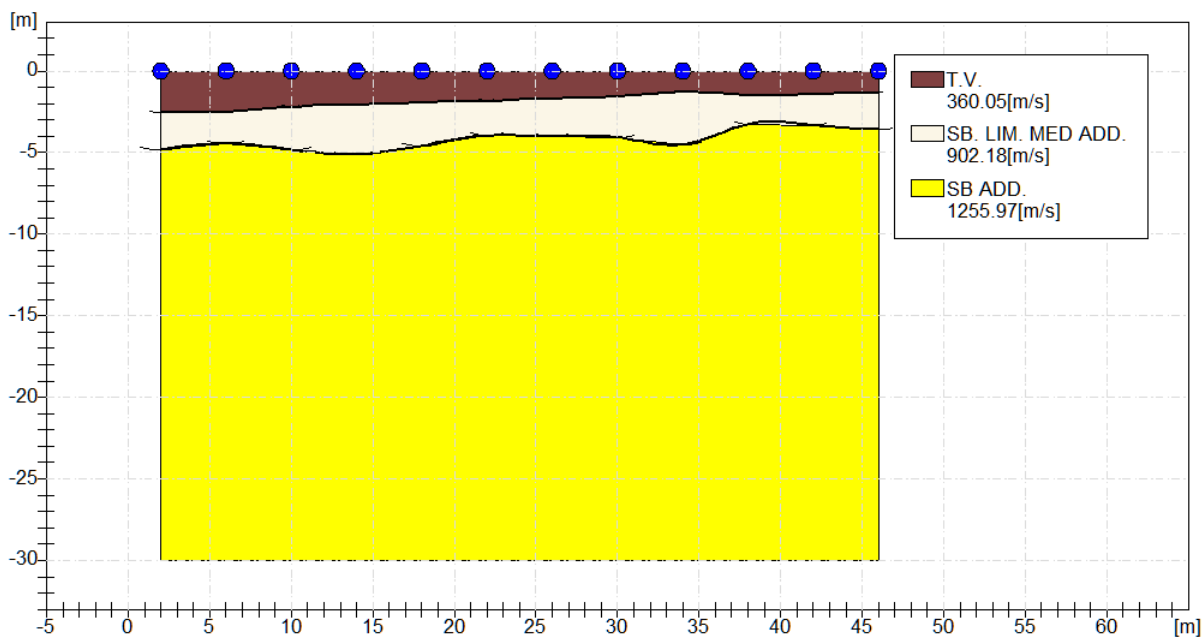
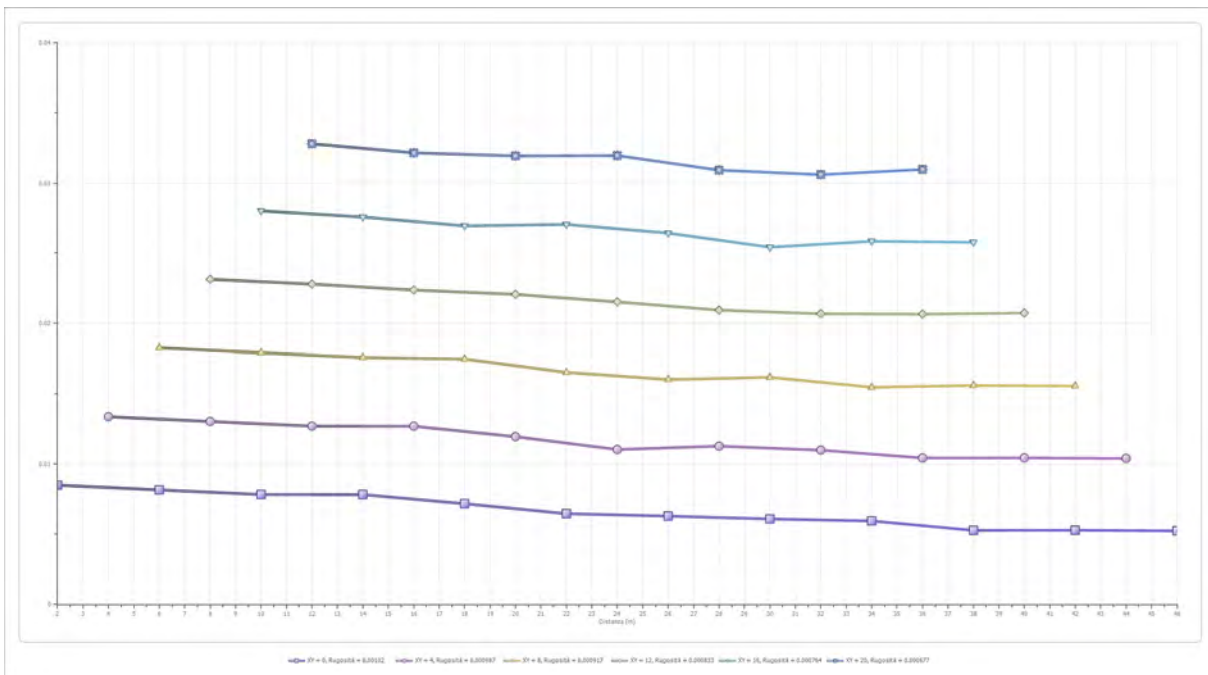
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	2.5	4.8	--
G= 6.0 [m]	2.5	4.4	--
G= 10.0 [m]	2.2	4.8	--
G= 14.0 [m]	2.1	5.1	--
G= 18.0 [m]	1.9	4.6	--
G= 22.0 [m]	1.8	4.0	--
G= 26.0 [m]	1.7	4.0	--
G= 30.0 [m]	1.6	4.1	--
G= 34.0 [m]	1.3	4.5	--
G= 38.0 [m]	1.5	3.3	--
G= 42.0 [m]	1.4	3.3	--
G= 46.0 [m]	1.3	3.6	--
Velocità [m/sec]	360.0	902.2	1256.0
Descrizione	T.V.	SB. LIM. MED ADD.	SB ADD.

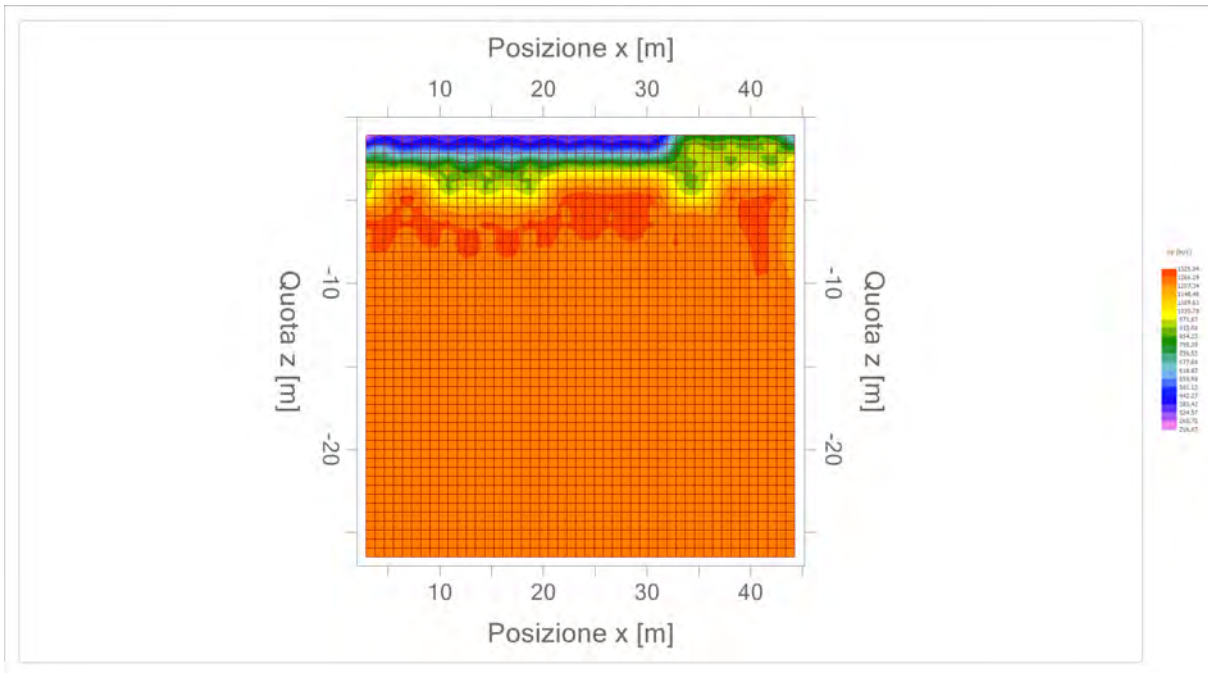
Altri parametri geotecnici

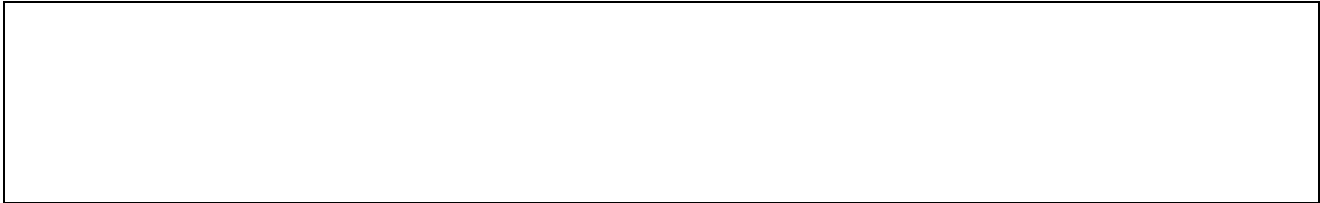
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.35
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	360.05	902.18	1255.97
Vs [m/s]	146.99	396.91	603.35
G0 [MPa]	36.73	283.56	691.66
Ed [Mpa]	220.38	1465.07	2997.18
M0 [MPa]	183.65	1181.51	2305.53
Ey [Mpa]	102.84	782.63	1867.48

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;










Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - SIS-D8

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

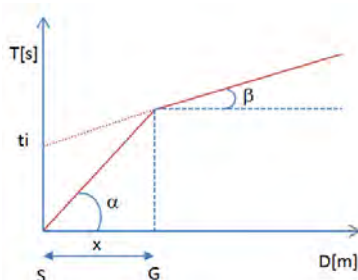
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

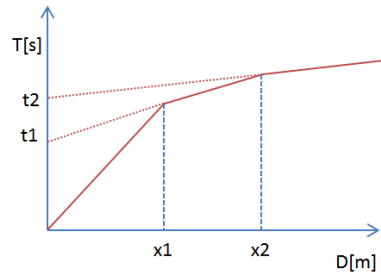
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

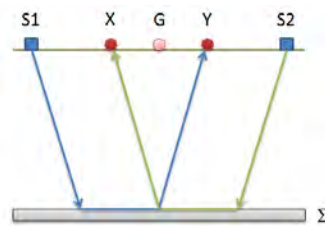


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

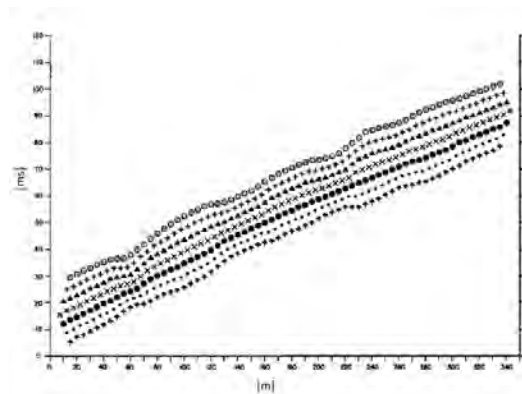
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

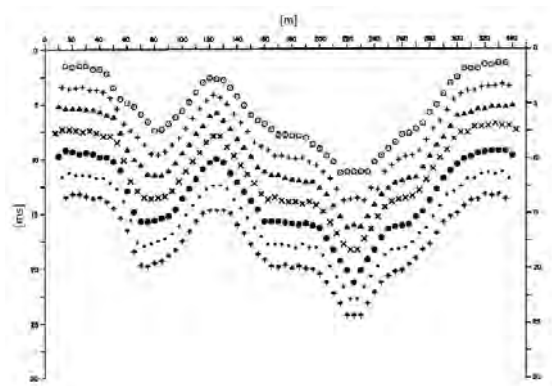
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FTV - AM1 APRICENA - SIS-D8
Committente	AM ENERGY SRL
Zona	Z.I APRICENA
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	12/07/2022
Via	Z.I APRICENA
Latitudine	15,4258023°E[°]
Longitudine	41,7497325°N[°]
Altitudine	43.2[m]

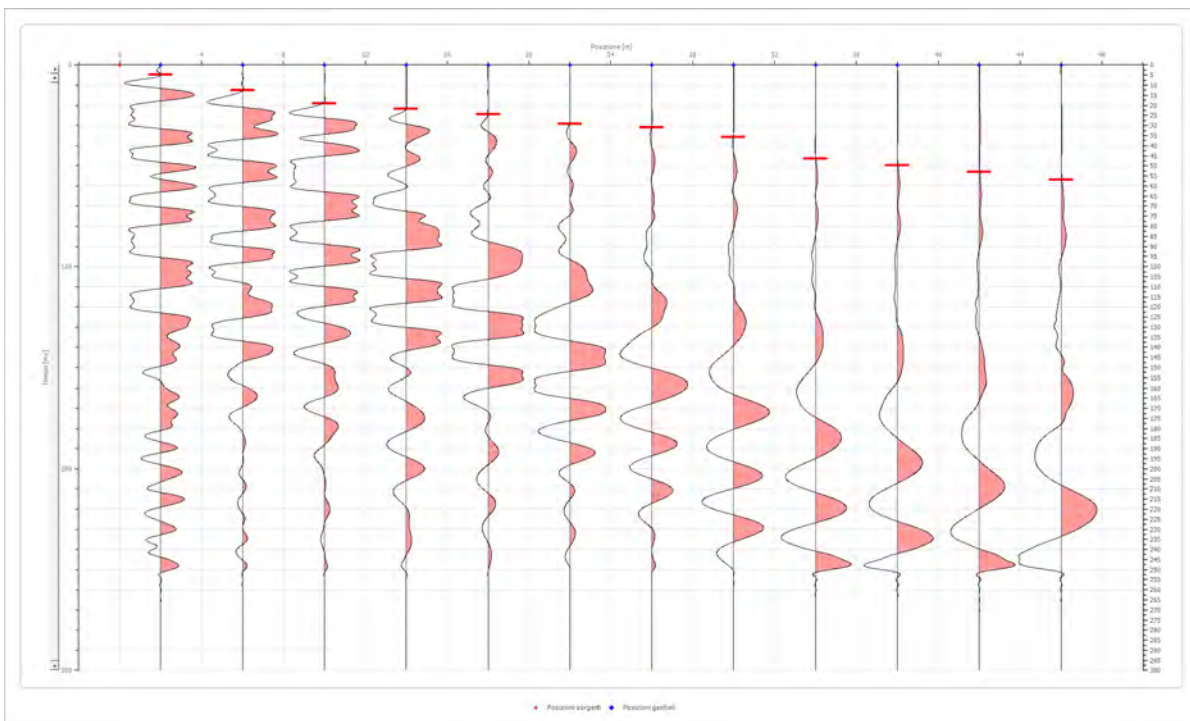
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

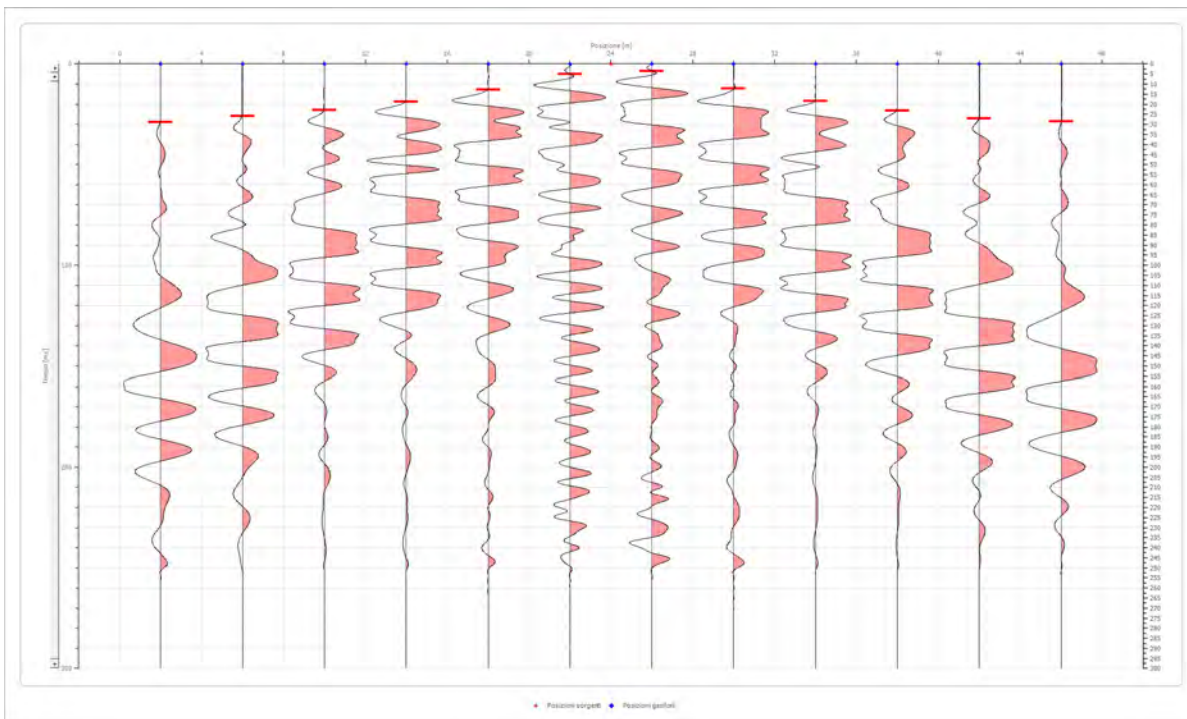


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	4.7666
6.0	12.5124
10.0	19.0665
14.0	21.8750
18.0	24.4290
22.0	29.2500
26.0	31.1250
30.0	35.6250
34.0	46.5000
38.0	49.6250
42.0	53.0288
46.0	56.9017

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

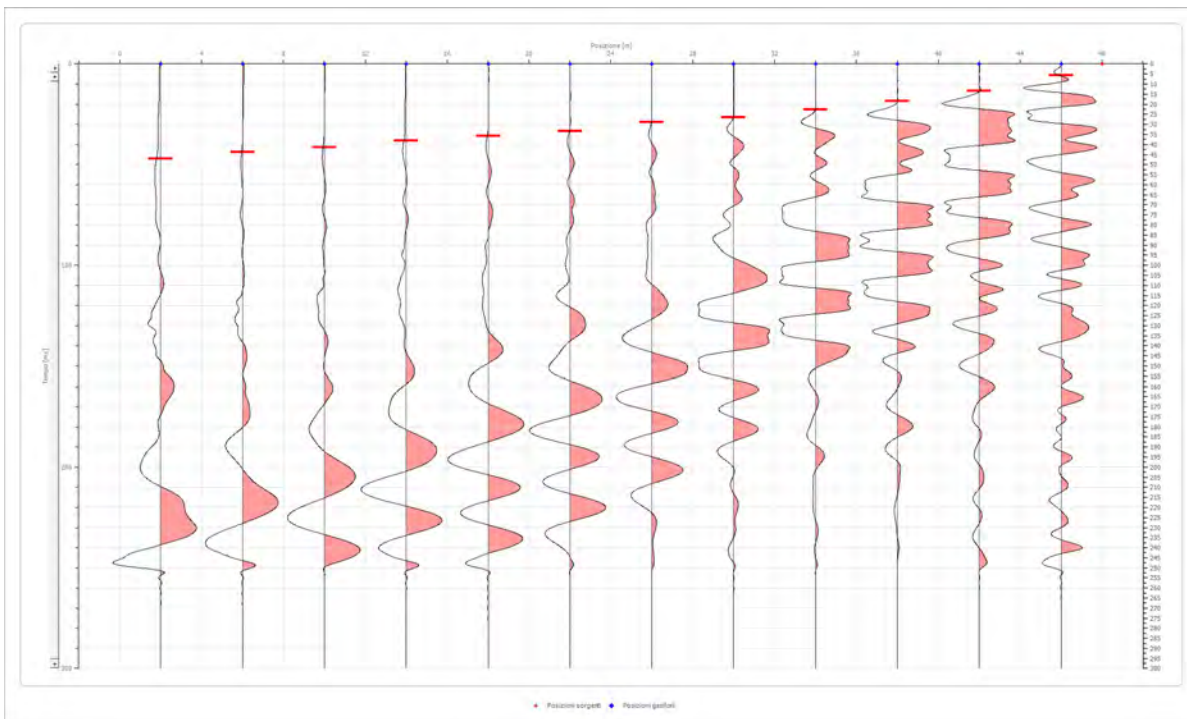


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	28.8977
6.0	25.9186
10.0	22.9394
14.0	18.7686
18.0	12.8103
22.0	5.0645
26.0	3.5750
30.0	12.2145
34.0	18.4707
38.0	23.2373
42.0	27.2500
46.0	28.5998

Battuta 3

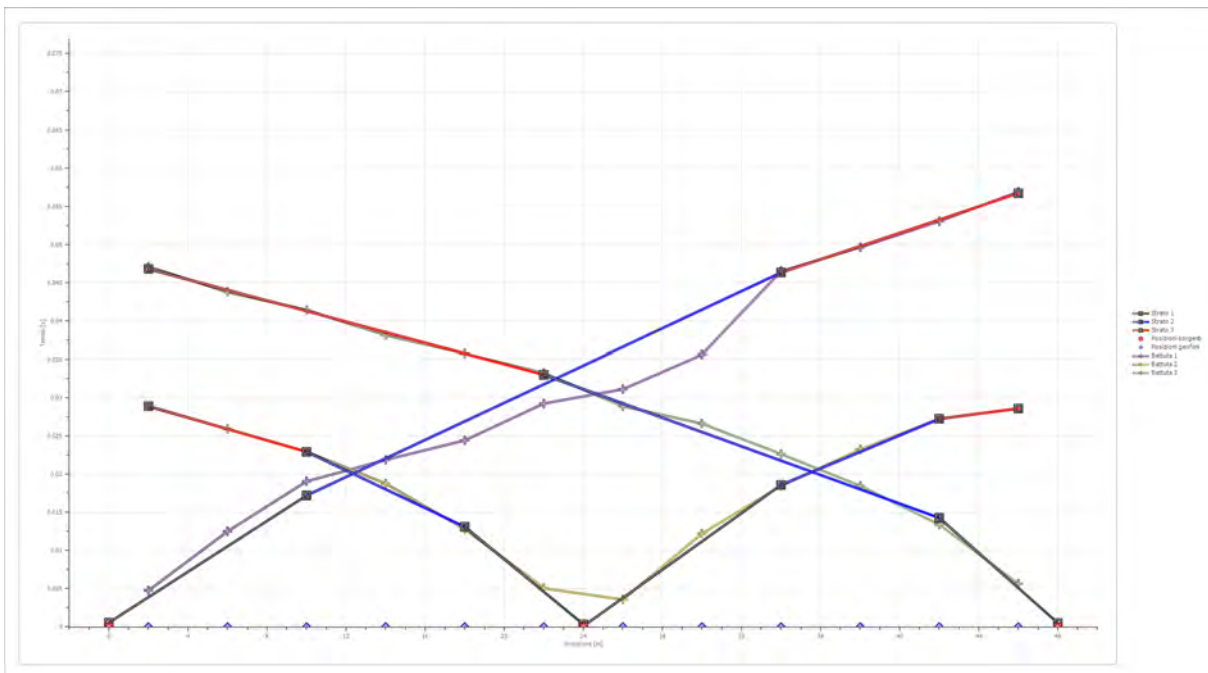
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

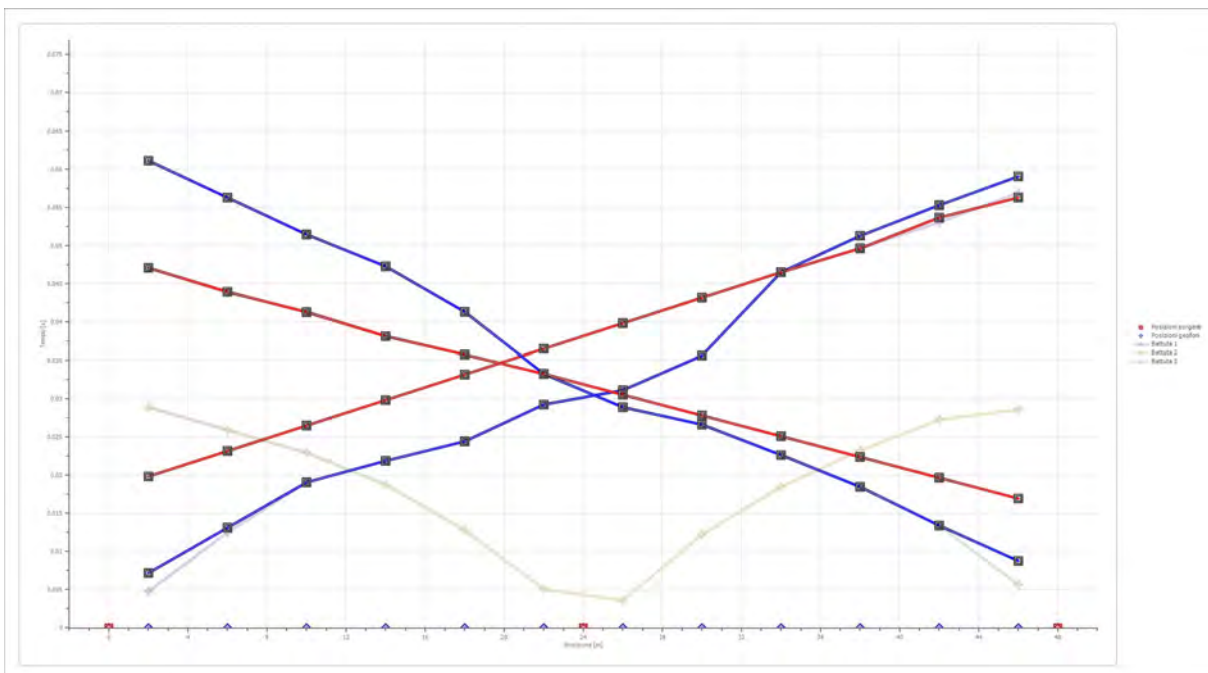


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	47.0705
6.0	43.7934
10.0	41.4101
14.0	38.1331
18.0	35.7500
22.0	33.2500
26.0	28.8977
30.0	26.6250
34.0	22.6415
38.0	18.4707
42.0	13.4062
46.0	5.6604

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

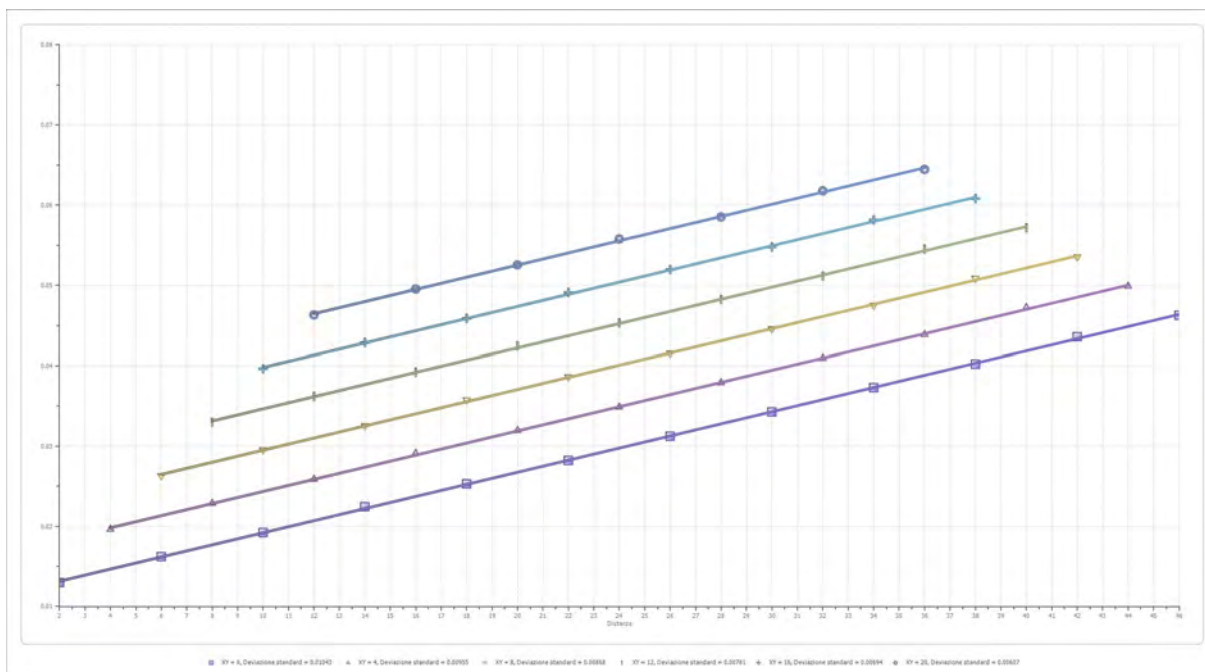
XY: 0

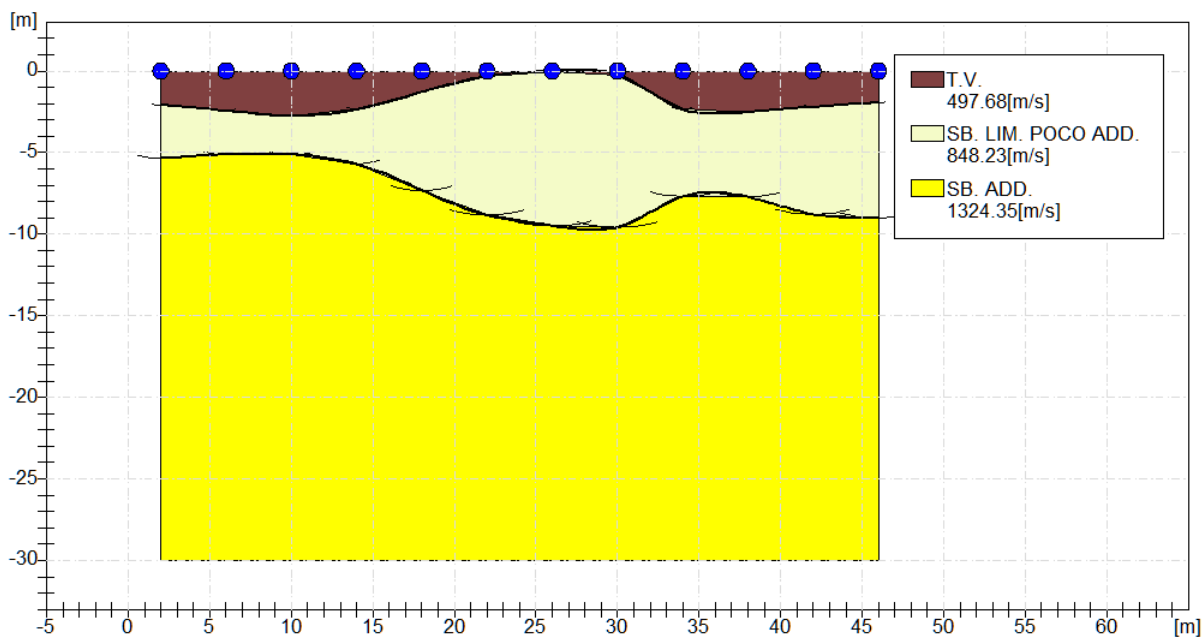
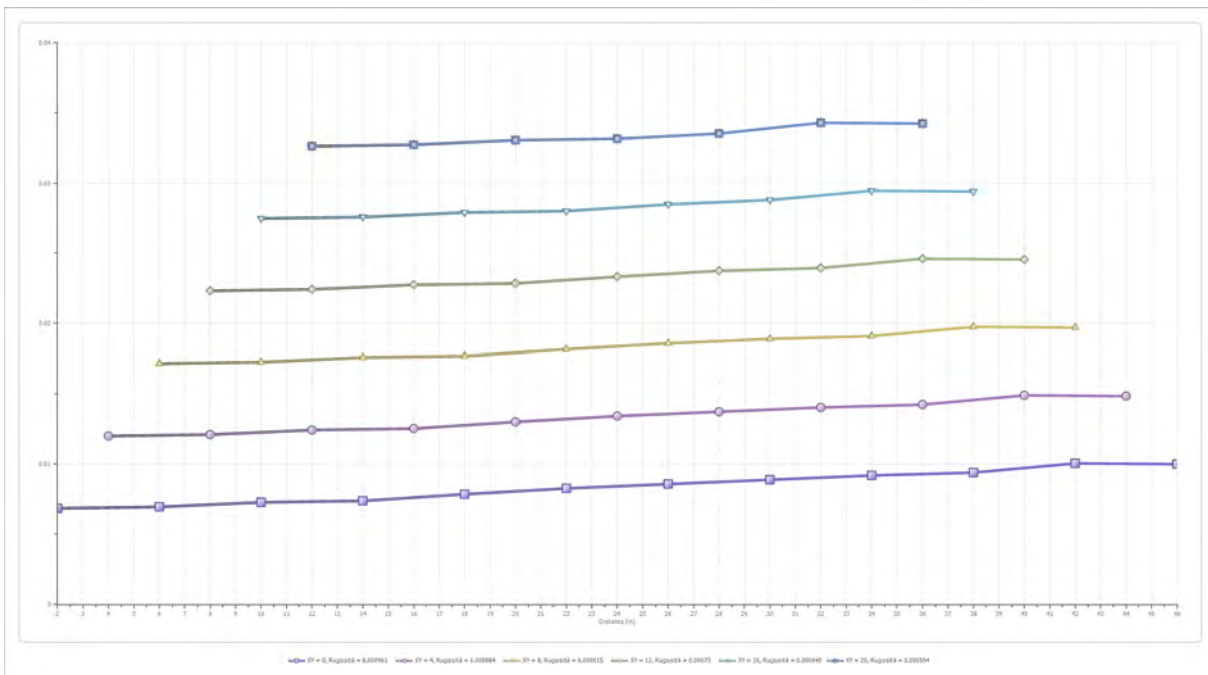
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	2.1	5.4	--
G= 6.0 [m]	2.4	5.1	--
G= 10.0 [m]	2.8	5.1	--
G= 14.0 [m]	2.3	5.7	--
G= 18.0 [m]	1.3	7.3	--
G= 22.0 [m]	0.3	8.8	--
G= 26.0 [m]	0.0	9.5	--
G= 30.0 [m]	0.2	9.6	--
G= 34.0 [m]	2.3	7.7	--
G= 38.0 [m]	2.5	7.7	--
G= 42.0 [m]	2.2	8.8	--
G= 46.0 [m]	1.9	9.0	--
Velocità [m/sec]	497.7	848.2	1324.3
Descrizione	T.V.	SB. LIM. POCO ADD.	SB. ADD.

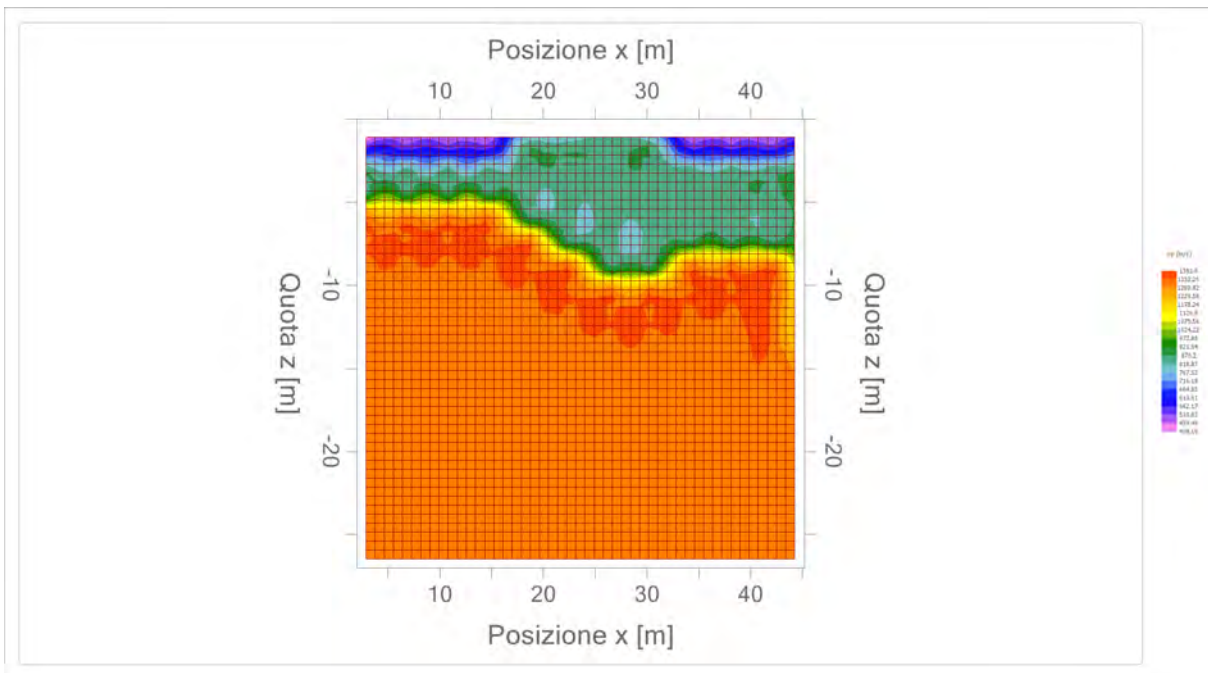
Altri parametri geotecnici

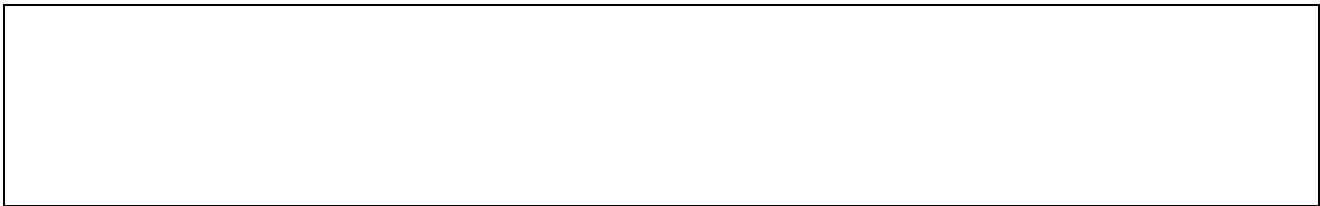
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.35
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	497.68	848.23	1324.35
Vs [m/s]	203.18	373.17	636.20
G0 [MPa]	70.18	250.66	769.02
Ed [Mpa]	421.06	1295.10	3332.40
M0 [MPa]	350.88	1044.43	2563.39
Ey [Mpa]	196.49	691.83	2076.34

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;










Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - SIS-D9

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione	

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

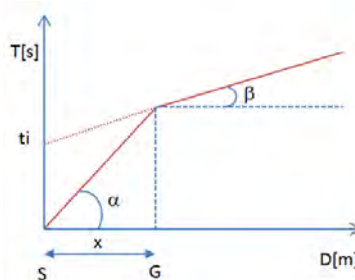
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

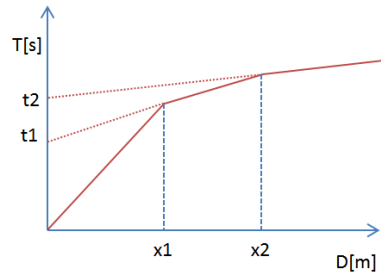
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

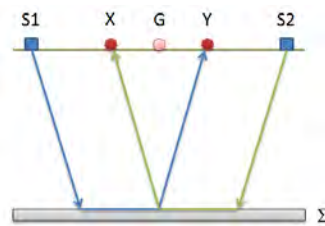


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

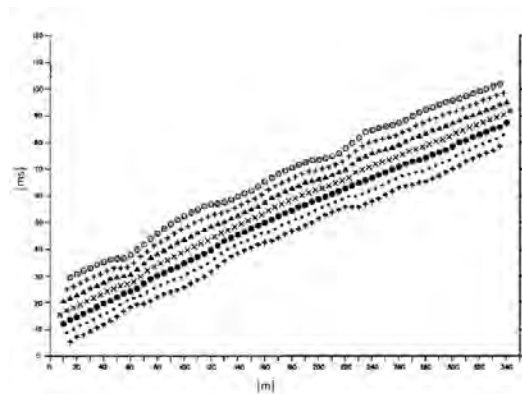
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è

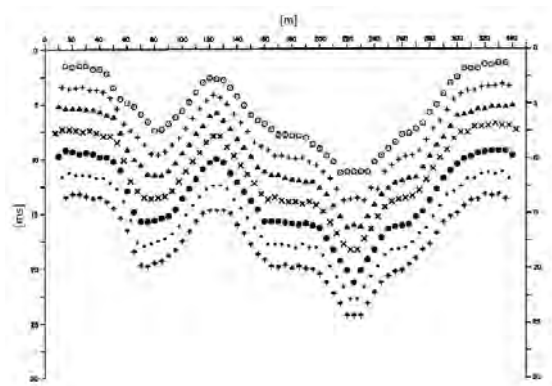
il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FTV - AM2 APRICENA - SIS-D9
Committente	AM 2 ENERGY SRL
Zona	Z.I. APRICENA
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	24/07/2022
Via	Z.I. APRICENA
Latitudine	15,4291372°E[°]
Longitudine	41,7579937°N[°]
Altitudine	45.8[m]

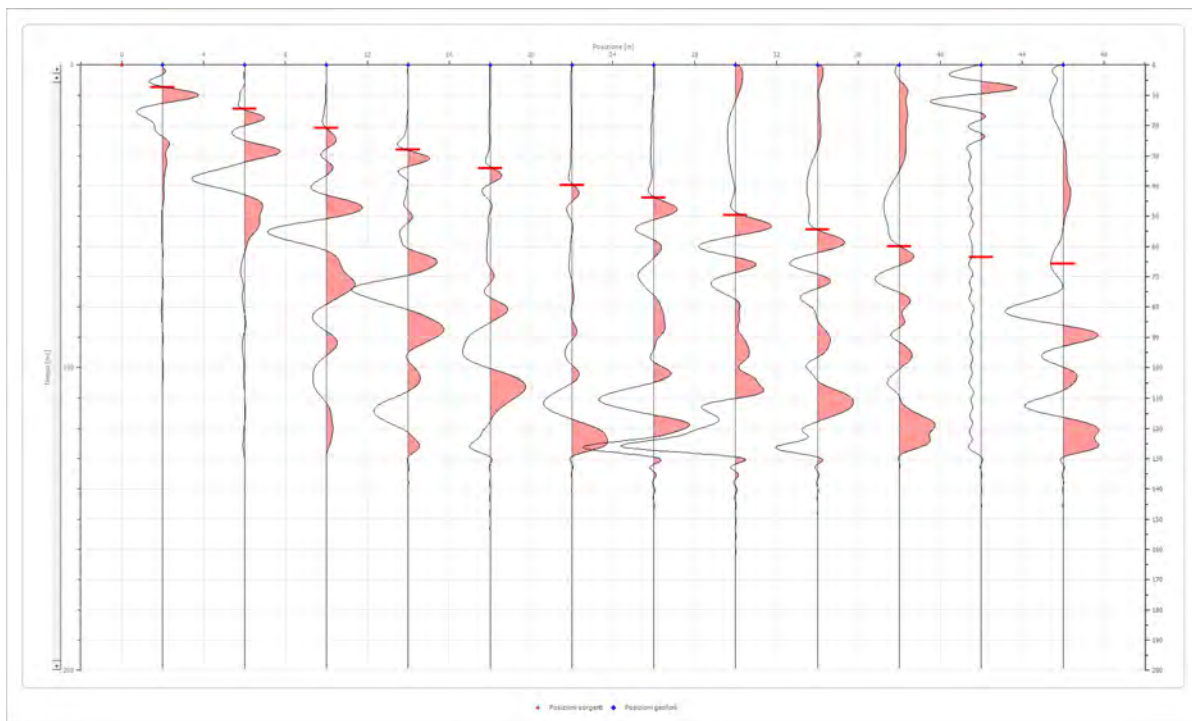
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

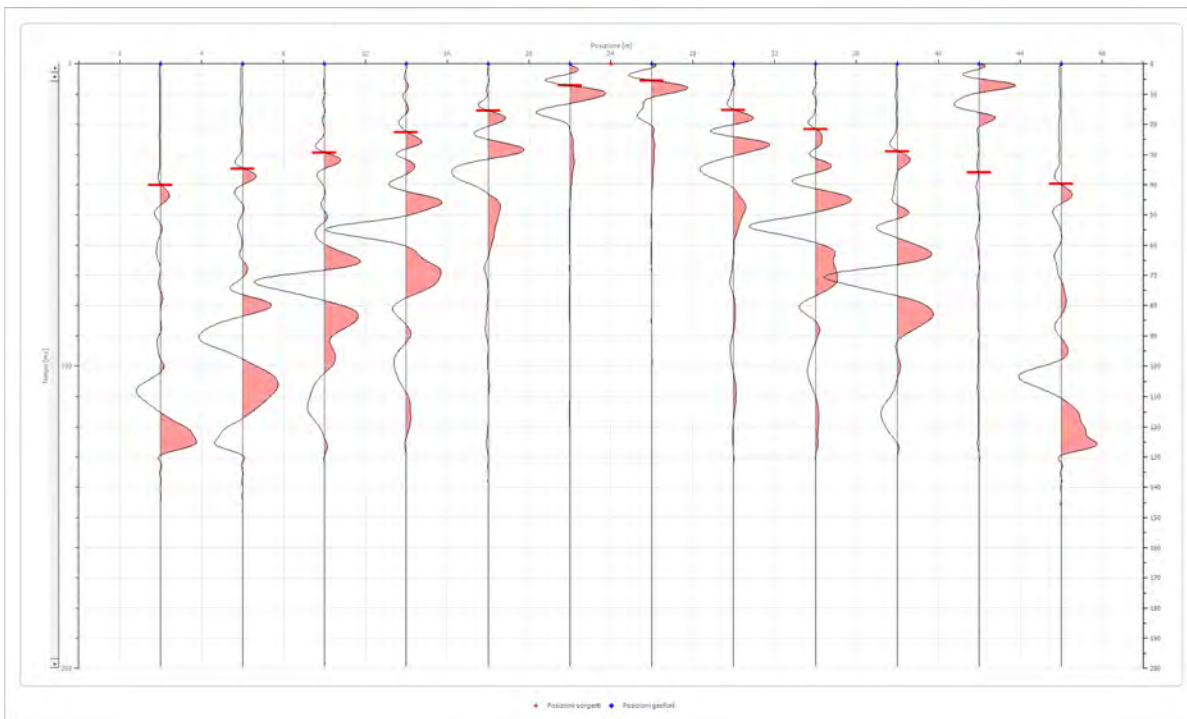
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	7.3486
6.0	14.4985
10.0	20.8540
14.0	28.0040
18.0	34.1609
22.0	39.7219
26.0	43.8928
30.0	49.7500
34.0	54.4191
38.0	59.9801
42.0	63.5551
46.0	65.7398

Battuta 2

Posizione sorgente X 24 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

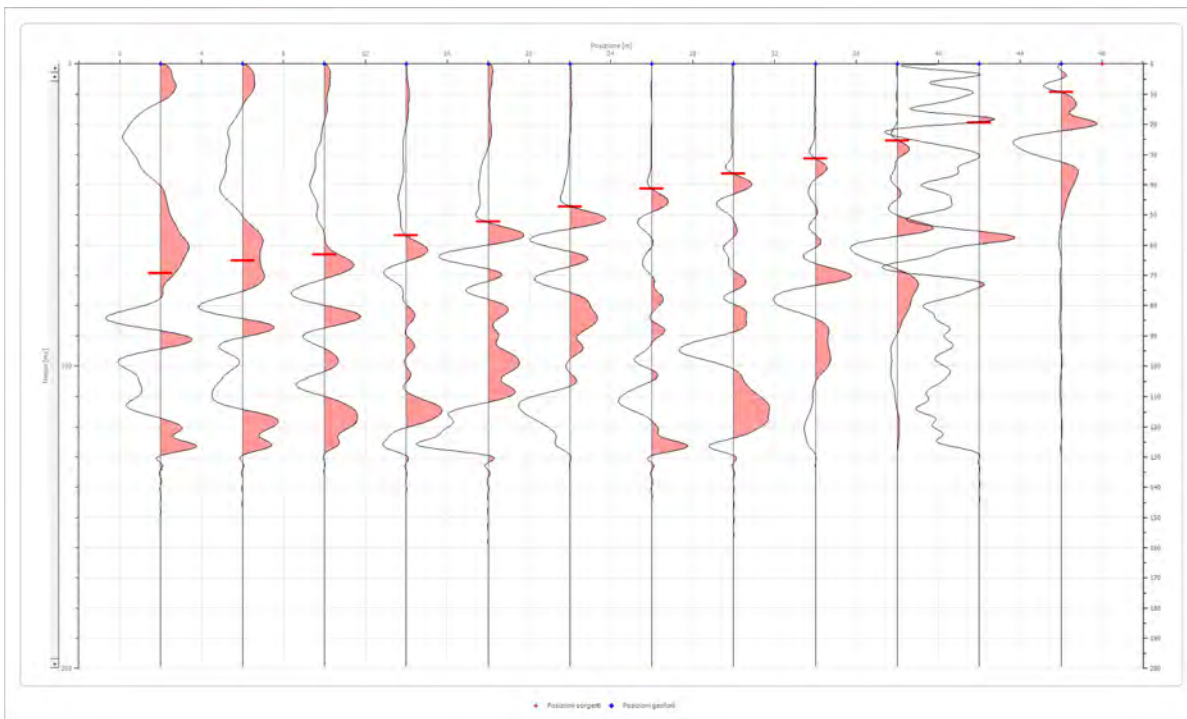


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	40.1192
6.0	34.7567
10.0	29.3942
14.0	22.6415
18.0	15.4916
22.0	7.1500
26.0	5.5611
30.0	15.2929
34.0	21.6485
38.0	28.9970
42.0	35.9484
46.0	39.7219

Battuta 3

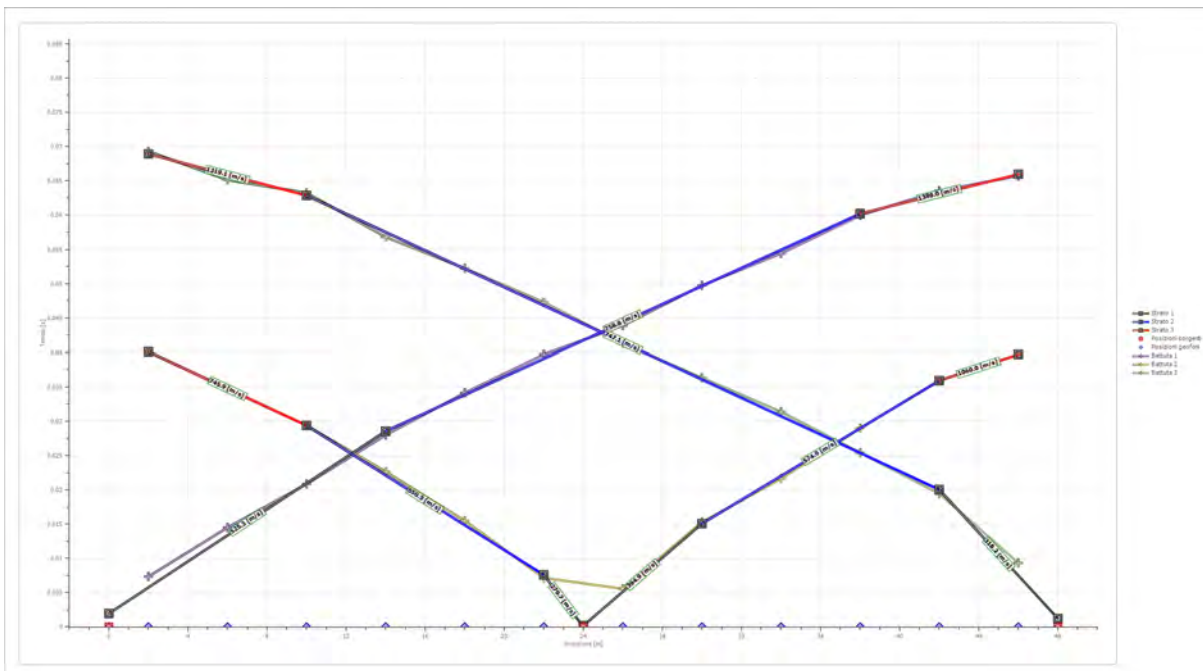
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

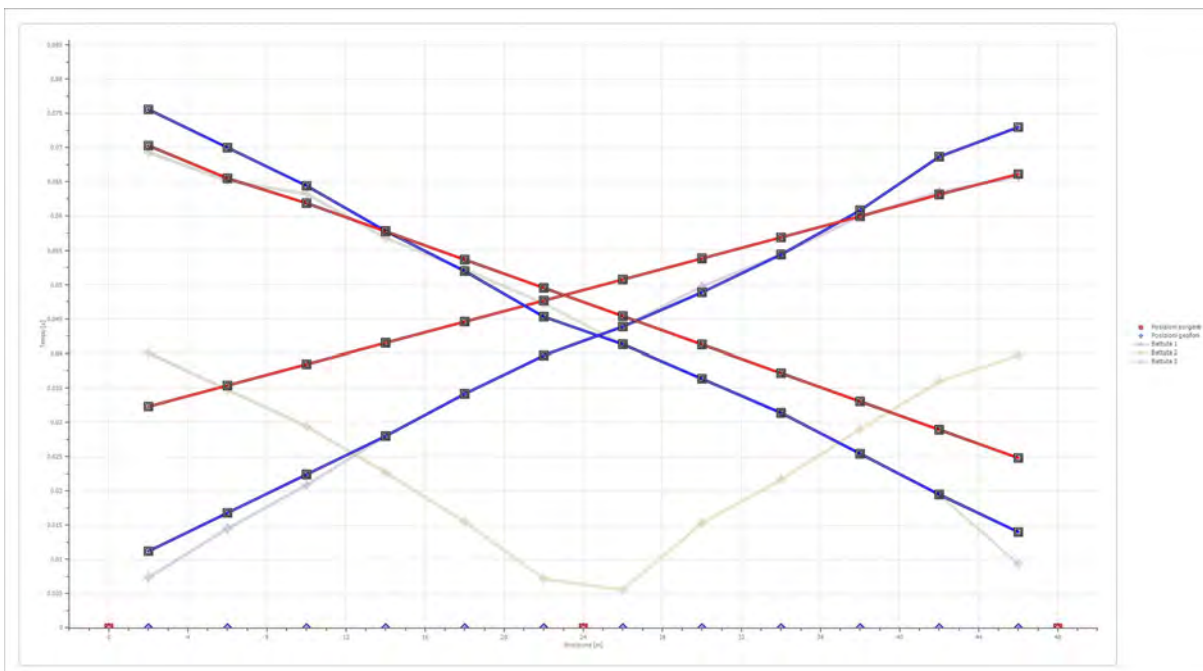


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	69.3148
6.0	65.1440
10.0	63.2500
14.0	56.8024
18.0	52.2344
22.0	47.2691
26.0	41.3108
30.0	36.3456
34.0	31.3803
38.0	25.4220
42.0	19.4638
46.0	9.3347

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

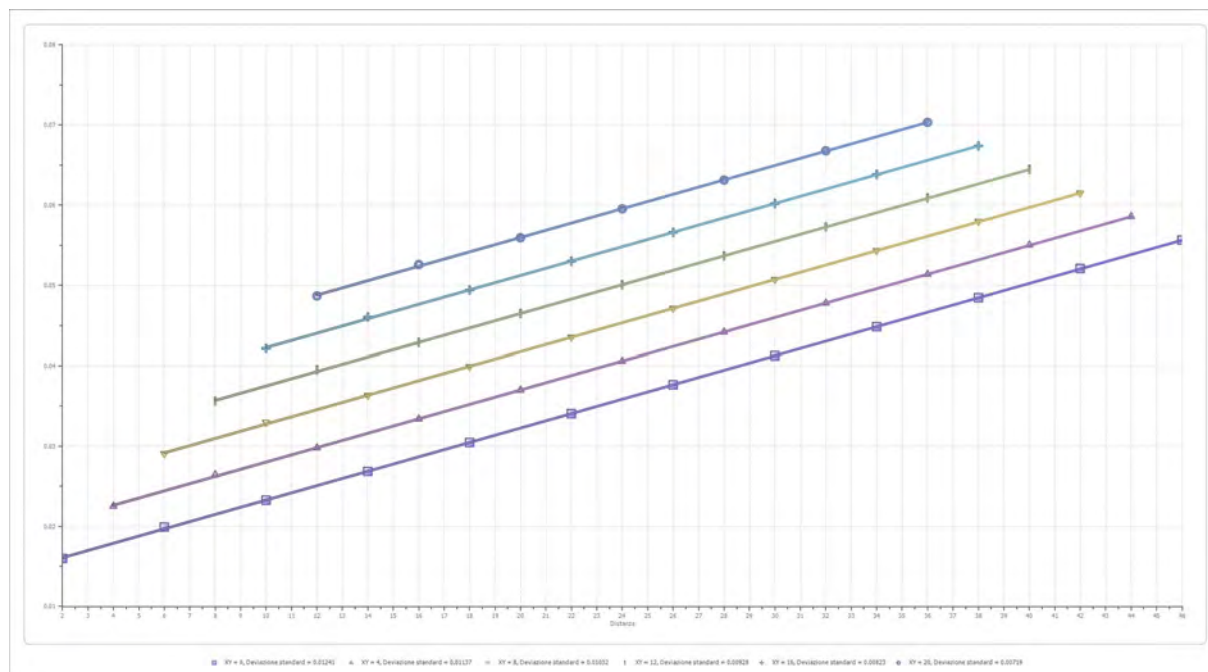
XY: 0

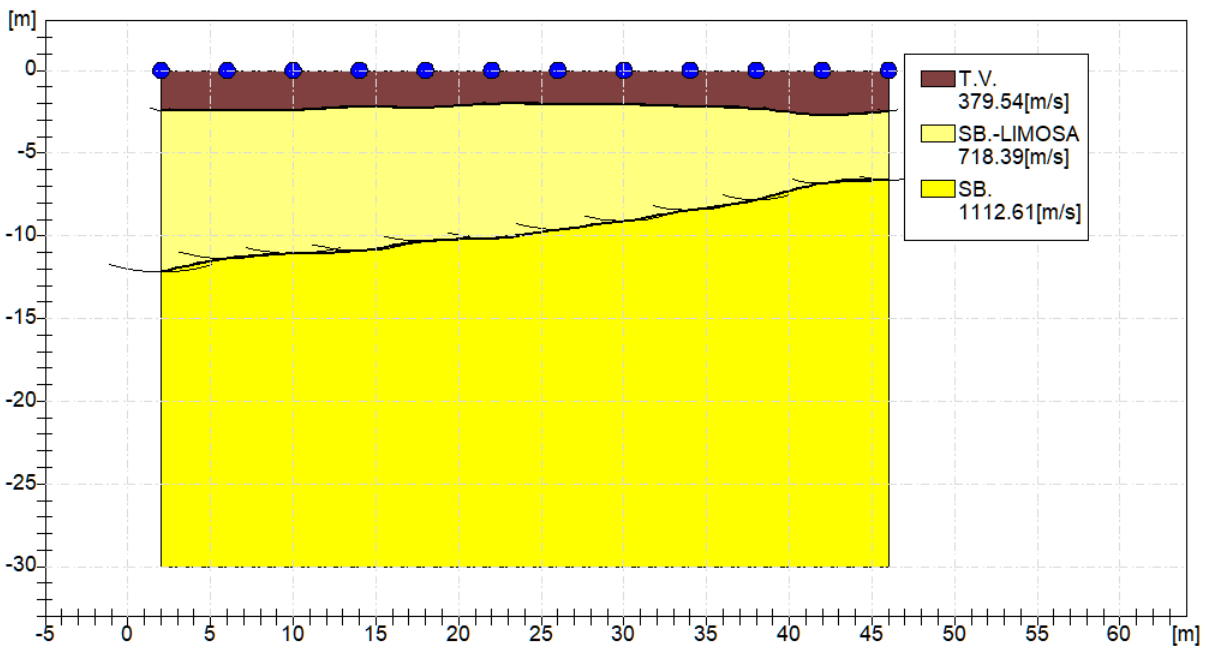
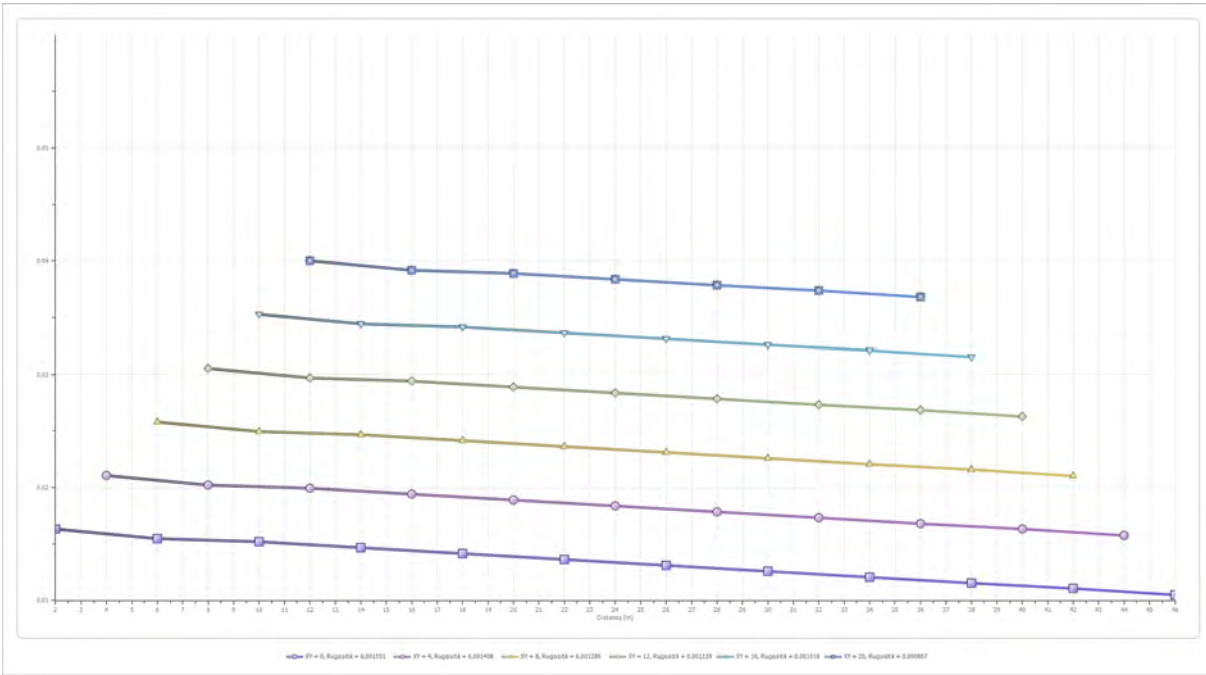
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	2.4	12.2	--
G= 6.0 [m]	2.4	11.4	--
G= 10.0 [m]	2.4	11.1	--
G= 14.0 [m]	2.2	10.9	--
G= 18.0 [m]	2.3	10.3	--
G= 22.0 [m]	2.0	10.1	--
G= 26.0 [m]	2.0	9.6	--
G= 30.0 [m]	2.1	9.1	--
G= 34.0 [m]	2.2	8.4	--
G= 38.0 [m]	2.3	7.8	--
G= 42.0 [m]	2.7	6.8	--
G= 46.0 [m]	2.4	6.6	--
Velocità [m/sec]	379.5	718.4	1112.6
Descrizione	T.V.	SB.-LIMOSA	SB.

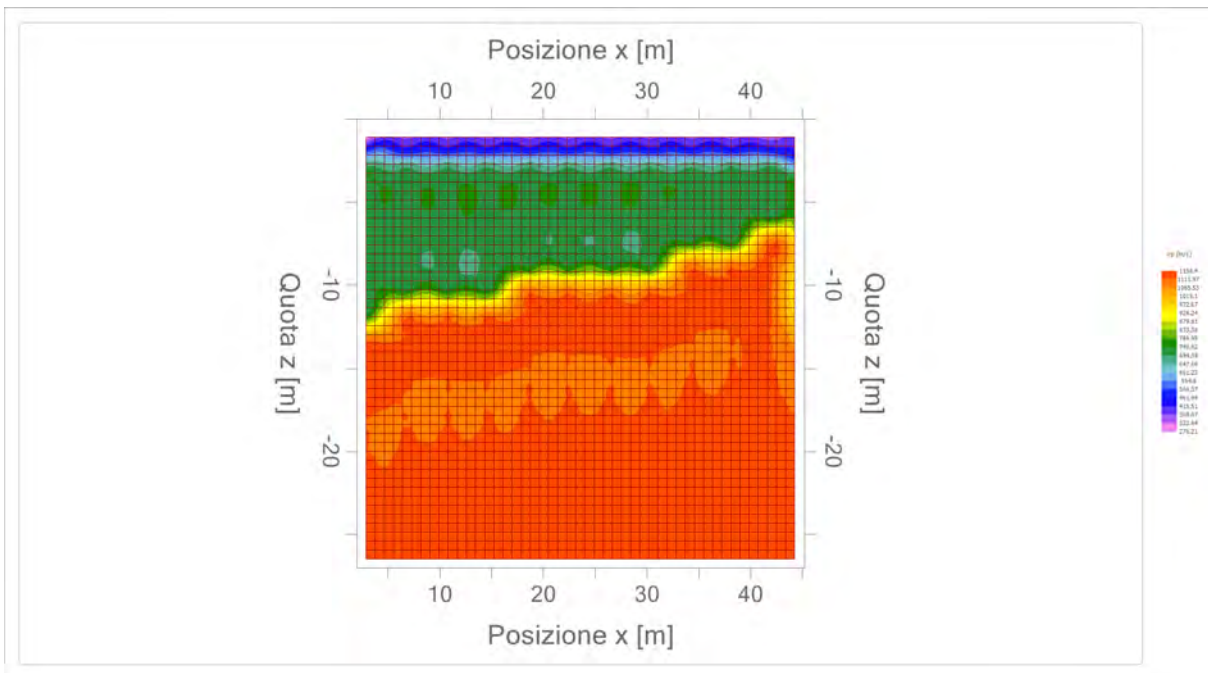
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.50	0.40	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	379.54	718.39	1112.61
Vs [m/s]	0.00	293.28	534.48
G0 [MPa]	0.00	154.82	542.77
Ed [Mpa]	244.88	928.94	2352.00
M0 [MPa]	244.88	774.12	1809.23
Ey [Mpa]	Non un numero reale	433.50	1465.48

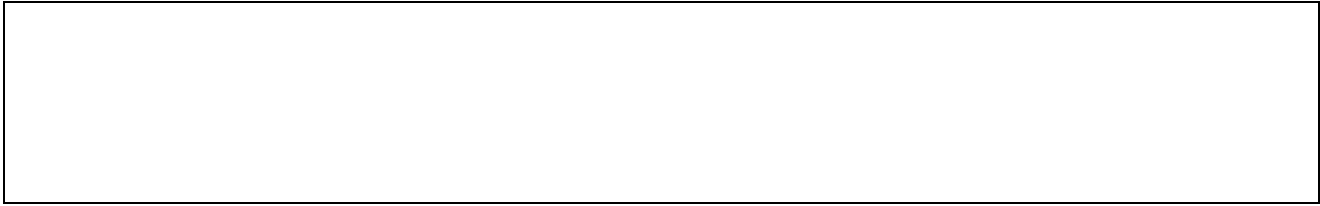
G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;








ALLEGATO 2 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (MASW)



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L01I054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

MASW-B2

	Data: giugno 2021
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

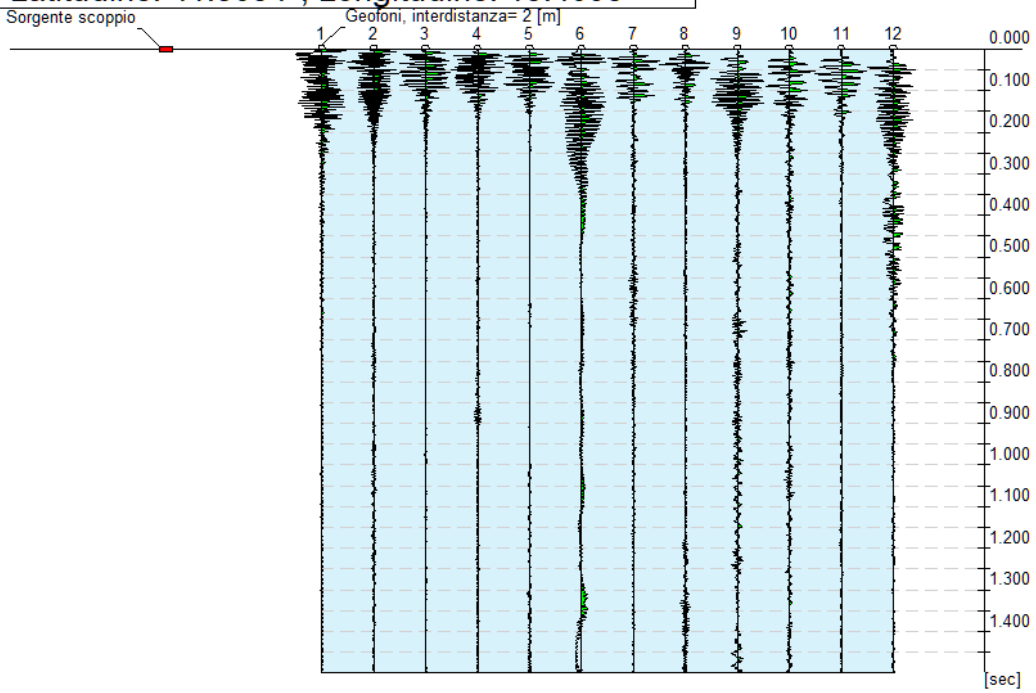
Dati generali

Committente	AM 2 ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	SP 37
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	SP 37
Data	01/06/2021 01:29
Latitudine	41.8054
Longitudine	15.4095

Tracce

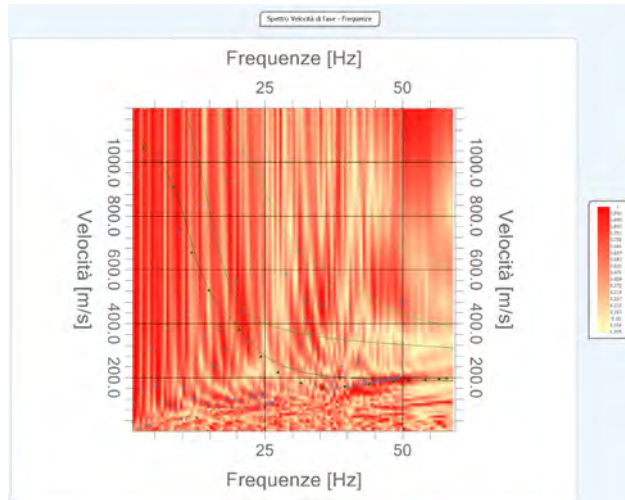
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM 1-2
Cantiere: APRICENA
Località: SP 37
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 01/06/2021
Latitudine: 41.8054°, Longitudine: 15.4095°



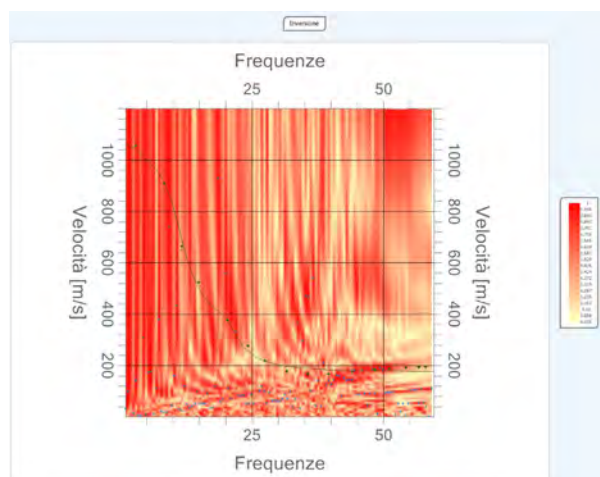
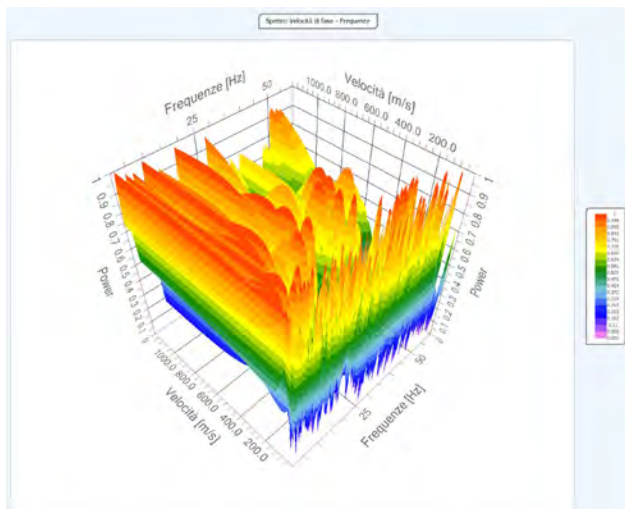
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 1
Frequenza massima di elaborazione [Hz] 60
Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1
Velocità massima di elaborazione [m/sec] 1200
Intervallo velocità [m/sec] 1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.0	1054.9	0
2	8.4	907.8	0
3	11.7	664.0	0
4	14.9	522.9	0
5	20.4	375.8	0
6	24.3	277.1	0
7	27.4	218.6	0
8	31.7	178.3	0
9	35.6	166.2	0
10	39.5	166.2	0
11	44.0	176.3	0
12	48.4	184.4	0
13	51.0	188.4	0
14	54.2	190.4	0
15	56.6	194.5	0
16	58.0	196.5	0



Inversione

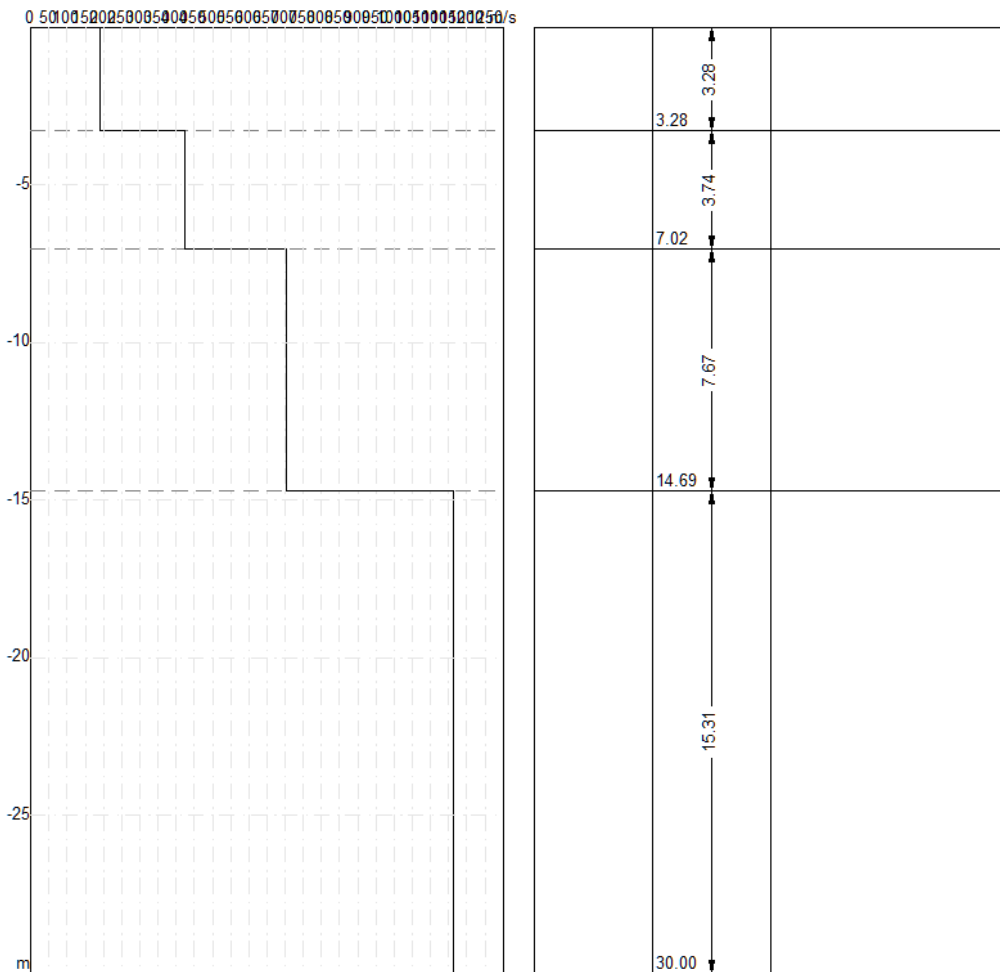
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.28	3.28	1850.0	0.3	No	354.7	189.6
2		7.02	3.74	2000.0	0.3	No	793.1	423.9
3		14.69	7.67	2200.0	0.3	No	1317.9	704.5
4		oo	oo	2400.0	0.3	No	2178.3	1164.4

Percentuale di errore

0.122 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.069



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	597.97
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

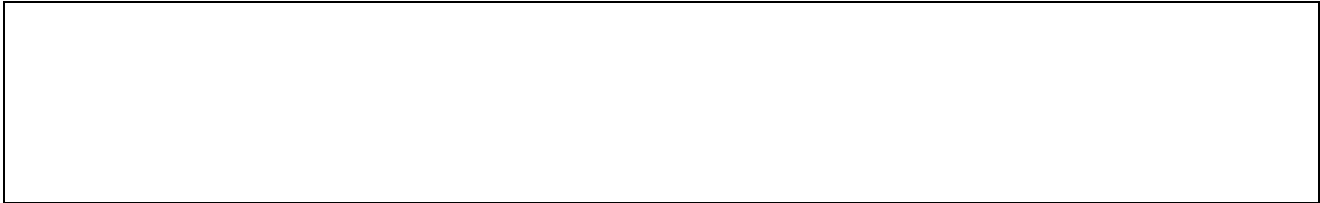
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.28	3.28	189.59	354.68	1800.00	0.30	64.70	226.44	140.18	168.21	N/A	581.27
2	7.02	3.74	423.95	793.13	1900.00	0.30	341.49	1195.22	739.90	887.88	N/A	N/A
3	14.69	7.67	704.46	1317.93	2000.00	0.30	992.54	3473.89	2150.50	2580.61	N/A	N/A
4	oo	oo	1164.38	2178.35	2200.00	0.30	2982.70	10439.45	6462.51	7755.02	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L01I054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

MASW - D3

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

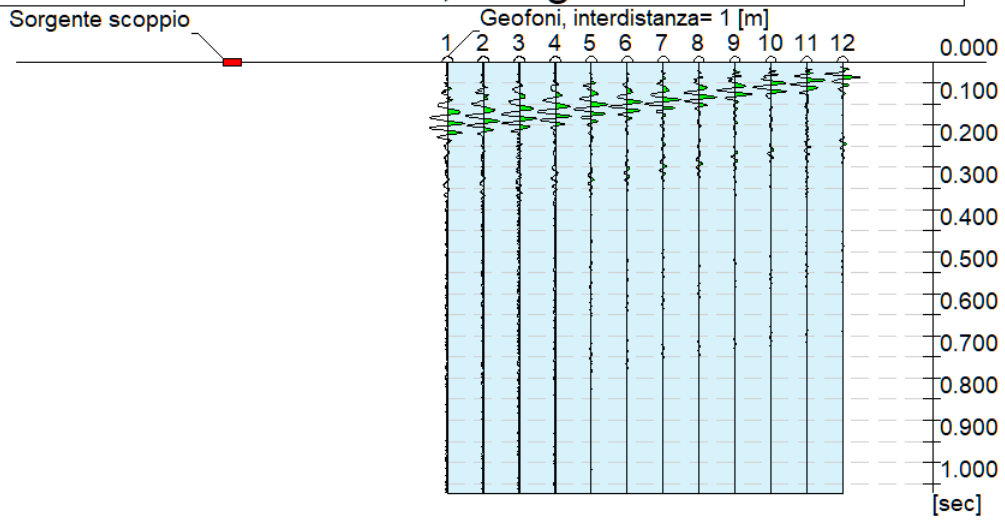
Dati generali

Committente	AM 2 ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	Z.I. APRICENA
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	03/06/2021 12:00
Latitudine	15.4247
Longitudine	41.7620

Tracce

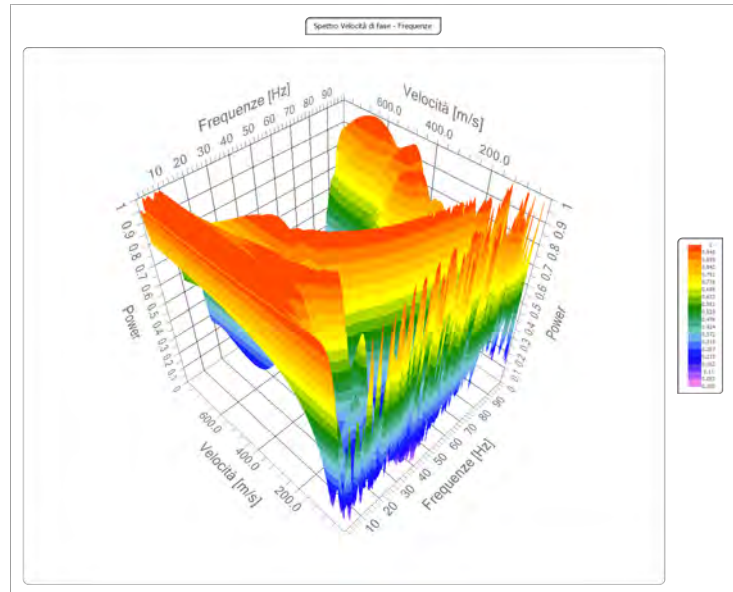
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1024.0
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM 1-2
Cantiere: ASI APRICENA
Località: APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 03/06/2021
Latitudine: 15.4247°, Longitudine: 41.7620°



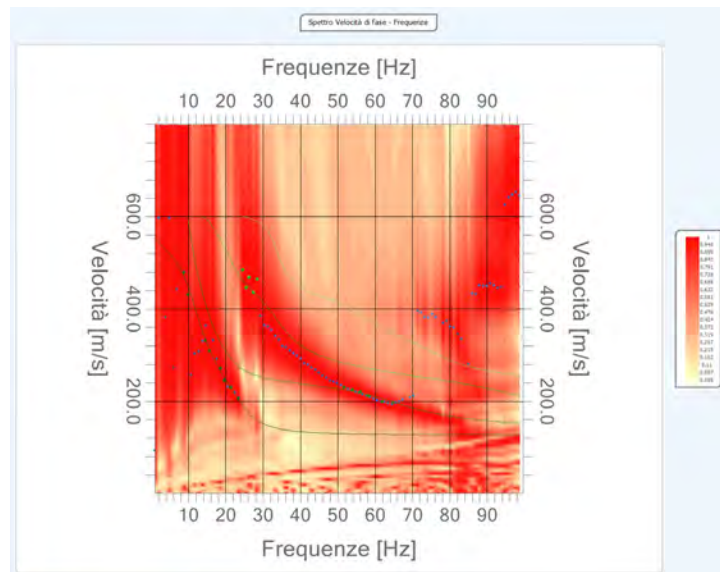
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	100
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.8	478.2	0
2	10.0	431.5	0
3	14.5	331.5	0
4	15.6	308.6	0
5	18.7	271.7	0
6	19.6	244.5	0
7	21.4	229.3	0
8	23.4	205.4	0
9	24.6	484.7	2
10	25.5	446.7	2
11	26.2	468.4	2
12	27.4	435.8	2
13	28.5	465.2	2
14	51.7	230.4	1
15	53.9	224.9	1
16	56.1	220.6	1
17	58.2	211.9	1
18	61.8	198.8	1
19	64.8	197.8	1



Inversione

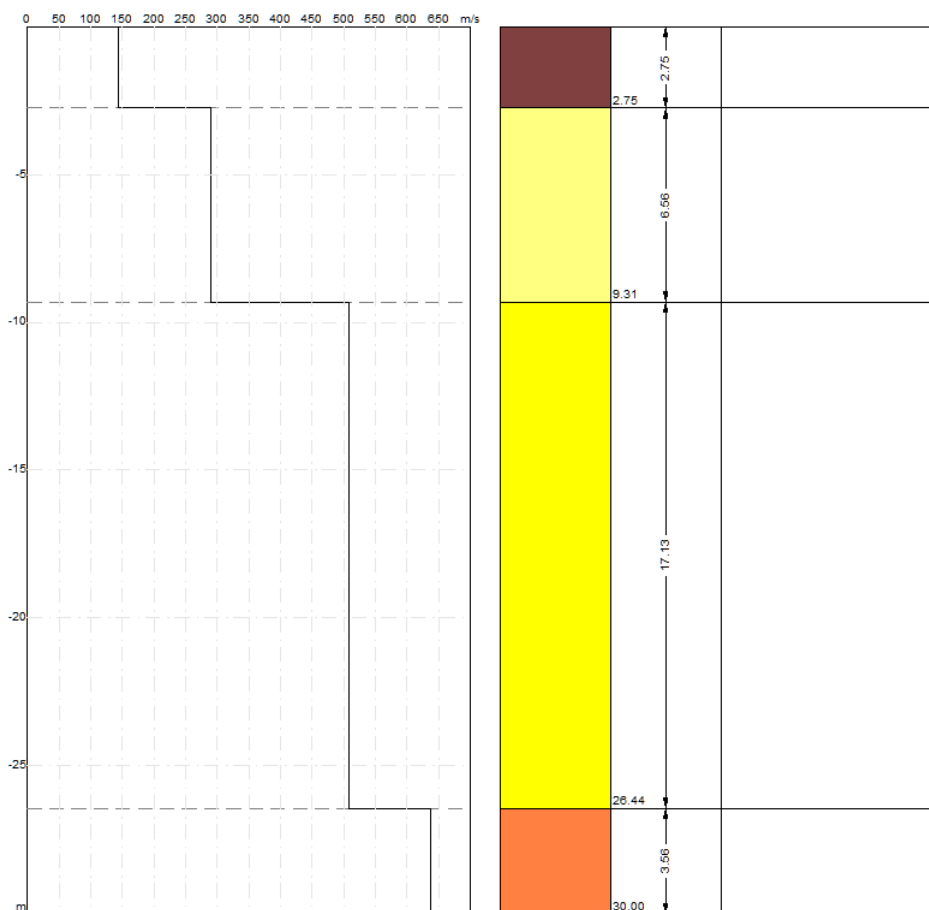
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.75	2.75	1750.0	0.5	No	735.8	144.3
2		9.31	6.56	1850.0	0.4	No	887.7	290.6
3		26.44	17.13	1950.0	0.4	No	1367.9	508.0
4		∞	∞	2000.0	0.4	No	1449.8	637.8

Percentuale di errore

0.085 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.024



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	370.64
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

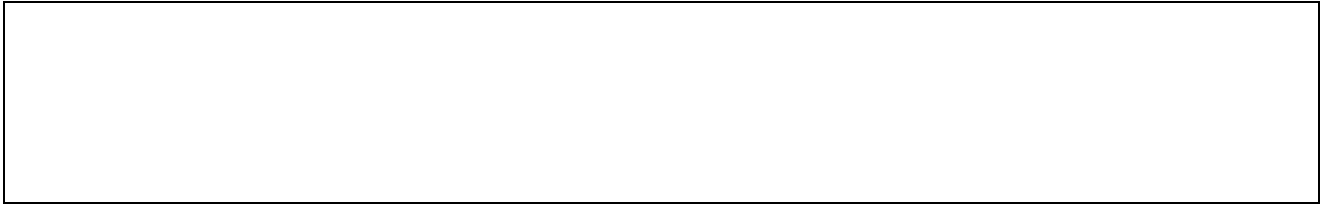
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.75	2.75	144.31	735.82	1700.00	0.48	35.40	920.44	873.24	104.79	52	147.50
2	9.31	6.56	290.57	887.69	1800.00	0.44	151.97	1418.40	1215.77	437.68	N/A	4968.57
3	26.44	17.13	508.03	1367.92	1900.00	0.42	490.38	3555.27	2901.42	1392.68	N/A	N/A
4	oo	oo	637.84	1449.83	1950.00	0.38	793.34	4098.94	3041.15	2189.63	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L01I054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

MASW - D4

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

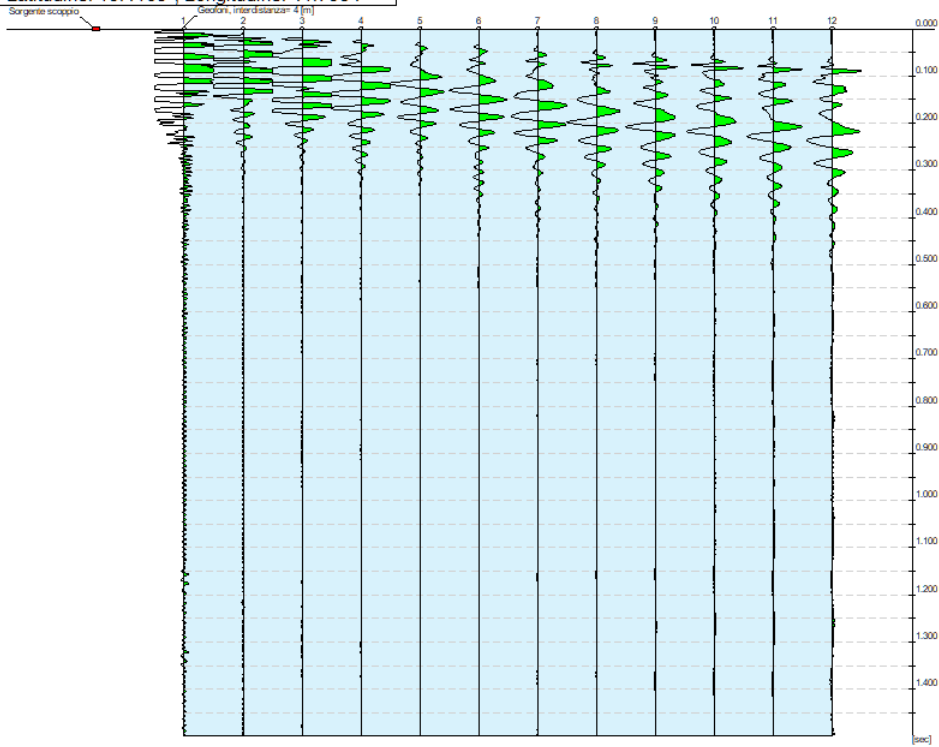
Dati generali

Committente	AM 2 ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	Z.I. APRICENA
Operatore	Dott. Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	01/06/2022 12:00
Latitudine	15.4169
Longitudine	41.7584

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM 1-2
Cantiere: ASI APRICENA
Località: APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 01/06/2022
Latitudine: 15.4169°, Longitudine: 41.7584°

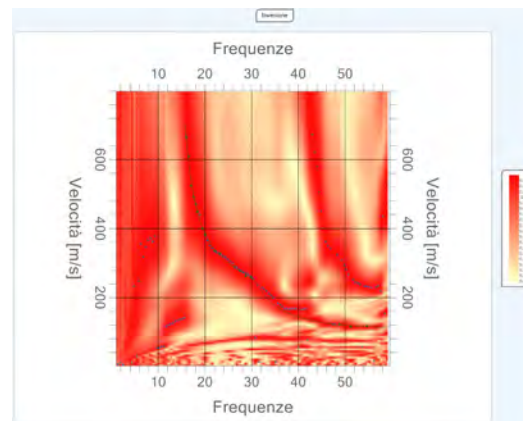
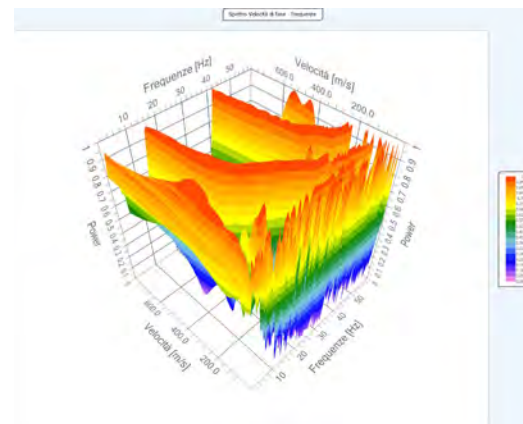
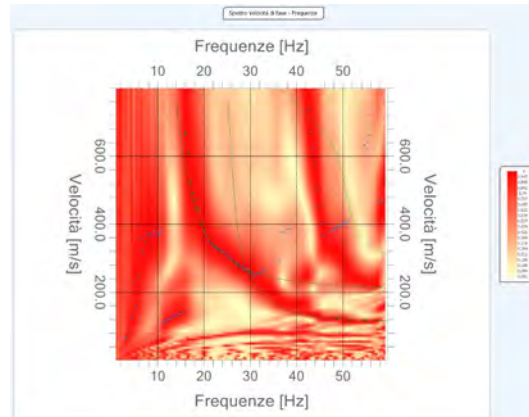


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	16.0	666.3	0
2	16.6	608.7	0
3	17.0	523.9	0
4	17.6	490.2	0
5	18.1	469.5	0
6	18.4	447.8	0
7	19.5	401.0	0
8	20.1	383.7	0
9	22.3	334.7	0
10	23.1	328.2	0
11	26.3	290.2	0
12	27.6	277.1	0
13	28.8	263.0	0
14	29.9	258.6	0
15	48.8	121.7	0
16	51.2	115.1	0
17	54.7	117.3	0



Inversione

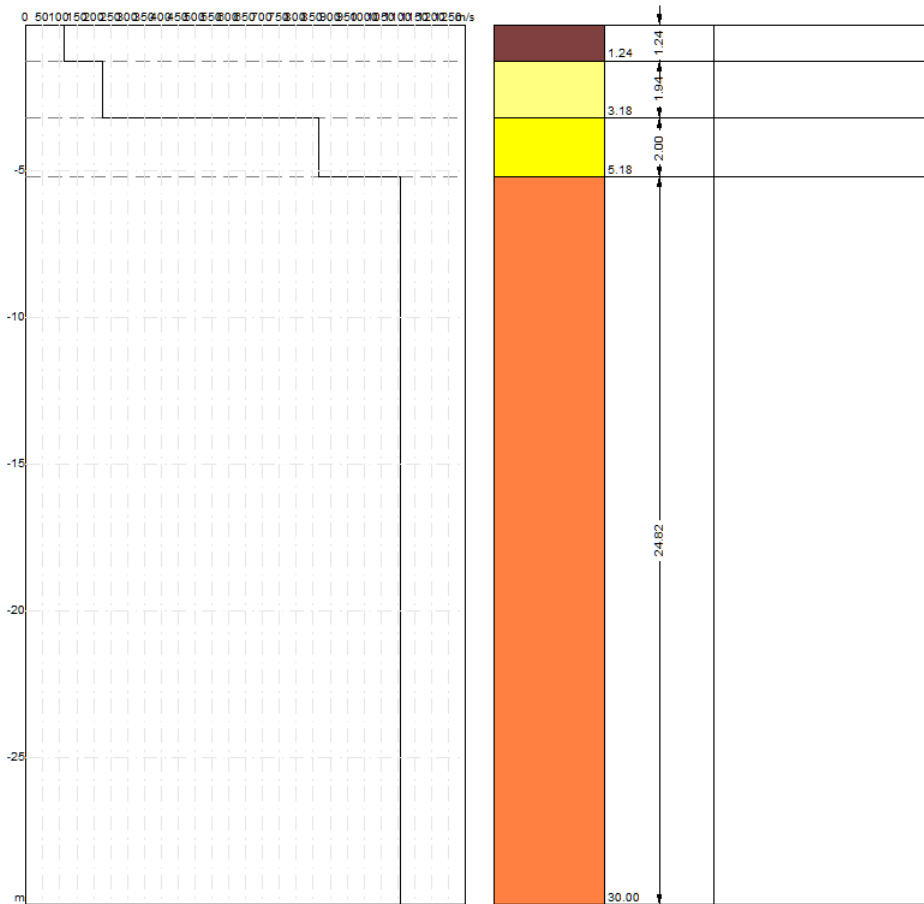
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.24	1.24	1750.0	0.4	No	236.2	113.5
2		3.18	1.94	1800.0	0.4	No	607.3	225.5
3		5.18	2.00	1850.0	0.4	No	2121.5	866.1
4		∞	∞	1900.0	0.4	No	2517.3	1107.5

Percentuale di errore

0.041 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.017



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	677.88
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

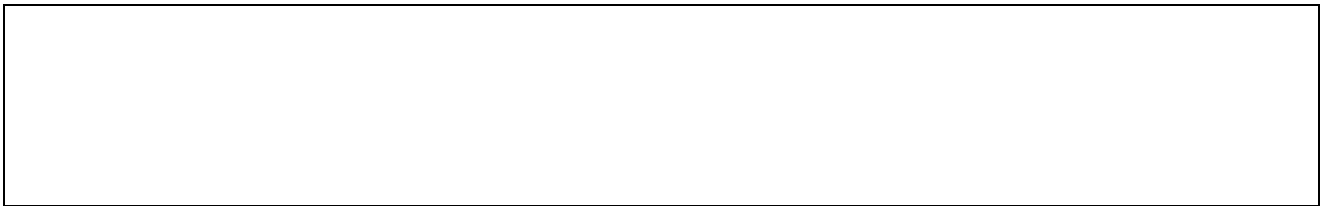
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.24	1.24	113.46	236.19	1700.00	0.35	21.89	94.84	65.66	59.09	32	44.06
2	3.18	1.94	225.54	607.30	1750.00	0.42	89.02	645.42	526.72	252.83	54	1391.26
3	5.18	2.00	866.12	2121.55	1800.00	0.40	1350.29	8101.75	6301.36	3780.82	N/A	N/A
4	oo	oo	1107.48	2517.34	1850.00	0.38	2269.05	11723.45	8698.04	6262.59	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - MASW-D5

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

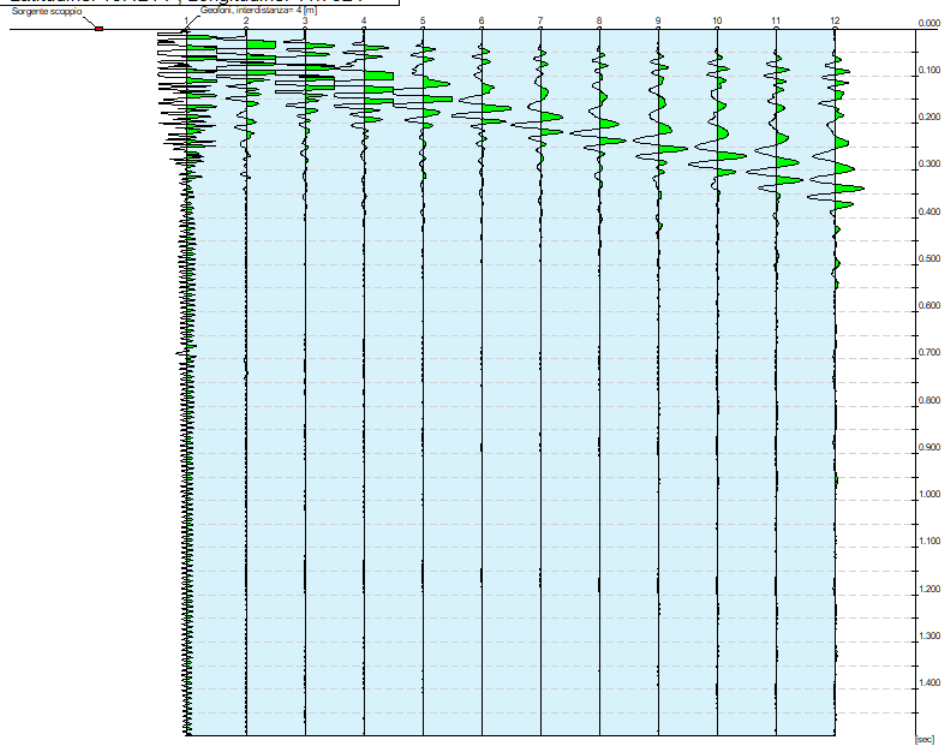
Dati generali

Committente	AM 2 ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	Z.I. APRICENA
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	13/07/2022 11:15
Latitudine	15.4214
Longitudine	41.7524

Tracce

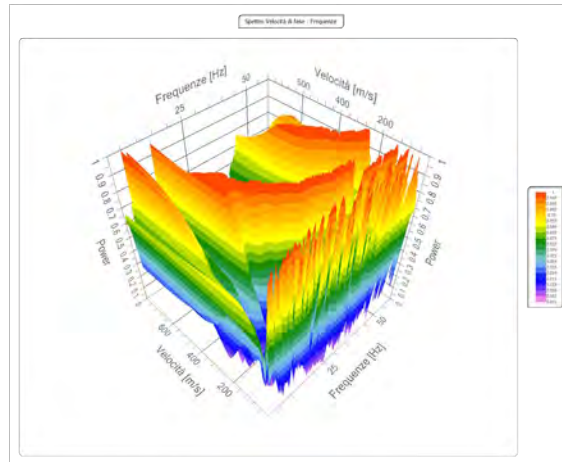
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM ENERGY SRL
Cantiere: ZONA ASI APRICENA
Località: ASI APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 13/07/2022
Latitudine: 15.4214°, Longitudine: 41.7524°



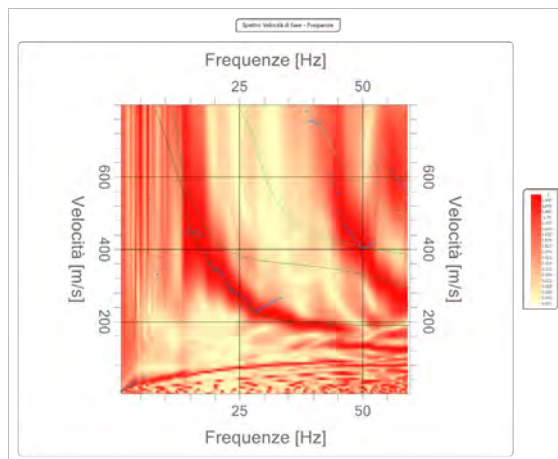
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.4	446.7	0
2	18.8	366.3	0
3	20.1	343.4	0
4	23.1	285.8	0
5	27.8	229.3	0
6	35.3	198.8	0
7	43.3	190.2	0



Inversione

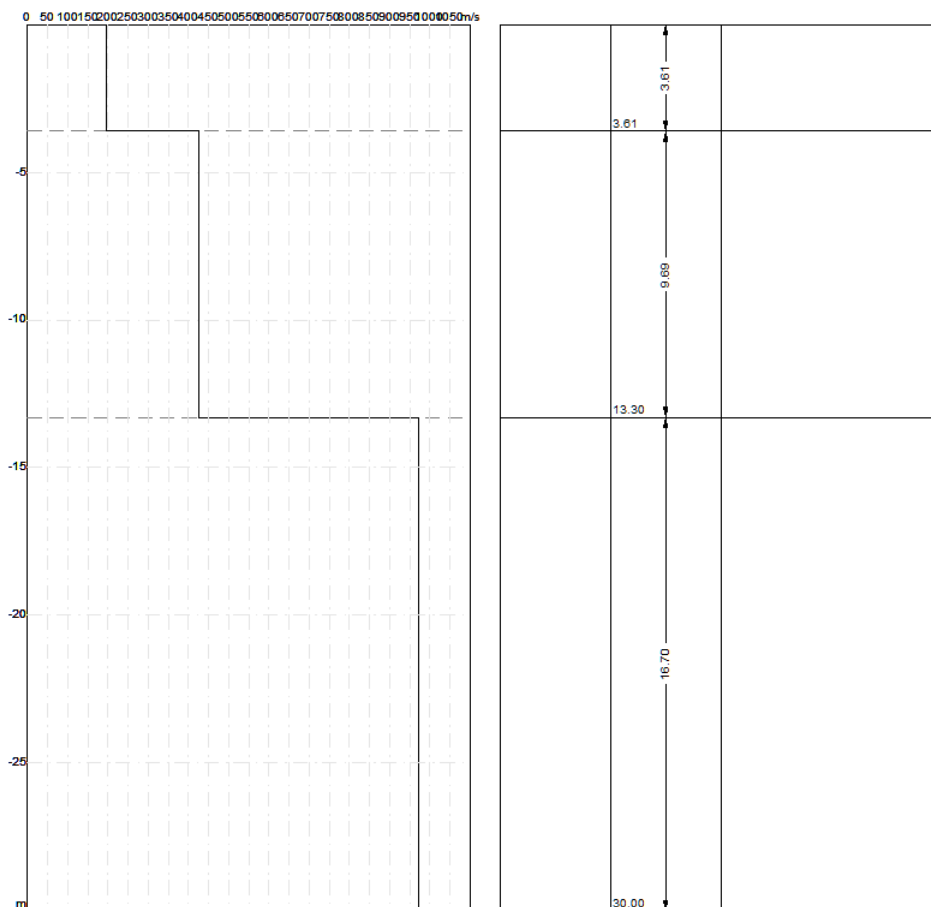
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.61	3.61	1750.0	0.4	No	482.9	197.1
2		13.30	9.69	1850.0	0.4	No	964.2	424.2
3		∞	∞	1950.0	0.4	No	2023.1	971.9

Percentuale di errore

0.002 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.006



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	514.23
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

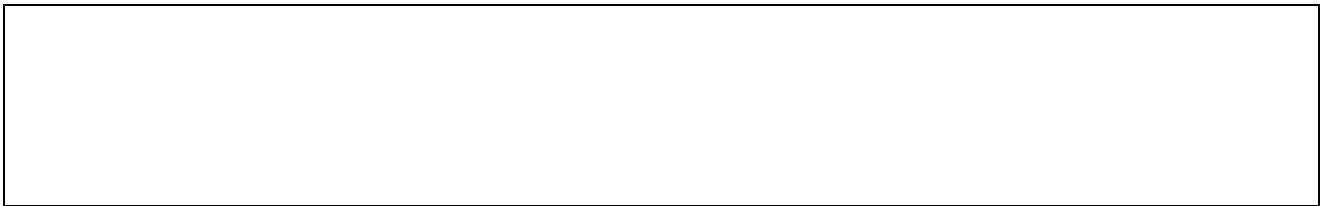
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.61	3.61	197.13	482.87	1700.00	0.40	66.06	396.38	308.30	184.98	N/A	707.25
2	13.30	9.69	424.20	964.22	1800.00	0.38	323.90	1673.50	1241.63	893.97	N/A	N/A
3	oo	oo	971.89	2023.14	1900.00	0.35	1794.67	7776.92	5384.02	4845.62	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV AM 2 ENERGY SRL - APRICENA - MASW-D6

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

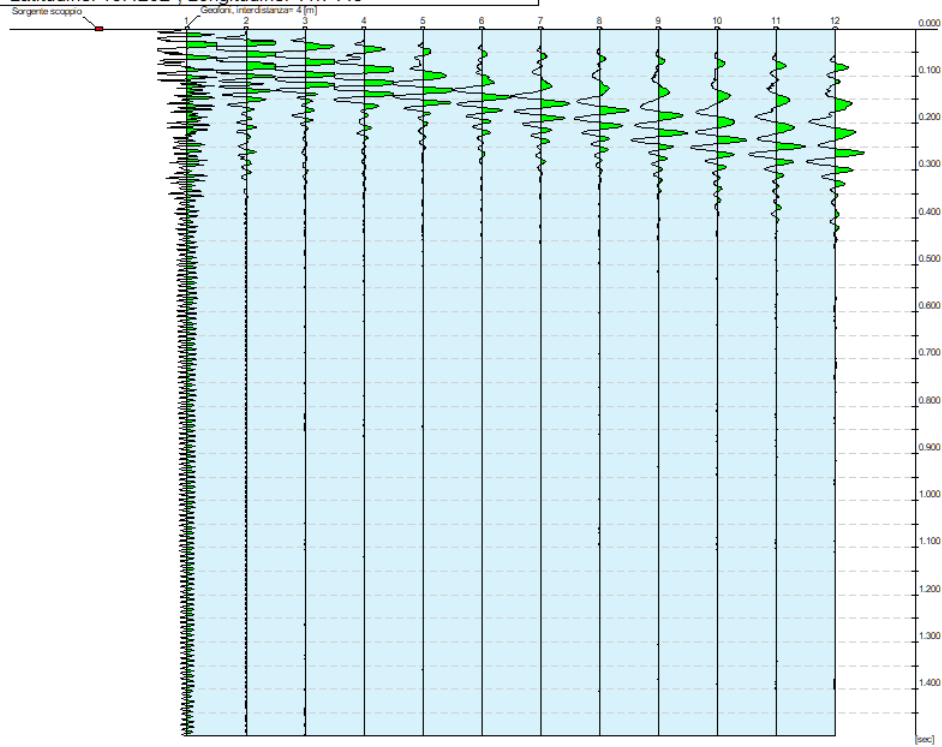
Dati generali

Committente	AM 2 ENERGY SRL
Cantiere	FTV AM ENERGY SRL - APRICENA - MASW-D7
Località	Z.I. APRICENA
Operatore	Dott. Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	10/07/2022 06:35
Latitudine	15.4202
Longitudine	41.7449

Tracce

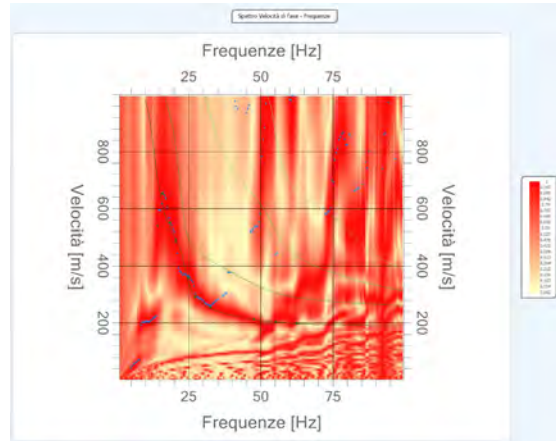
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM ENERGY SRL
Cantiere: FTV AM ENERGY SRL - APRICENA - MASW-D7
Località: ZONA ASI APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 10/07/2022
Latitudine: 15.4202°, Longitudine: 41.7449°



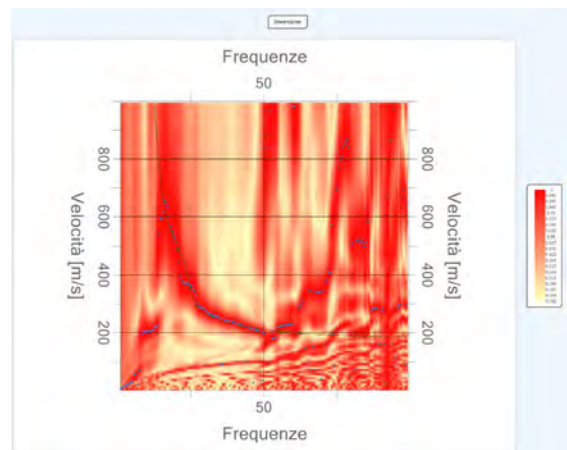
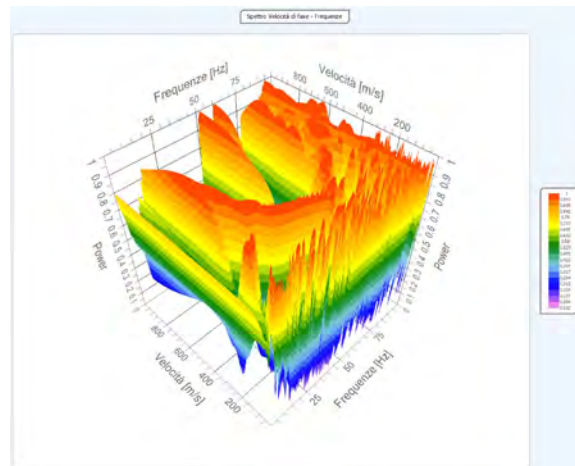
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	100
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.9	652.0	0
2	18.6	551.5	0
3	20.6	487.6	0
4	24.9	357.1	0
5	27.3	290.5	0
6	32.6	255.2	0
7	47.6	213.0	0
8	55.3	204.9	0
9	62.5	198.1	0



Inversione

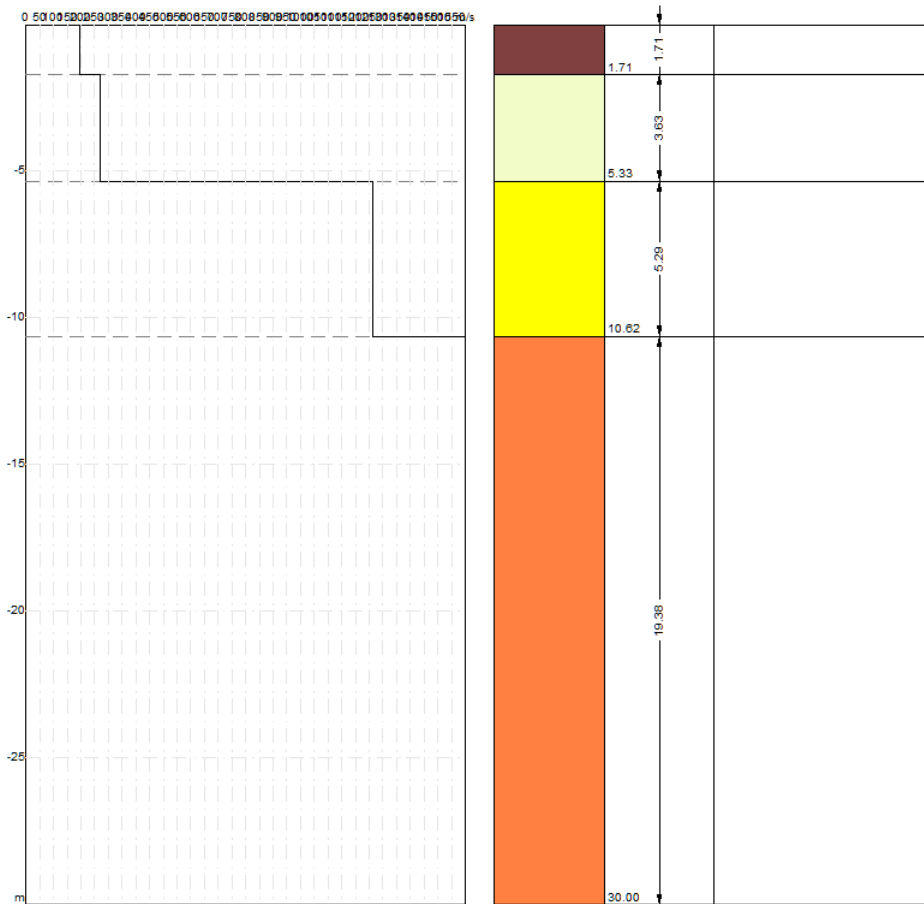
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.71	1.71	1750.0	0.4	No	477.3	194.9
2		5.33	3.63	1850.0	0.4	No	613.1	269.7
3		10.62	5.29	1950.0	0.4	No	2629.4	1263.1
4		∞	∞	2000.0	0.3	No	2993.3	1600.0

Percentuale di errore

0.024 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.013



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	779.35
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

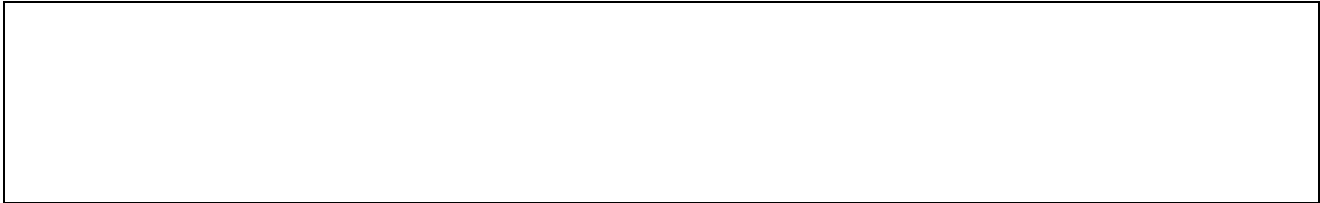
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.71	1.71	194.88	477.35	1700.00	0.40	64.56	387.37	301.28	180.77	N/A	667.50
2	5.33	3.63	269.73	613.10	1800.00	0.38	130.96	676.61	502.00	361.44	N/A	3418.56
3	10.62	5.29	1263.12	2629.39	1900.00	0.35	3031.38	13135.98	9094.14	8184.73	N/A	N/A
4	oo	oo	1600.00	2993.33	2000.00	0.30	5120.00	17920.00	11093.33	13312.00	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV AM 2 ENERGY SRL - APRICENA - MASW-D7

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

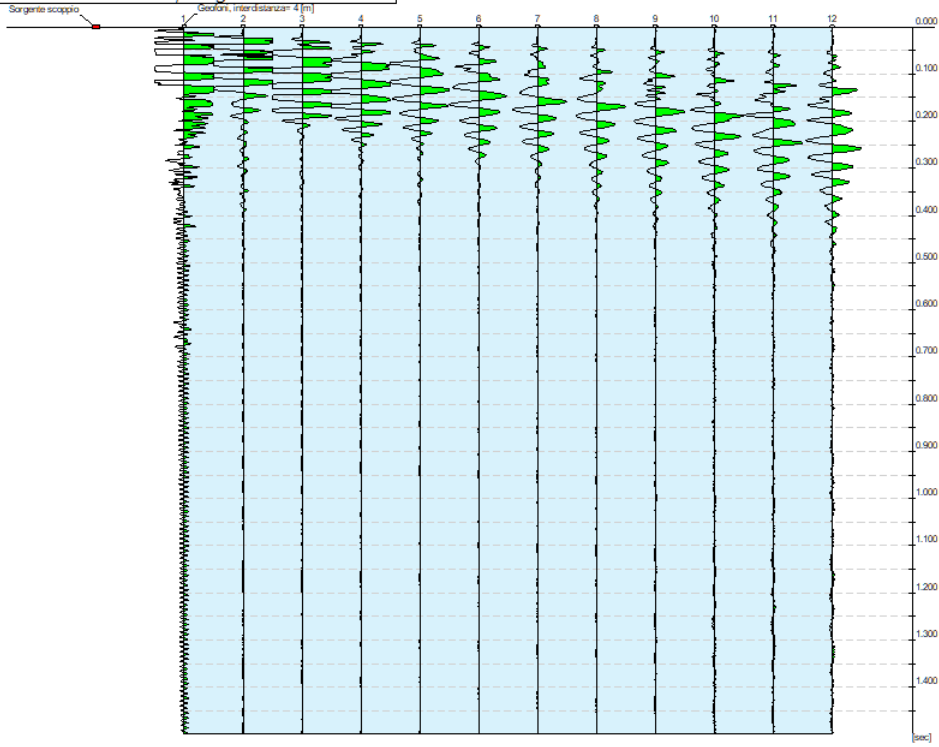
Dati generali

Committente	AM 2 ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	Z.I. APRICENA
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	10/07/2022 06:10
Latitudine	15.4099
Longitudine	41.7540

Tracce

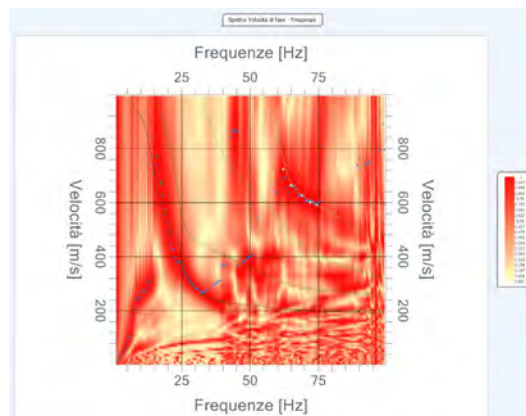
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM ENERGY SRL
Cantiere: ZONA ASI APRICENA
Località: ZONA ASI APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 10/07/2022
Latitudine: 15.4099°, Longitudine: 41.7540°



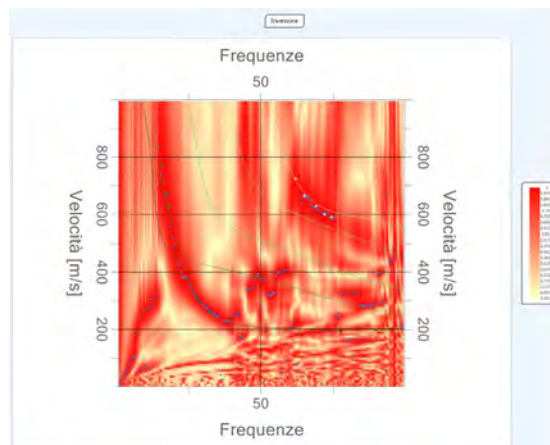
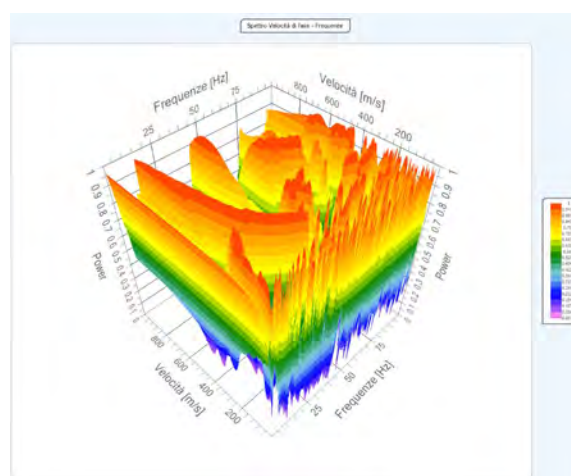
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	100
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.7	771.7	1
2	17.6	673.8	1
3	18.2	631.7	1
4	20.7	483.5	0
5	25.0	373.4	0
6	28.6	300.0	0
7	32.6	259.2	0
8	39.3	236.1	0
9	62.1	724.1	4
10	65.1	664.3	4
11	67.7	199.4	0
12	68.9	627.6	4
13	72.0	600.4	4
14	74.4	590.9	4
15	77.5	192.6	0
16	89.7	198.1	0



Inversione

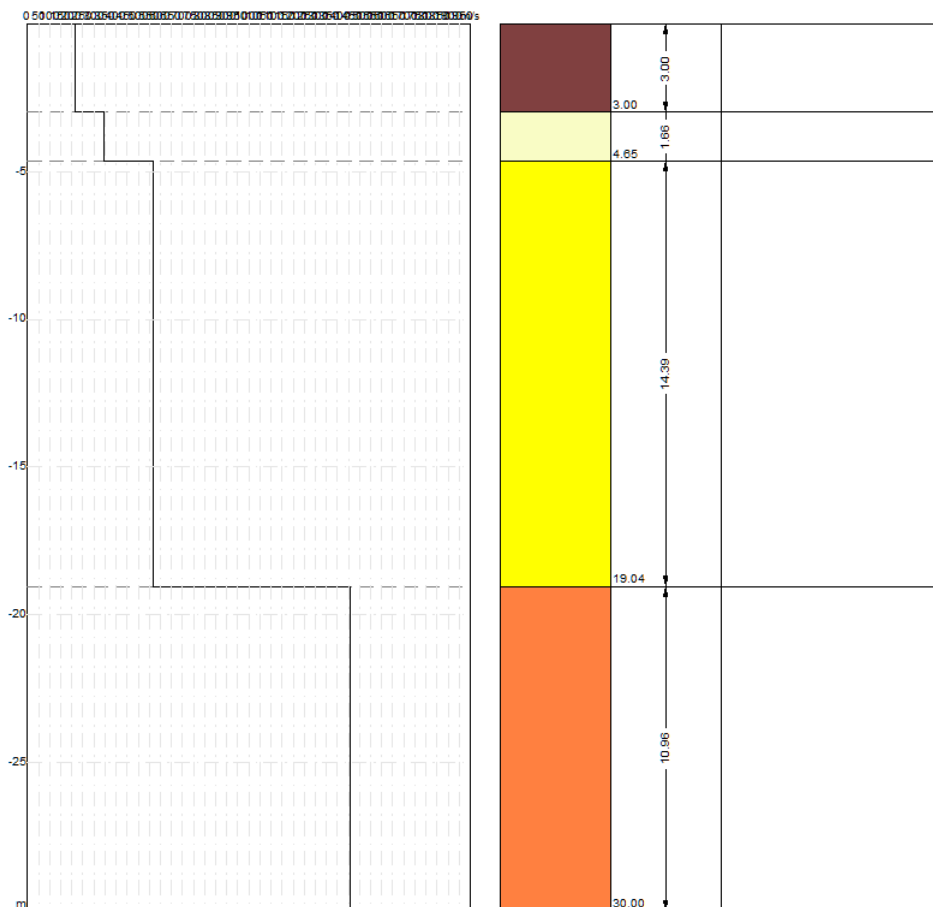
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.00	3.00	1750.0	0.4	No	521.2	212.8
2		4.65	1.66	1850.0	0.4	No	788.0	346.7
3		19.04	14.39	1950.0	0.4	No	1179.9	566.8
4		∞	∞	2000.0	0.3	No	2730.8	1459.7

Percentuale di errore

0.187 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.042



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	579.71
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

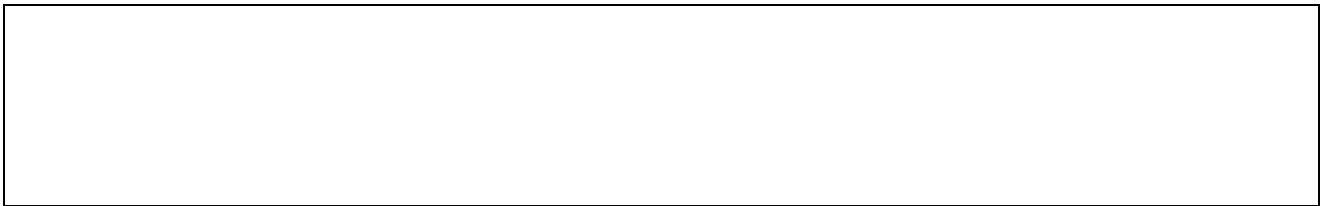
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.00	3.00	212.80	521.24	1700.00	0.40	76.98	461.88	359.24	215.54	N/A	1038.55
2	4.65	1.66	346.67	787.98	1800.00	0.38	216.32	1117.65	829.23	597.04	N/A	N/A
3	19.04	14.39	566.81	1179.91	1900.00	0.35	610.42	2645.15	1831.26	1648.13	N/A	N/A
4	∞	∞	1459.67	2730.79	2000.00	0.30	4261.26	14914.41	9232.73	11079.27	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FTV - AM2 APRICENA - MASW-D8

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

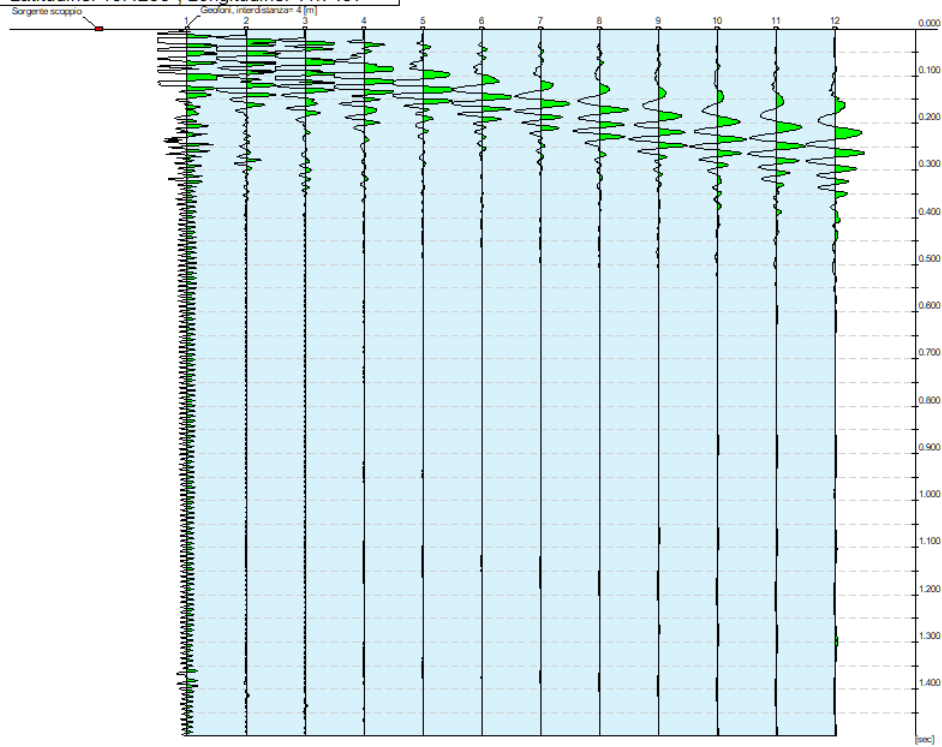
Dati generali

Committente	AM ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	APRICENA Z.I.
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	13/07/2022 11:55
Latitudine	15.4258
Longitudine	41.7497

Tracce

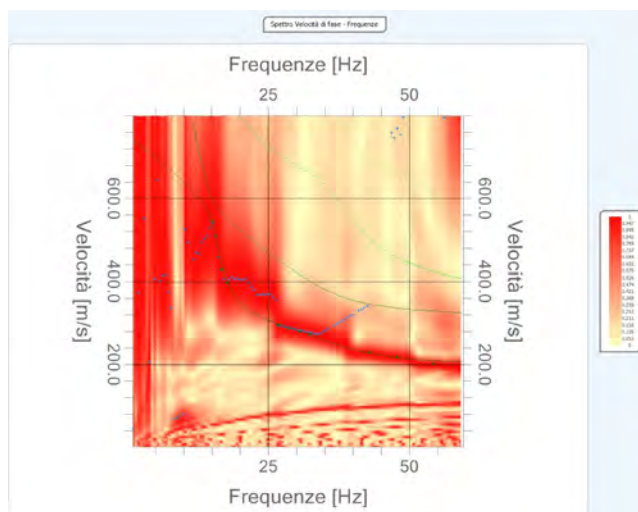
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM ENERGY SRL
Cantiere: ZONA ASI APRICENA
Località: ZONA ASI APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 13/07/2022
Latitudine: 15.4258°, Longitudine: 41.7497°



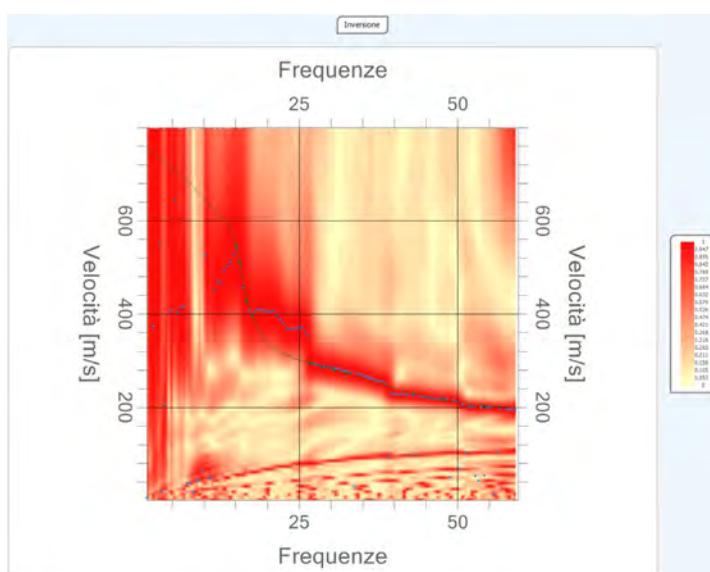
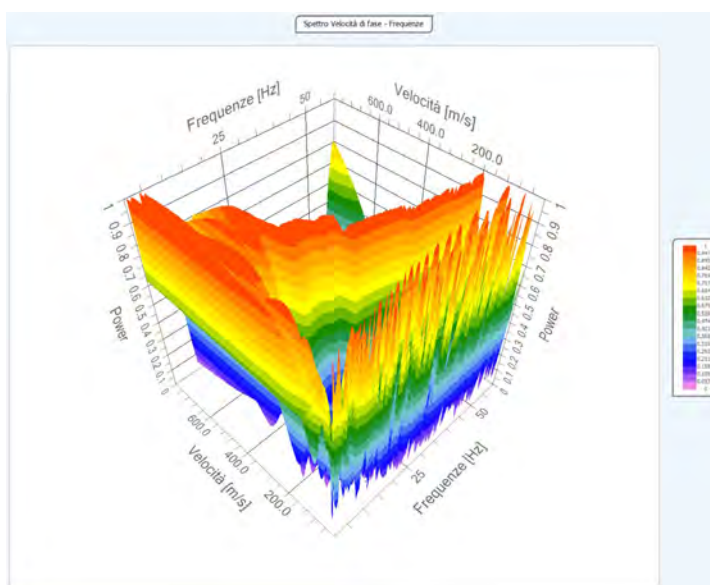
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.1	545.6	0
2	15.7	508.7	0
3	16.8	428.2	0
4	17.7	397.8	0
5	26.7	295.6	0
6	28.6	286.9	0
7	30.5	279.3	0
8	32.4	272.8	0
9	43.0	229.3	0
10	47.8	217.3	0
11	54.3	202.1	0



Inversione

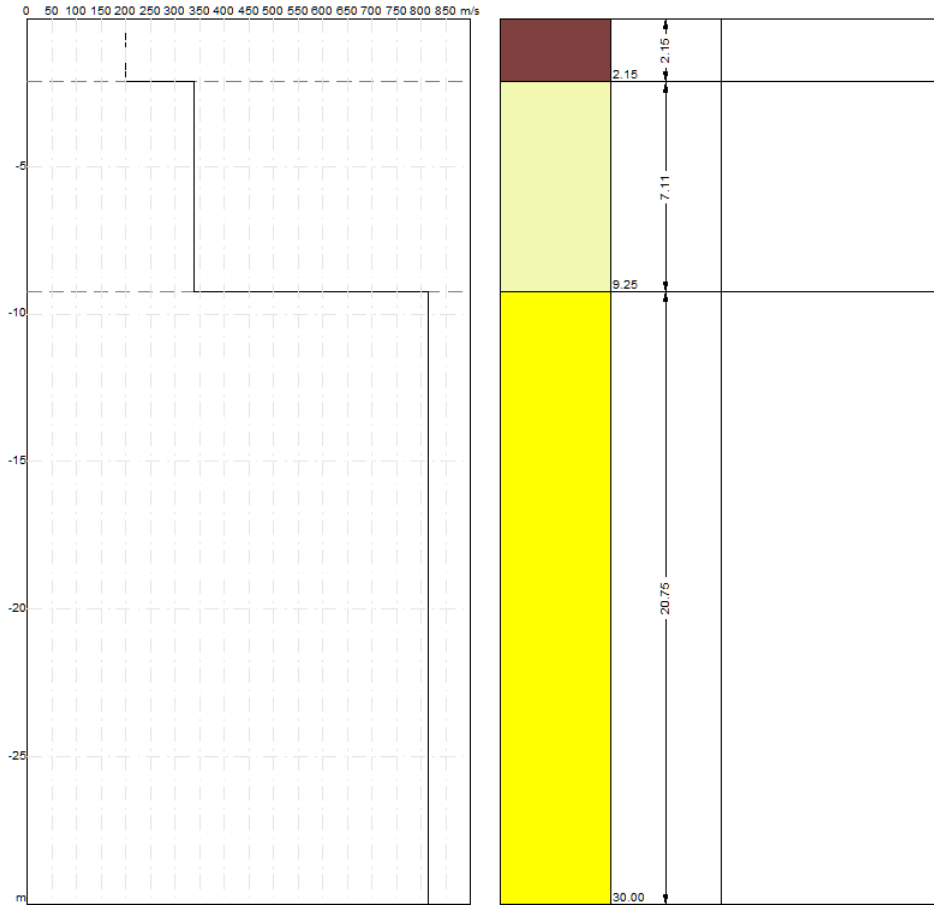
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.15	2.15	1750.0	0.4	No	486.5	198.6
2		9.25	7.11	1850.0	0.4	No	768.3	338.0
3		∞	∞	1950.0	0.4	No	1697.8	815.6

Percentuale di errore

0.009 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.009



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	523.88
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

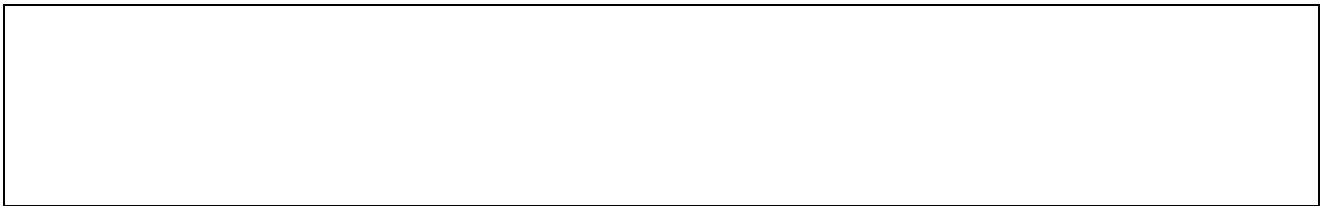
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.15	2.15	198.61	486.49	1700.00	0.40	67.06	402.35	312.94	187.76	N/A	734.29
2	9.25	7.11	338.03	768.35	1800.00	0.38	205.67	1062.65	788.42	567.66	N/A	N/A
3	oo	oo	815.60	1697.80	1900.00	0.35	1263.87	5476.79	3791.62	3412.46	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

MASW - D9

	Data: luglio 2022
	Il committente AM 2 ENERGY SRL
	IL Tecnico GEOL. N. DI LELLA
	Il Progettista GEOL. N. DI LELLA
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

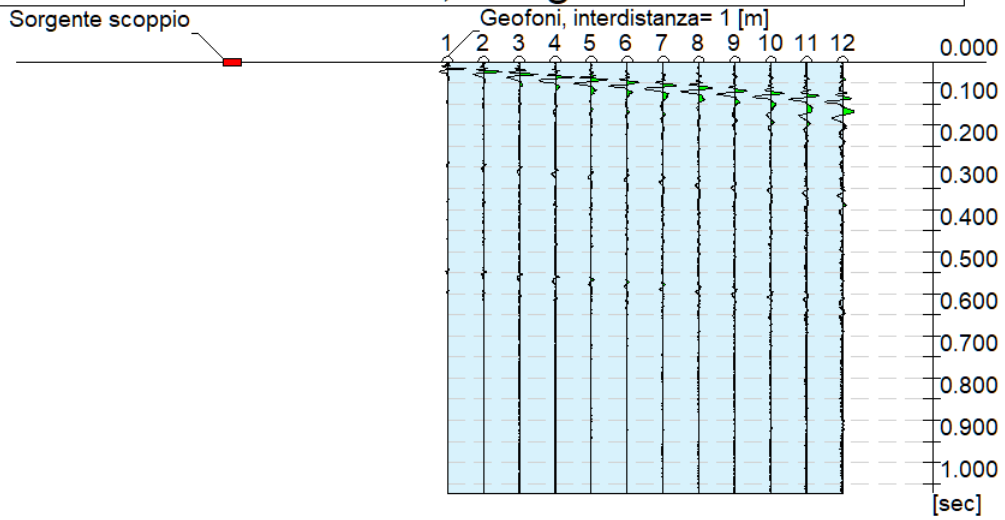
Dati generali

Committente	AM ENERGY SRL
Cantiere	APRICENA
Località	Z.I. APRICENA
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	Z.I. APRICENA
Data	01/06/2022 12:00
Latitudine	15.4305
Longitudine	41.7601

Tracce

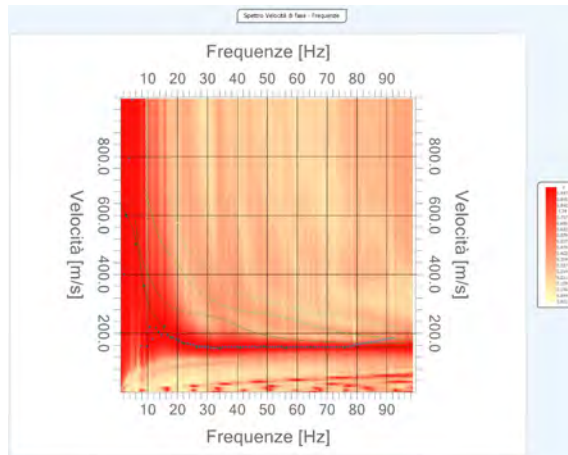
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1024.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: AM ENERGY SRL
Cantiere: ASI APRICENA
Località: APRICENA
Operatore: Dott. Nazario Di Lella
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella
Data: 01/06/2022
Latitudine: 15.4305°, Longitudine: 41.7601°



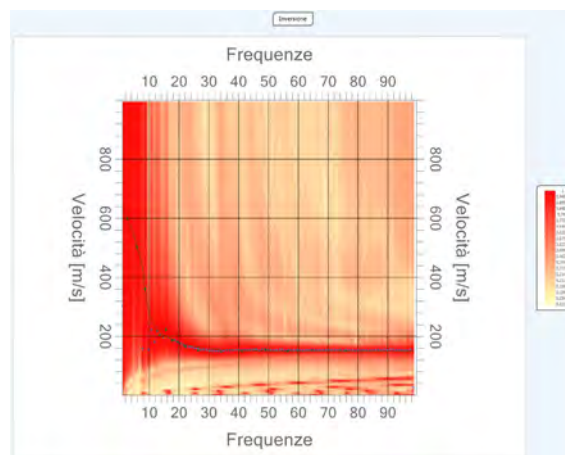
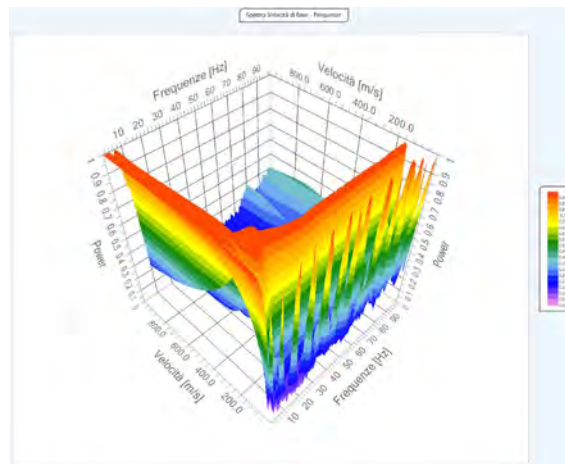
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 1
Frequenza massima di elaborazione [Hz] 100
Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1
Velocità massima di elaborazione [m/sec] 1000
Intervallo velocità [m/sec] 1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.7	601.8	0
2	6.0	502.5	0
3	8.6	359.8	0
4	15.6	221.2	0
5	17.8	185.8	0
6	22.2	165.5	0
7	34.2	147.8	0
8	26.5	151.9	0
9	56.5	150.5	0
10	41.1	150.5	0
11	49.0	155.9	0
12	64.5	153.2	0
13	75.9	151.9	0



Inversione

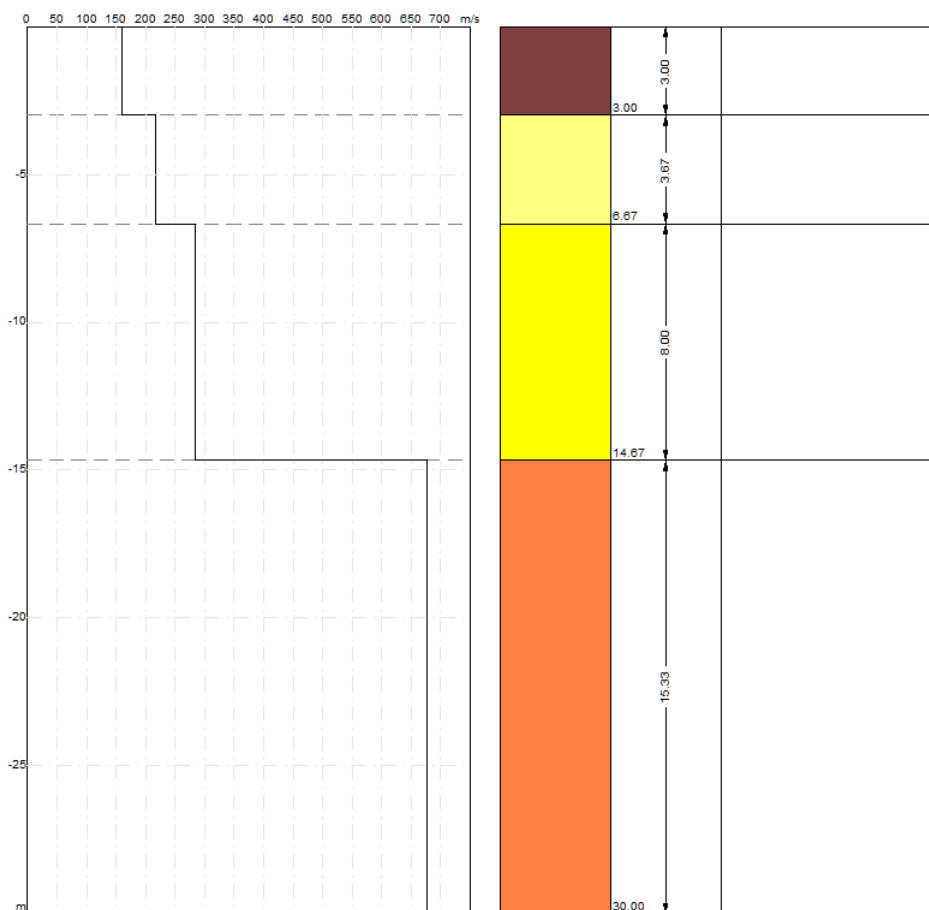
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.00	3.00	1750.0	0.4	No	333.1	160.0
2		6.67	3.67	1800.0	0.4	No	582.6	216.4
3		14.67	8.00	1850.0	0.4	No	694.1	283.4
4		∞	∞	1900.0	0.4	No	1540.1	677.6

Percentuale di errore

0.078 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.040



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	346.57
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT},30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < \text{cu},30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.00	3.00	160.00	333.07	1700.00	0.35	43.52	188.59	130.56	117.50	86	247.80
2	6.67	3.67	216.36	582.57	1750.00	0.42	81.92	593.92	484.69	232.65	18	1128.94
3	14.67	8.00	283.35	694.07	1800.00	0.40	144.52	867.11	674.42	404.65	35	4378.90
4	oo	oo	677.57	1540.15	1850.00	0.38	849.35	4388.30	3255.84	2344.20	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

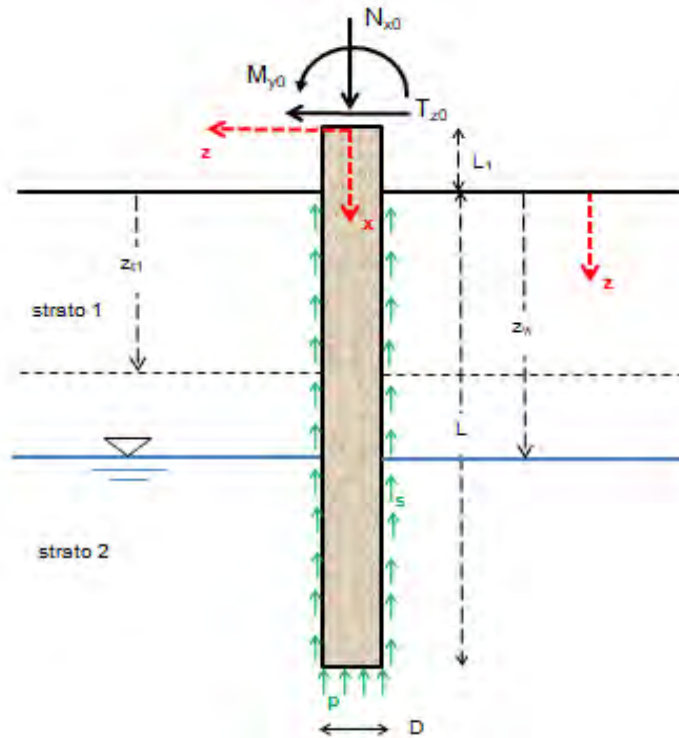
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

ALLEGATO 3 – RELAZIONE DI CALCOLO PALI

Pali.Az 3.0

CALCOLO GEOTECNICO E STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI PROFONDE SU PALI (Verifiche al Carico Limite, Calcolo Strutturale e Calcolo degli Spostamenti)



PROGETTO/LAVORI

Progetto Esecutivo per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico di potenza pari a 4,400MWp, con potenza

COMMITTENTE

COMUNE

DIRETTORE DEI LAVORI

IMPRESA ESECUTRICE DEI LAVORI

LUOGO E DATA DI ESECUZIONE DEI CALCOLI

ANNOTAZIONI

CAMPO DI APPLICAZIONE DEL SOFTWARE

Palo singolo verticale cilindrico a sezione circolare
Piano di campagna orizzontale
Terreno anche stratigrafico

Terreni a grana grossa (condizioni drenate) e/o grana fina (condizioni non drenate)
 Eventuale presenza di pressioni neutre (falda in quiete)
 Pali in C.A., in acciaio, micropali (anima in acciaio), materiale generico
 Normative applicabili: DM 11/03/1988+D.M. 16/01/1996 (Metodo alle Tensioni Ammissibili) -
 DM 14/01/2008 (Metodo agli Stati Limite) - DM 17/01/2018 (Metodo agli Stati Limite)
 Verifiche SLU: carico limite per carichi assiali e trasversali, verifiche strutturali
 Verifiche SLE: spostamenti/cedimenti, fessurazione, tensioni di esercizio
 Numero non limitato di combinazioni di carico allo SLU e/o allo SLE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018

Le verifiche al carico limite (di tipo geotecnico) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)

gruppo A1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1,3$ (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs} = 1,5$ (1)

gruppo A2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1$ (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs}=1,3$ (1)

Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)

gruppo M1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f'=1$ (1)
- coesione efficace, $g_c'=1$ (1)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1$ (1)

gruppo M2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f'=1,25$ (1,25)
- coesione efficace, $g_c'=1,25$ (1,25)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1,4$ (1,4)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)

gruppo R1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base, $g_b=1$ (1)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1$ (1)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1$ (1)
- resistenza a carichi trasversali, $g_T=1$ (1)

gruppo R2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,45$ (1,45)
- resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,7$ (1,7)
- resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,6$ (1,6)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1,45$ (1,45)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,6$ (1,6)
- resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,6$ (1,6)

gruppo R3 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,15$ (1,15)
- resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,35$ (1,35)
- resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,3$ (1,3)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1,15$ (1,15)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,25$ (1,25)

resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,3$ (1,3)

UNITA' DI MISURA

Sistema Internazionale

Calcoli generali e geotecnici

lunghezze (dimensioni, coordinate, distanze, ...): m (gli spostamenti sono espressi in cm)

aree sezioni: mq

volumi: mc

momenti di inerzia sezioni: m^4

forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kN

momenti e rigidzze rotazionali vincoli: $kN \cdot m$

forze distribuite per unità di lunghezza, rigidzze traslazionali vincoli: kN/m

coesioni, adesioni: kN/mq

tensioni nel sottosuolo, pressione neutra u: kN/mq

carico limite unitario: N/mm^2

pesi unità di volume: kN/mc

coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: N/cm^2

Calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, trefoli, barre, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cm^2

volumi: cm^3

momenti statici sezioni: cm^3

momenti di inerzia sezioni: cm^4

tensioni/pressioni, moduli elastici, resistenze materiali: N/mm^2

TIPO DI PALO

Palo ed elica continua

Palo in acciaio

CONDIZIONI DI ROTTURA

Condizioni drenate (terreni a grana grossa, terreni a grana fina con applicazione lenta dei carichi, terreni a grana fina con analisi a lungo termine)

NUMERO DI STRATI E VERTICALI DI INDAGINE

N° di strati = 3

N° di verticali di indagine = 1

SISTEMI DI RIFERIMENTO

Sistema di riferimento locale per il terreno

asse z verticale verso il basso con origine nel piano di campagna

Sistema di riferimento assoluto XYZ per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse X orizzontale verso destra

asse Y verticale verso il basso (coincidente con l'asse del palo)

asse Z ortogonale al piano del disegno ed entrante (rotazioni positive orarie)

regola della mano destra

Sistema di riferimento locale per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse x verticale verso il basso coincidente con l'asse del palo (+Y globale)

asse z orizzontale verso sinistra (-X globale)

asse y ortogonale al piano del disegno e uscente (-Z globale)
regola della mano destra

GEOMETRIA

diametro del palo, $D=0,22$ m

lunghezza di affondamento palo, $L=3$ m

lunghezza del palo fuori terra, $L1=0$ m

CONDIZIONE DI VINCOLO IN TESTA AL PALO

Palo a rotazione in testa impedita (attorno all'asse locale y)

STRATIGRAFIA

zt = profondità profilo di base dello strato

strato zt (m)

1	3
2	8
3	+ infinito

SEZIONE METALLICA MICROPALO O PALO ACCIAIO

forma armatura metallica: Tubolare a sez. circolare

diametro esterno, $De=20$ cm

spessore parete, $tw=2$ cm

area della sezione, $A=113,097$ cm²

momento d'inerzia elastico della sezione rispetto all'asse y, $Iy=4636,991$ cm⁴

modulo di resistenza elastico rispetto all'asse y, $Wy=463,699$ cm³

modulo di resistenza plastico rispetto all'asse y, $Wply=650,667$ cm³

Classe della sezione = 1

DATI GEOTECNICI TERRENI (valori caratteristici)

Valori medi per gli strati presenti

Strato n° 1-strato 1 T.V.

peso dell'unità di volume, $g=18,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio denato, $Fi'=27^\circ$

coesione drenata, $c'=20,6$ kN/mq

angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $delt_a=20^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $delt_p=20^\circ$

grado di sovraconsolidazione, $OCR=2$

comportamento a breve termine: drenato

Strato n° 2-strato 2 TOUT VENANT

peso dell'unità di volume, $g=19,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio denato, $Fi'=33^\circ$

coesione drenata, $c'=35,3$ kN/mq

angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $delt_a=20^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $delt_p=20^\circ$

grado di sovraconsolidazione, $OCR=2$

comportamento a breve termine: drenato

Strato n° 3-strato 3 SCARTI CAVA

peso dell'unità di volume, $g=19,80$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio denato, $Fi'=35^\circ$

coesione drenata, $c'=75,5$ kN/mq

angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $delt_a=20^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $\text{delt}_p=20^\circ$
 grado di sovraconsolidazione, $\text{OCR}=2$
 comportamento a breve termine: drenato

DATI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE E INTERFACCIA PALO-TERRENO

Dati relativi a tutte le verticali di indagine (calcolo carico limite assiale e trasvers.)

Verticale di indagine n° 1 (verticale n. 1)

Strato n° 1

angolo di resistenza al taglio, $\text{Fi}=26^\circ$
 coesione drenata, $c'=20,6 \text{ kN/mq}$
 adesione al contatto palo-terreno, $a=0,5 \text{ kN/mq}$
 coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,5$
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,7$

Strato n° 2

angolo di resistenza al taglio, $\text{Fi}=33^\circ$
 coesione drenata, $c'=35,3 \text{ kN/mq}$
 adesione al contatto palo-terreno, $a=0,6 \text{ kN/mq}$
 coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,6$
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,7$

Strato n° 3

angolo di resistenza al taglio, $\text{Fi}=35^\circ$
 coesione drenata, $c'=75,5 \text{ kN/mq}$
 adesione al contatto palo-terreno, $a=0,7 \text{ kN/mq}$
 coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,7$
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,7$

COEFFICIENTI DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO O DI WINKLER

Formula binomia $K_s=As+Bs*z^n$ con As e Bs espressi in N/cmc, z in m

strato		As	Bs	n
1	strato 1 T.V.	23,08487	9,50339	0,5
2	strato 2 TOUT VENANT	63,84541	19,82993	0,5
3	strato 3 SCARTI CAVA	152,72596	26,3705	0,5

DATI MATERIALI COSTITUENTI IL PALO

tipo di acciaio micropalo/palo: S 275
 modulo di elasticità longitudinale acciaio, $E_s=210000 \text{ N/mmq}$
 peso dell'unità di volume dell'armatura metallica, $g_{acc}=78,5 \text{ kN/mc}$
 tensione caratteristica di rottura acciaio, $f_{tk}=510 \text{ N/mmq}$
 tensione caratteristica di snervamento acciaio, $f_{yk}=355 \text{ N/mmq}$
 coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza delle sezioni di acciaio di classe 1-2-3-4, $g_{M0}=1,05$
 coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza all'instabilità delle membrature, $g_{M1}=1,05$
 coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza di sezioni tese indebolite da fori, $g_{M2}=1,25$
 tensione di snervamento di progetto dell'acciaio, $f_{yd}=f_{yk}/g_{M0}=338,1 \text{ N/mmq}$

CARICHI ESTERNI APPLICATI IN TESTA AL PALO (valori caratteristici)

Combinazione di carico allo SLU n° Comb 1

componente verticale permanente, $N_{x0G}=25,3 \text{ kN}$
 componente verticale variabile, $N_{x0Q}=0 \text{ kN}$
 componente orizzontale permanente, $T_{z0G}=53 \text{ kN}$
 componente orizzontale variabile, $T_{z0Q}=0 \text{ kN}$
 componente momento permanente, $M_{y0G}=130 \text{ kN*m}$

componente momento variabile, $M_{y0Q}=0 \text{ kN}\cdot\text{m}$

SCELTE DI CALCOLO

Verifiche agli SLU di tipo geotecnico condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)

Calcolo FEM: lunghezza media elemento finito, $L_{me}=0,3 \text{ m}$

Vincolo alla base del palo: appoggio fisso

TIPO DI ANALISI E METODI APPLICATI

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi assiali

valori del fattore di forma N_q : Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma N_q per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi trasversali

Teoria di Broms (1964)

Calcolo sollecitazioni e spostamenti orizzontali nel palo di fondazione

Soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

Palo elastico su suolo elastico alla Winkler

Analisi Lineare: molle che simulano il terreno a comportamento elastico-lineare

DATI PALO

perimetro sezione palo, $U=\text{pigreco}\cdot D=0,691 \text{ m}$

rapporto $L/D=13,6$

area sezione (sul diametro D), $A_p=0,038 \text{ mq}$

volume palo (sul diametro D), $V_p=0,11 \text{ mc}$

peso del palo, $W_p=2,66 \text{ kN}$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Combinazione di carico allo SLU n° 1 (Comb 1)

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./nodo	x (m)	N_x (kN)	T_z (kN)	M_y ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
1	0,0	-25,30	-29,16	-130,00
2	0,3	-25,57	13,44	-138,75
3	0,6	-25,83	44,77	-134,72
4	0,9	-26,10	65,10	-121,29
5	1,2	-26,37	75,53	-101,76
6	1,5	-26,63	77,30	-79,10
7	1,8	-26,90	71,53	-55,91
8	2,1	-27,16	59,03	-34,45
9	2,4	-27,43	40,30	-16,74
10	2,7	-27,70	15,49	-4,65
11	3,0	-27,96	15,49	0,00

REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PALO (calcolo FEM)

K_s = costante orizzontale di Winkler (N/cmc)

R_{vX} = componente della reazione vincolare lungo X (kN)

R_{vY} = componente della reazione vincolare lungo Y (kN)

R_{vZ} = componente momento della reazione vincolare ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

p_{Xv} = pressione orizzontale del terreno (molle) (kN/mq)

sez./n odo	x (m)	Ks	RvX	RvY	RvZ	pXv
1	0	23,08	23,84	0	0	722,51
2	0,3	28,29	42,59	0	0	645,38
3	0,6	30,45	31,33	0	0	474,66
4	0,9	32,1	20,34	0	0	308,11
5	1,2	33,5	10,43	0	0	158,03
6	1,5	34,72	1,77	0	0	26,85
7	1,8	35,84	-5,77	0	0	-87,48
8	2,1	36,86	-12,49	0	0	-189,31
9	2,4	37,81	-18,73	0	0	-283,83
10	2,7	38,7	-24,81	0	0	-375,97
11	3	39,55	-15,49	-27,96	0	-469,33

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PALO (calcolo FEM)

Equilibrio alla traslazione orizzontale

somma delle forze esterne orizzontali applicate al palo, $SF_x = -53,00$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommRvX = 53,00$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $SF_x + SommRvX = 0,00$ kN

Equilibrio alla traslazione verticale

peso proprio del palo, $W_p = 2,66$ kN

somma delle forze verticali applicate al palo, $SF_y = 25,30$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommRvY = -27,96$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $W_p + SF_y + SommRvY = 0,00$ kN

Equilibrio alla rotazione (attorno alla testa del palo-primo nodo)

momento delle forze orizzontali applicate al palo, $MF_x = -130,00$ kN*m

momento delle reazioni vincolari lungo X, $MRvX = 130,00$ kN*m

reazioni vincolari momento, $MRvZ = 0,00$ kN*m

equazione di equilibrio alla rotazione: $MF_x + MRvX + MRvZ = 0,00$ kN*m

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./n odo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-3,13	0	-0,0303
2	0,3	-2,28	0	-0,0262
3	0,6	-1,56	0	-0,022
4	0,9	-0,96	0	-0,018
5	1,2	-0,47	0	-0,0146
6	1,5	-0,08	0	-0,0118
7	1,8	0,24	0	-0,0097
8	2,1	0,51	0	-0,0083
9	2,4	0,75	0	-0,0076
10	2,7	0,97	0	-0,0072
11	3	1,19	0	-0,0072

VERIFICA SEZIONI A SFORZO NORMALE ECCENTRICO E TAGLIO

Dati meccanici della sezione

Resistenza plastica a sforzo normale della sezione lorda A, $N_{pl_Rd} = 3.823,76$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $Avz = 72,00$ cmq

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd} = 1.405,43$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{el_Rd}=156,77 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{pl_Rd}=219,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$

tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=338 \text{ N/mm}^2$

Dati sulle verifiche delle sezioni

sid_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)

Mcy_Rd: resistenza di progetto sezione soggetta a presso/tenso-flessione retta (kN*m)

sez.	x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
1	0	-25,3	-29,16	-130	282,6		SI
2	0,3	-25,57	13,44	-138,75	301,5		SI
3	0,6	-25,83	44,77	-134,72	292,8		SI
4	0,9	-26,1	65,1	-121,29	263,9		SI
5	1,2	-26,37	75,53	-101,76	221,8		SI
6	1,5	-26,63	77,3	-79,1	172,9		SI
7	1,8	-26,9	71,53	-55,91	123		SI
8	2,1	-27,16	59,03	-34,45	76,7		SI
9	2,4	-27,43	40,3	-16,74	38,5		SI
10	2,7	-27,7	15,49	-4,65	12,5		SI
11	3	-27,96	15,49	0	4,9		SI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=219,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$

CARICO LIMITE PER CARICHI ASSIALI

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)

Azione di progetto

$E_d = gG_s * N_x 0g + gQ_s * N_x 0q + gG_s * W_p = 27,96 \text{ kN}$

Resistenza di progetto

Verticale di indagine n° 1 (verticale n. 1)

Parametri geotecnici di progetto

coesione, $c_d = 20,6 \text{ kN/m}^2$

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 26^\circ$

Resistenza alla punta

fattore N_q (Berezantzev), $N_q = 11,58$

fattore $N_c = 21,69$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, $s_{VL} = 54,00 \text{ kN/m}^2$

pressione neutra alla profondità L, $u_L = 0,00 \text{ kN/m}^2$

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, $s'_{VL} = 54,00 \text{ kN/m}^2$

Resistenza unitaria alla punta, $p = 1,07 \text{ N/mm}^2$

Resistenza alla punta, $P_{max} = 40,76 \text{ kN}$

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max} = 20,63 \text{ kN}$

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio), $P_{max_med} = 40,76 \text{ kN}$

Resistenza alla punta (valore minimo), $P_{max_min} = 40,76 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore medio), $S_{max_med} = 20,63 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore minimo), $S_{max_min} = 20,63 \text{ kN}$

Fattore di correlazione, $\xi_3 = 1,7$

Fattore di correlazione, $\xi_4 = 1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico), $P_{max_k} = 23,98 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore caratteristico), $S_{max_k} = 12,14 \text{ kN}$

Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d} = P_{max_k}/\gamma_b = 18,44 \text{ kN}$

Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d} = S_{max_k}/\gamma_s = 10,55 \text{ kN}$

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d} = P_{max_d} + S_{max_d} = 29,00 \text{ kN}$

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d} = S_{max_d} = 10,55 \text{ kN}$

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto
coeff. di sicurezza, $E_{ta} = Q_{lim_d} / E_d = 1,04$

CARICO LIMITE PER CARICHI TRASVERSALI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR} = 219,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)**Azione di progetto**

$E_d = g_{Gs} \cdot T_{z0g} + g_{Qs} \cdot T_{z0q} = 53,00 \text{ kN}$

Resistenza di progetto**Verticale di indagine n° 1 (verticale n. 1)**

angolo di resistenza al taglio di progetto, $F_{i_d} = 26^\circ$

coefficiente di spinta passiva, $K_p = 2,561071$

reazione orizzontale del terreno alla profondità L, $p(L) = 91,28 \text{ kN/m}$

Meccanismo di rottura di "palo intermedio"

profondità f in cui si forma la cerniera plastica, $f = 2,8 \text{ m}$

Carico limite trasversale, $T_{lim} = 118,97 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto

valore medio, $T_{lim_med} = 118,97 \text{ kN}$

valore minimo, $T_{lim_min} = 118,97 \text{ kN}$

fattore di correlazione $\chi_{s3} = 1,7$

fattore di correlazione $\chi_{s4} = 1,7$

Carico limite trasversale (valore caratteristico), $T_{lim_k} = 69,98 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto, $T_{lim_d} = 53,83 \text{ kN}$

Verifica al carico limite per carichi trasversali

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto
coeff. di sicurezza, $T_{lim_d} / E_d = 1,02$

COMPUTO METRICO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE (palo singolo)

Acciaio (kg)	266,3
--------------	-------

Il progettista/tecnico

Geol. Nazario Di Lella

Progetto: Carico Limite e Cedimenti
 Ditta:
 Comune:
 Progettista:
 Direttore dei Lavori:
 Impresa:

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
 Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
 - Legge nr. 64 del 02/02/1974.
 Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
 - D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
 - D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
 Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
 - D.M. 9 Gennaio 1996
 Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
 - D.M. 16 Gennaio 1996
 Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
 - D.M. 16 Gennaio 1996
 Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
 - Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
 - Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
 - Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
 - Circolare 617 del 02/02/2009
 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (D.M. 17 gennaio 2018).

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

c coesione del terreno in fondazione;
 ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
 γ peso di volume del terreno in fondazione;
 B larghezza della fondazione;
 D profondità del piano di posa;
 q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_q = A \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 (D / B) \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D / B) \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90^\circ)^2$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta^\circ / \phi^\circ)]^2 \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Per tenere conto del sisma, si può ridurre l'angolo d'attrito del terreno secondo il criterio di Sano. Sano valuta tale riduzione tramite la seguente relazione:

$$d\phi = \arctan (A_{max} / \sqrt{2})$$

dove A_{max} rappresenta la massima accelerazione orizzontale.

Verifica della portanza per carichi orizzontali (scorrimento)

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s . Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s >= 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} >= \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_r l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_r + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 30 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_r , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_r pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

Il metodo edometrico è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi negli anni '20.

L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione. Tuttavia il metodo risulta dotato di ottima approssimazione anche nei casi di strati deformabili di grande spessore.

L'implementazione del metodo è espressa secondo la seguente espressione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_{ed,i}} \Delta z_i$$

dove:

$\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;

E_{ed} è il modulo elastico determinato attraverso la prova edometrica e relativa allo strato i -esimo;

Δz rappresenta lo spessore dello strato i -esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico.

Calcolo delle tensioni indotte

Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato Q , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità z :

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove: $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola da . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico dQ : la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si ottiene sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Destrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma (R)	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	0,00	0,00	3,00	15,00	1,20	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [kg/cm²]

ca Adesione del terreno espressa in [kg/cm²]

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca
Terreno	1800,0	1850,0	27,00	15,00	0,360	0,000
Terreno 2	1900,0	2000,0	29,00	15,00	0,210	0,000
Terreno 3	2000,0	2100,0	35,00	18,00	0,770	0,000

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E_{ed} Modulo edometrico espresso in [kg/cmq]

Descr	E_{ed}
Terreno	339,00
Terreno 2	2530,00
Terreno 3	6100,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	Identificativo strato	
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]	
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]	
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]	
Terreno	Terreno dello strato	

Punto di sondaggio n° 1:	X = 0,0 [m]	Y = 0,0 [m]
Punto di sondaggio n° 2:	X = 3,0 [m]	Y = 0,0 [m]
Punto di sondaggio n° 3:	X = 0,0 [m]	Y = 3,0 [m]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-3,0	-3,0	-3,0	Terreno
2	-11,0	-11,0	-11,0	Terreno 2
3	-20,0	-20,0	-20,0	Terreno 3

Normativa

N.T.C. 2018

Calcolo secondo: Approccio 2

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_r	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qsfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1,00	1,00

Coefficienti parziali combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qsfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

Capacità portante	γ_r	R1	R2	R3
Scorrimento	γ_r	1,00	1,80	2,30
		1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0=0,70$ $\Psi_1=0,50$ $\Psi_2=0,20$

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione	Nome identificativo della fondazione
<i>N</i>	Sforzo normale totale espressa in [kg]
<i>Mx</i>	Momento in direzione X espressa in [kgm]
<i>My</i>	Momento in direzione Y espresso in [kgm]
<i>ex</i>	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
<i>ey</i>	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
<i>β</i>	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
<i>T</i>	Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 (Condizione n° 1) [PERMANENTE]

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Fondazione	1500,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

<i>γ</i>	Coefficiente di partecipazione della condizione
<i>ψ</i>	Coefficiente di combinazione della condizione
<i>C</i>	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU - Approccio 2

	γ	ψ	C
Condizione n° 1	1,00	1,00	1,00

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza per carichi verticali

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Meyerhof

La relazione adottata è la seguente:

$$q_u = c N_c s_c i_c d_c + q N_q s_q i_q d_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA

Il criterio utilizzato per il calcolo del macrostrato equivalente è stato la MEDIA ARITMETICA

Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Riduzione sismica: SANO [7,00(%)]

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF

Riduzione per rottura locale o punzonamento del terreno: NESSUNA

Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.

Riduzione per comportamento a piastra.

Fondazione

Combinazione n° 1

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 2,49	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1850,00$	[kg/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 28,00$	[°]
Coesione	c = 0,28	[kg/cm ²]
Modulo di taglio	G = 811,67	[kg/cm ²]

Base ridotta	B' = B - 2 ex = 3,00 [m]
Lunghezza ridotta	L' = L - 2 ey = 15,00 [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 25,80$	$N_q = 14,72$	$N_\gamma = 11,19$
$s_c = 1,11$	$s_q = 1,06$	$s_\gamma = 1,06$
$i_c = 1,00$	$i_q = 1,00$	$i_\gamma = 1,00$
$d_c = 1,13$	$d_q = 1,07$	$d_\gamma = 1,07$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 9,26 + 3,58 + 3,34 = 16,18 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 7279547,45 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 3165020,63 \text{ [kg]}$$

$$V = 1500,00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 7279547,45 / 1500,00 = 4853,03$$

Indici rigidità

$I_c = 1,00$	$I_{rc} = 94,17$
--------------	------------------

Verifica della portanza per carichi orizzontali (scorrimento).

Partecipazione spinta passiva: 0,00 (%)

La relazione adottata è la seguente:

$$\eta = R / H \geq \eta_{req}$$

 η_{req} : coefficiente di sicurezza richiesto

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Identificativo della combinazione
<i>H</i>	Forza di taglio agente al piano di posa espresso in [kg]
<i>R_{ult1}</i>	Resistenza offerta dal piano di posa per attrito ed adesione espressa in [kg]
<i>R_{ult2}</i>	Resistenza passiva offerta dall'affondamento del piano di posa espressa in [kg]
<i>R</i>	Somma di <i>R_{ult1}</i> e <i>R_{ult2}</i>
<i>R_{amm}</i>	Resistenza ammissibile allo scorrimento espressa in [kg]
<i>η</i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento

Fondazione

Cmb	H	R_{ult1}	R_{ult2}	R	R_{amm}	η
1	0,00	401,92	0,00	401,92	365,39	100,00

Cedimenti

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il metodo Edometrico utilizzando il modulo edometrico.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)

E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

Cedimento complessivo*Simbologia adottata*

<i>Comb</i>	Identificativo della combinazione
<i>w_f</i>	cedimento finale espresso in [cm]
<i>H</i>	spessore strato compressibile espresso in [m]
<i>X</i>	coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]
<i>Y</i>	coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Fondazione

Comb	w_f	H	X	Y
1	0,00	4,20	0,00	0,00

Cedimento dei singoli strati*Simbologia adottata*

<i>Strato</i>	Identificativo dello strato
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato
<i>ΔH</i>	Spessore dello strato espresso in [m]
<i>Δw</i>	Cedimento dello strato espresso in [cm]

Fondazione (Combinazione n° 1)

Strato	Terreno	ΔH	Δw
1	Terreno	1,80	0,0000
2	Terreno 2	1,20	0,0000
Totale		3,00	0,0000

Dettagli sui cedimenti dei singoli strati*Simbologia adottata*

<i>n°</i>	numero d'ordine dell'i-esimo strato
<i>z</i>	quota media dell'i-esimo strato espresso in [m]
<i>ΔH</i>	spessore dello strato i-esimo espresso in [m]
<i>Δσ_v</i>	incremento di tensione verticale dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]
<i>E_{ed}</i>	modulo edometrico dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]
<i>Δw</i>	cedimento dell'i-esimo strato espresso in [cm]

Fondazione (Combinazione n° 1)

n°	z	ΔH	Δσ_v	E_{ed}	Δw
1	-1,26	0,12	0,00	339,00	0,0000
2	-1,38	0,12	0,00	339,00	0,0000
3	-1,50	0,12	0,00	339,00	0,0000
4	-1,62	0,12	0,00	339,00	0,0000
5	-1,74	0,12	0,00	339,00	0,0000
6	-1,86	0,12	0,00	339,00	0,0000
7	-1,98	0,12	0,00	339,00	0,0000
8	-2,10	0,12	0,00	339,00	0,0000
9	-2,22	0,12	0,00	339,00	0,0000
10	-2,34	0,12	0,00	339,00	0,0000
11	-2,46	0,12	0,00	339,00	0,0000
12	-2,58	0,12	0,00	339,00	0,0000
13	-2,70	0,12	0,00	339,00	0,0000
14	-2,82	0,12	0,00	339,00	0,0000
15	-2,94	0,12	0,00	339,00	0,0000
16	-3,04	0,08	0,00	2530,00	0,0000
17	-3,12	0,08	0,00	2530,00	0,0000
18	-3,20	0,08	0,00	2530,00	0,0000
19	-3,28	0,08	0,00	2530,00	0,0000
20	-3,36	0,08	0,00	2530,00	0,0000
21	-3,44	0,08	0,00	2530,00	0,0000
22	-3,52	0,08	0,00	2530,00	0,0000
23	-3,60	0,08	0,00	2530,00	0,0000
24	-3,68	0,08	0,00	2530,00	0,0000
25	-3,76	0,08	0,00	2530,00	0,0000
26	-3,84	0,08	0,00	2530,00	0,0000
27	-3,92	0,08	0,00	2530,00	0,0000
28	-4,00	0,08	0,00	2530,00	0,0000
29	-4,08	0,08	0,00	2530,00	0,0000
30	-4,16	0,08	0,00	2530,00	0,0000
Totale		3,00			0,0000

