



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA




COMUNE di FOGGIA





COMUNE di MANFREDONIA





Proponente		<p><b>OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>          Sede: Rotonda Giuseppe Antonio Torri, n. 9 - 40127 Bologna (BO)          Pec: opdenergy.tavoliere2@legalmail.it          P.IVA: 12206080019</p>
------------	---	---

Progettazione Generale Elettrica e Coordinamento	 <p><b>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA</b>  <b>MEZZINA dott. ing. Antonio</b>          Via T. Solis 128   71016 San Severo (FG)          Tel. 0882.228072   Fax 0882.243651          e-mail: info@studiomezzina.net</p>	Studio Agronomico	<p><b>Studio Tecnico Agrario</b>  <b>Dott. Agr. Marcello Martino</b>          Viale Europa, 42 - 71122 Foggia          Tel./Fax 0881.632008   Cell. 337.938268          E-Mail: marcello.martino@tiscali.it</p>
--	--	----------------------	---

Studio Paesaggistico e Ambientale	 <p><b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY &amp; URBAN PLANNING          Via degli Carrati, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784423224          mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</p> <p><b>Arch. Antonio Demaio</b>          Tel. 0881.756251   Fax 1784423224          E-Mail: sit.vega@gmail.com</p>	Studio Geologico e Geotecnico	<p><b>Dott. Nazario Di Lella</b>          Tel./Fax 0882.218822   cell. 328 3250902          E-Mail: geol.dilella@gmail.com</p>
--------------------------------------	--	----------------------------------	--

Studio Acustico	<p><b>STUDIO FALCONE</b>          Ingegneria</p> <p><b>Ing. Antonio Falcone</b>          Tel. 0884.534378   Fax. 0884.534378          E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu</p>	Studio Strutturale	 <p><b>Ing. Tommaso Monaco</b>          Tel. 0885.429850   Fax 0885.090485          E-Mail: ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it</p>
--------------------	--	-----------------------	--

Studio Archeologico	 <p><b>Dott. Vincenzo Ficco</b>          Tel. 0881.750334          E-Mail: info@archeologicasrl.com</p>	Studio Naturalistico	<p><b>Dott. Forestale Luigi Lupo</b>          Corso Roma, 110          71121 Foggia          E-Mail: luigilupo@libero.it</p>
------------------------	--	-------------------------	--

Studio Acustico	 <p><b>STUDIO PROGETTAZIONE ACUSTICA</b></p> <p><b>Arch. Marianna Denora</b>          Via Savona, 3 - 70022 Altamura (BA)          Tel. Fax 080 3147468   Cell. 331 5600322          E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it</p>	Studio Idraulico	<p><b>Studio di Ingegneria</b>  <b>Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano</b>          Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (Fg)          Tel./Fax 0881.070126   Cell. 346.6330966          E-Mail: lauragiordano.ing@gmail.com</p>
--------------------	---	---------------------	---

Opera	<p><b>Progetto definitivo per la realizzazione dell'Impianto agro-fotovoltaico "TAVOLIERE 2" integrato con potenza di picco pari a 37,362MWp e potenza ai fini della connessione pari a 30MW sito nel comune di FOGGIA, alle località "Posta de Piede - Vigna Croce" nonché delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto nel Comune di Manfredonia (FG).</b></p>				
-------	---	--	--	--	--

Oggetto	Folder: LE6F5X5_Relazioni e documenti del progetto definitivo dell'impianto	Sez. <b>A</b>			
	Nome Elaborato: LE6F5X5_Relazione_Geologica.pdf	Codice Elaborato: <b>A02</b>			
	Descrizione Elaborato: Relazione geologica del progetto definitivo				
00	Novembre 2021	Emissione progetto definitivo	Geol. N. Di Lella	Ing. Mezzina	OPDE TAVOLIERE 2 s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Formato: <b>A4</b>	Scala: /	Codice Pratica <b>LE6F5X5</b>	Codice Pratica TERNA <b>201900197</b>		

Sommario

<b>1. PREMESSA</b> .....	2
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	3
2.1. <b>Introduzione e geologia regionale</b> .....	3
2.2. <b>Stratigrafia</b> .....	6
<b>3. TETTONICA E SISMICITÀ</b> .....	15
3.1. <b>Sismicità dell'area</b> .....	17
<b>4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</b> .....	25
<b>5. VINCOLISTICA VIGENTE</b> .....	29
<b>6. IDROGEOLOGIA E CARATTERI DI PERMEABILITA'</b> .....	31
6.1. <b>Acque sotterranee</b> .....	31
6.2. <b>Permeabilità dei litotipi</b> .....	32
<b>7. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI</b> .....	36
<b>8. INDAGINI IN SITO</b> .....	37
8.1. <b>Metodologie impiegate</b> .....	39
8.2. <b>Modalità di esecuzione dei rilievi: attività di campo</b> .....	44
<b>9. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA</b> .....	46
9.1. <b>Elaborazione indagine sismica di tipo MASW</b> .....	46
<b>10. Classificazione sismica di sito</b> .....	50
<b>11. CONCLUSIONI</b> .....	54
<b>ALLEGATI</b> .....	62

## 1. PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geol. Nazario Di Lella iscritto all'Ordine dei Geologi della Puglia con il n. 345, su incarico della società OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L., con sede in Via Rotonda Giuseppe Antonio Torri, n. 9 – 40127 Bologna (BO) - PEC: [opdenergy.tavoliere2@legalmail.it](mailto:opdenergy.tavoliere2@legalmail.it) - C.F. e P.IVA 12206080019, ha eseguito il presente studio Geologico - Geotecnico a corredo del "PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "TAVOLIERE 2" INTEGRATO CON POTENZA DI PICCO PARI A 37,362 E POTENZA AI FINI DELLA CONNESSIONE PARI A 30 MW SITO NEL COMUNE DI FOGGIA, ALLE LOCALITÀ "POSTA DA PIEDE - VIGNA CROCE" NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO NEL COMUNE DI MANFREDONIA (FG)."

Lo studio è stato finalizzato a perseguire i seguenti obiettivi:

- individuare i litotipi presenti e le loro caratteristiche giacitureali;
- 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 Preliminare – di Fattibilità) 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.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

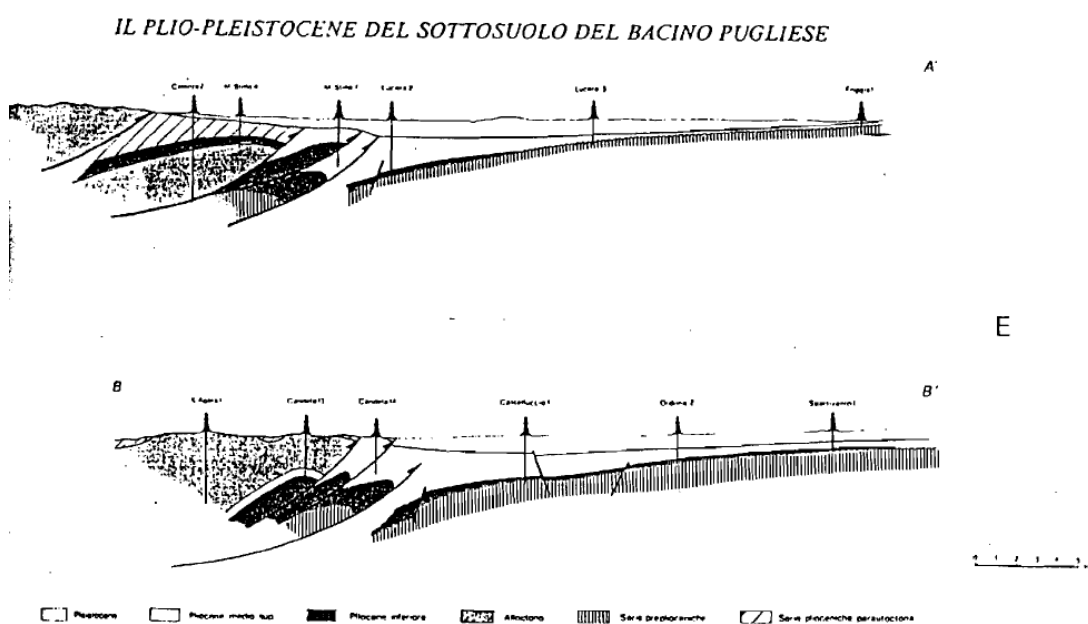
### 2.1. Introduzione e geologia regionale

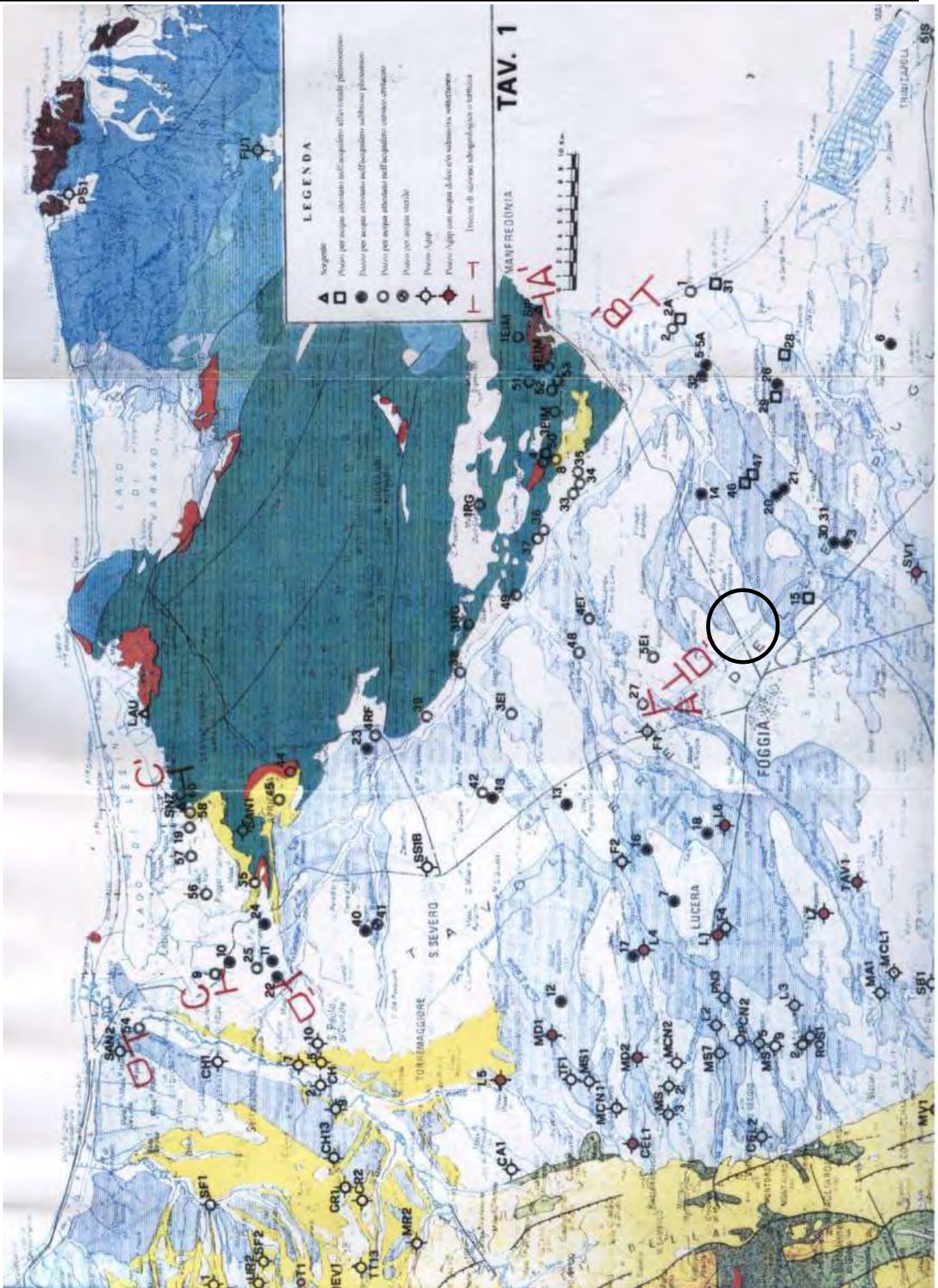
Nel territorio della provincia di Foggia affiorano successioni carbonatiche e terrigene appartenenti alle tre unità Stratigrafico-Strutturali:

- Catena;
- Avanfossa Appenninica;
- Avampaese Apulo-Garganico.

Il Settore più occidentale, Catena, è costituito da terreni di età compresa tra il Mesozoico ed il Pliocene, in contatto tettonico di sovrascorrimento con i termini del Miocene sup. dell'Avampaese deformato.

Tali terreni rappresentano una potente coltre di ricoprimento costituita da formazioni alquanto eterogenee come litologia, indicate in letteratura con il termine generico di "Alloctono".





Attraverso dati provenienti da perforazioni Agip e sondaggi Sismici profondi, evidenziano come tale coltre aumenti di spessore procedendo verso SW.

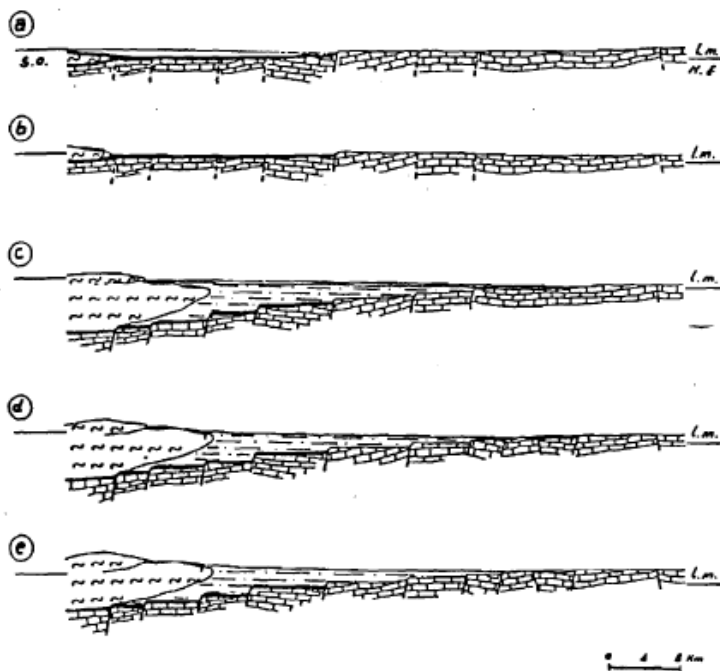
**Sede Legale/Operativa:**  
Via Ripalta, 21/A  
71010 -Lesina (FG)

**STUDIO DI GEOLOGIA Geol. NAZARIO DI LELLA**  
CONSULENZA TECNICA  
GEOLOGICA - ambientale - SICUREZZA

TEL. 0882/218822 - 328/3250902  
P.I. 02101530711  
C.F. DLL NZR 64L01 I054R

La parte centrale, Avanfossa appenninica, è costituita da depositi plio-pleistocenici poggianti in trasgressione sui calcari pre-pleiocenici della Piattaforma apula ribassati a gradinata verso SW da un sistema di faglie dirette a direzione appenninica.

Alcuni Autori interpretano tale area come bacino subsidente, compreso tra il paleomargine dell'Appennino e dell'Avampaese nel quale si sono depositi, a partire dal Pliocene Inf., sedimenti terrigeni.



**LEGENDA**

- (a) PLIOCENE INF. MEDIO : ABBASSAMENTO
  - (b) " " " : SOLLEVAMENTO
  - (c) PLIOCENE SUP. - PLEISTOCENE MEDIO : ABBASSAMENTO
  - (d) " " " " : SOLLEVAMENTO
  - (e) PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE : SOLLEVAMENTO
- DEPOSITI DELL'INTERVALLO III (PLIOCENE SUP. - PLEISTOCENE MEDIO)
  - DEPOSITI DELL'INTERVALLO II (PLIOCENE INF. - MEDIO)
  - ALLOCTONO (CRETACEO - MIOCENE)
  - AVAMPAESE CALCAREO (CRETACEO - MIOCENE)

Alla fine del Pliocene medio, per tutto il Pliocene superiore e parte del Pleistocene, una importante fase tettonica di abbassamento del substrato carbonatico provocò una estesa migrazione del bacino e della linea di costa verso NE.

Nello stesso tempo, dal margine della catena appenninica, in via di sollevamento, scivolarono per gravità verso il bacino, cospicue masse "alloctone".

Seguì poi, alla fine del Pleistocene inferiore, un generale sollevamento della regione, più pronunciato sul lato appenninico, determinando la migrazione del mare pleistocenico verso l'attuale linea di costa.

## **2.2. Stratigrafia**

I terreni affioranti nell'area del foggiano sono riferibili a tre unità strutturali distinte secondo il seguente schema:

### ➤ **Unità dell'Avampaese:**

- Calcari e gessi delle Pietre Nere Trias(Raibliano)
- Calcari di piattaforma (Creta inf-Giura sup.)
- Calcareniti bioclastiche e Calcari massicci di scogliera Miocene (Tortoniano)
- Rocce ignee delle Pietre Nere (Miocene).

### ➤ **Unità dell'Avanfossa:**

- Argille e sabbie basali (Pliocene medio-inf.)
- Calcareniti di Gravina
- Argille subappennine e Sabbie di Serra Capriola (Pleistocene inf.-Pliocene sup.)
- Depositi marini e alluvionali terrazzati (Olocene-Pleistocene sup.)

### ➤ **Unità della Catena:**

- Argilliti Vari colori (Miocene inf. – Oligocene)
- Flysh di Faeto (Miocene, Serravalliano-Langhiano)
- Marne argillose di Toppo Capuana (Messiniano-Tortoniano)

La serie è completata da termini più recenti rappresentati da sabbie di spiaggia, detriti di falda e depositi fluvio-lacustri.

### ➤ **Unità dell'Avampese Apulo-Garganico**

Il Promontorio del Gargano risulta essere costituito da una serie calcareo-dolomitica dello spessore complessivo di oltre 4.000 m., di età compresa tra il Giurassico e il Cretaceo superiore.

Questa serie poggia su depositi evaporitici, mentre superiormente è limitata, con contatto trasgressivo, da successioni mioceniche e plio-pleistoceniche.

Significato piuttosto singolare e ancora oggi controverso assumono gli affioramenti Triassici di Punta delle Pietre Nere, In corrispondenza del canale emissario del lago di Lesina.

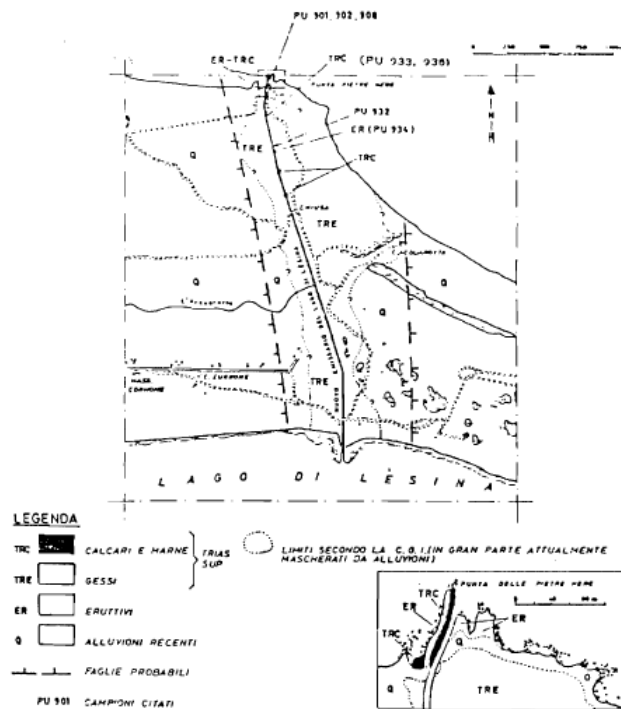


fig. 1.4 - Schema geologico della zona di punta delle Pietre Nere (da Carella, 1963).

Si tratta di una successione, già denominata in letteratura col nome di "Garganiti" (Viola, 1894), attribuita al Trias superiore (Raibliano) dai rilevatori della Carta geologica (Boni et al., 1986) sulla base dell'associazione macrofaunistica.



Il pozzo Foresta Umbra (Agip, Op. cit.), situato alla sommità del promontorio garganico, ha attraversato, da m. -3921 a m. -5912 (fondo pozzo), una potente serie evaporitica di età triassica al di sotto di alternanze di dolomie calcaree e dolomie.

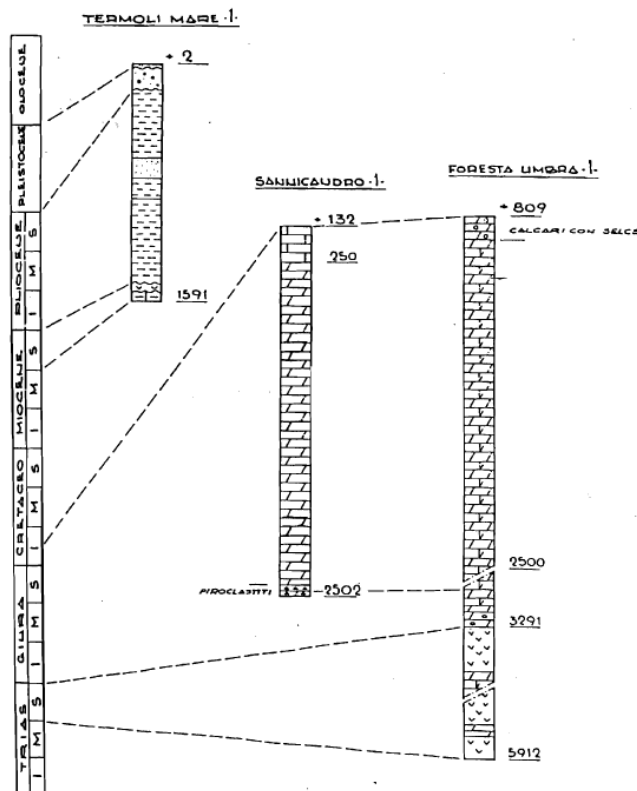


Fig. 1.3 - Correlazione tra le successioni dei pozzi di ricerca di idrocarburi perforati nel Promontorio garganico e a Termoli.

Nel pozzo Termoli Mare 1, perforato all'estrema propaggine occidentale del promontorio, le rocce evaporitiche sono state incontrate, nel tratto compreso tra m. -1484 e m. -1570, al di sotto di una successione argilloso-marnosa pliocenica di avanfossa e al di sopra di strati calcarenitici miocenici, incontrati, questi ultimi, fino a fondo pozzo (-1591 m.).

L'esistenza di una unità gessosa di età miocenica è stata riconosciuta in un'area situata in un tratto dell'Avanfossa appenninica, immediatamente a NW del Promontorio garganico, al di sotto di terreni pliocenici (Crescenti, 1975).

Con riferimento alle successioni mesozoiche del promontorio garganico, i calcari del Cretaceo inferiore costituiscono un esempio di ambiente di transizione tra

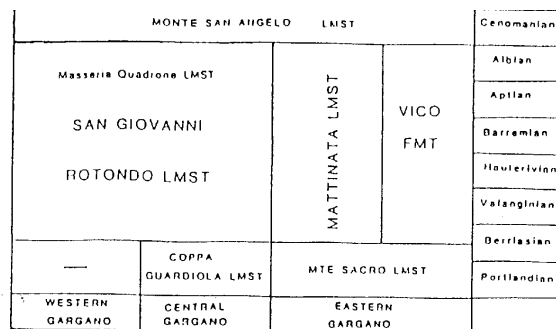
piattaforma, scarpata e bacino, secondo lo schema proprio di un margine deposizionale di piattaforma carbonatica.

Le diverse unità formazionali cretacee della Carta Geologica sono raggruppate in tre unità principali:

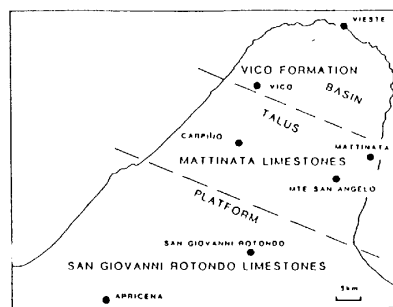
- Calcari di San Giovanni Rotondo;
- Calcari di Mattinata;
- Calcari di Vico del Gargano;

corrispondenti rispettivamente ad ambienti di "Piattaforma, Scarpata e Bacino".

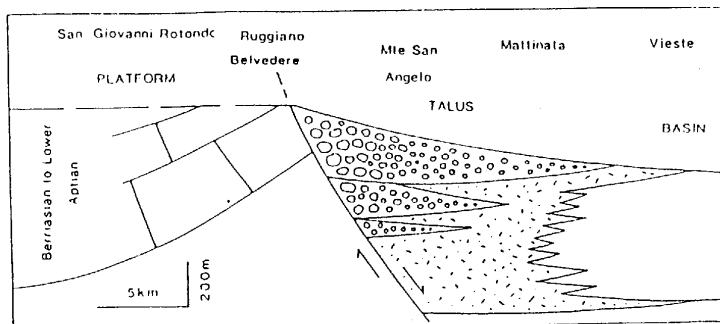
Le aree di affioramento sono distribuite secondo fasce subparallele con andamento NW-SE, corrispondenti al bordo di rift (Alto Topografico della piattaforma di San Giovanni Rotondo) ed al margine continentale passivo (scarpata-bacino di Monte S. Angelo – Vieste), secondo lo schema di fig. 1.8.



**Fig. 1.6- Schema stratigrafico del Cretaceo inferiore e medio del Promontorio del Gargano (da Masse & Luperto Sinni, 1987).**



**Fig. 1.7- Distribuzione delle principali unità e loro significato paleoambientale (da Masse e Luperto Sinni, 1987).**



**Fig. 1.8 - Modello strutturale sedimentario nel Cretaceo inferiore della piattaforma, scarpata e bacino di transizione del Promontorio del Gargano (da Masse e Luperto Sinni, 1987).**

I Calcari di San Giovanni Rotondo affiorano nella parte occidentale del Promontorio garganico e sono ben esposti in corrispondenza dell'Horst di Apricena dove sono interessati da una intensa attività estrattiva (Pietra di Apricena).

Si tratta di calcari micritici biancastri con venature rosate disposte a letti, compatti, tenaci, stratificati in grossi banchi di qualche metro, con frequenti strutture stilolitiche di colorazione rosso-violetto e rare intercalazioni di argille verdastre, particolarmente apprezzati come pietra ornamentale per pavimentazione interna e rivestimento di esterni.

La potenza degli strati vana da 1 a 4 metri, con giacitura prevalente verso S e una inclinazione di 5° circa.

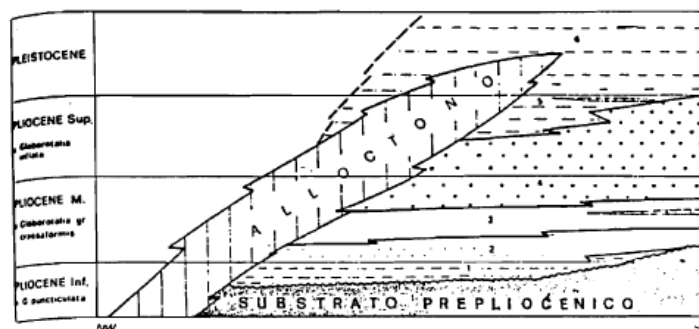
Nell'ambito dell'unità sono stati riconosciuti differenti tipi litologici; nella zona di Apricena e Poggio Imperiale, la successione è costituita da cinque membri (Luperto Sinni & Masse, Op. cit.)

### ➤ **Unità dell'Avanfossa Appenninica**

La parte di Avanfossa Periadriatica che va a sud dell'allineamento dei pozzi per idrocarburi M. Rotaro 1, Colle d'Armi 1, San Severo 1, è nota in letteratura come Bacino Pugliese.

In tale parte dell'avanfossa si rinviene una spessa successione di età plio-pleistocenica prevalentemente argillosa, ben descritta dagli autori attraverso

l'analisi di numerosi sondaggi perforati per ricerche di idrocarburi; verso il margine appenninico, potenti coltri alloctone si rinvengono in questi ultimi depositi



La successione litostratigrafica del bacino pugliese comprende dal basso verso l'alto i seguenti intervalli stratigrafici:

- intervallo argilloso-marnoso di base
- intervallo sabbioso-argilloso inferiore
- intervallo prevalentemente argilloso/intermedio
- intervallo sabbioso-argilloso superiore
- intervallo prevalentemente argilloso superiore
- argille e sabbie sommitali.

L'intervallo argilloso-marnoso di base è formato da argille-marnose per uno spessore di 100 m che in situazioni di paleoalto può essere notevolmente ridotto o assente. Questo intervallo, del Pliocene inferiore nella fascia interna, ringiovanisce verso l'esterno, includendo termini del Pliocene medio.

L'intervallo sabbioso-argilloso inferiore è rappresentato da intercalazioni sabbiose dapprima sottili e poi più spesse. Questi corpi mostrano una notevole irregolarità di sviluppo, inoltre gli intervalli sabbiosi si assottigliano verso NE

Tale intervallo risulta assente a nord dell'allineamento M. Rotaro - Colle d'Armi 1 - S. Severo I e caratterizza così il bacino pugliese.

L'intervallo prevalentemente argilloso intermedio è formato da argille di mare poco profondo, Pliocene medio, cui segue l'intervallo sabbioso-argilloso superiore attribuito al Pliocene medio e superiore.

L'intervallo prevalentemente argilloso superiore è caratterizzato dalla presenza di irregolari intercalazioni sabbiose molto subordinate rispetto alla parte pelitica.

La successione termina con argille prevalenti, cui si intercalano, in modo irregolare e disordinatamente, sottili livelli di sabbie a luoghi ciottolose, a trend di carattere regressivo (argille e sabbie sommitali).

In affioramento, nel Tavoliere si trova quasi esclusivamente la parte alta della successione plio-pleistocenica.

Le unità stratigrafiche regressive sono rappresentate dalle Sabbie di Serra Capriola (= Sabbie di Monte Marano), in sinistra Fortore, e dai conglomerati di chiusura.

Depositi terrazzati quaternari, riferibili a più cicli sedimentari marini e/o a fasi continentali di alluvionamento, sono posti a quote via via decrescenti.

Per quanto riguarda l' "Alloctono" esso è costituito da un complesso di formazioni molto eterogenee come litologia ed età; il suo spessore cresce rapidamente verso SO.

La base dell'alloctono è costituita da Argille varicolori che formano orizzonti plastici di sovrascorrimento di masse più coerenti. Seguono calcari e marne detritiche associate a calcari organogeni a briozoi e litotamni.

### ➤ **Unità della catena**

Nella parte settentrionale dei Monti della Daunia si riconoscono due successioni stratigrafiche (vedi fig.) formate in basso da terreni Lagonegresi ed in alto da termini Irpini, diverse per caratteri litostratigrafici e tettonici.



marnoso e calcareo-marnoso) attribuiti rispettivamente all'Aquitaniense sup.-Burdigaliano e all' Eocene medio.

Seguono le "Tufiti di Tusa", vulcanoclastiti marroni con intercalazioni pelitiche, calcarenitiche e calcareo-marnose indicative del Miocene inferiore.

Chiudono la serie la formazione del "Flysh Numidico", riferita al Langhiano, costituita da quarzoareniti risedimentate, con intercalazioni pelitiche grigio-verdastre e localmente calcarenitiche.

- **Unità Irpine (Langhiano-Tortoniano)**, costituite dal "Flysh di San Bartolomeo", noto nella zona di Anzano di Puglia come "Formazione di Anzano"; presenta facies arenaceo-conglomeratica e arenaceo-pelitica di età compresa tra il Langhiano-Serravalliano medio-superiore. Seguono in continuità stratigrafica le "Marne Argillose di Toppo Capuana", costituite da marne argillose e argille marnose grigie sottilmente stratificate, di età compresa tra il Serravalliano medio-superiore e il Tortoniano medio-superiore
- **Unità di Villamaina (Tortoniano sup.-Messiniano)**, costituita da arenarie litiche in basso, mentre superiormente segue una alternanza di arenarie e argille, e depositi gessosi laminati, gessareniti, breccie gessose e calcari evaporitici, tipici di un passaggio da ambiente euxinico ad una condizione evaporitica.

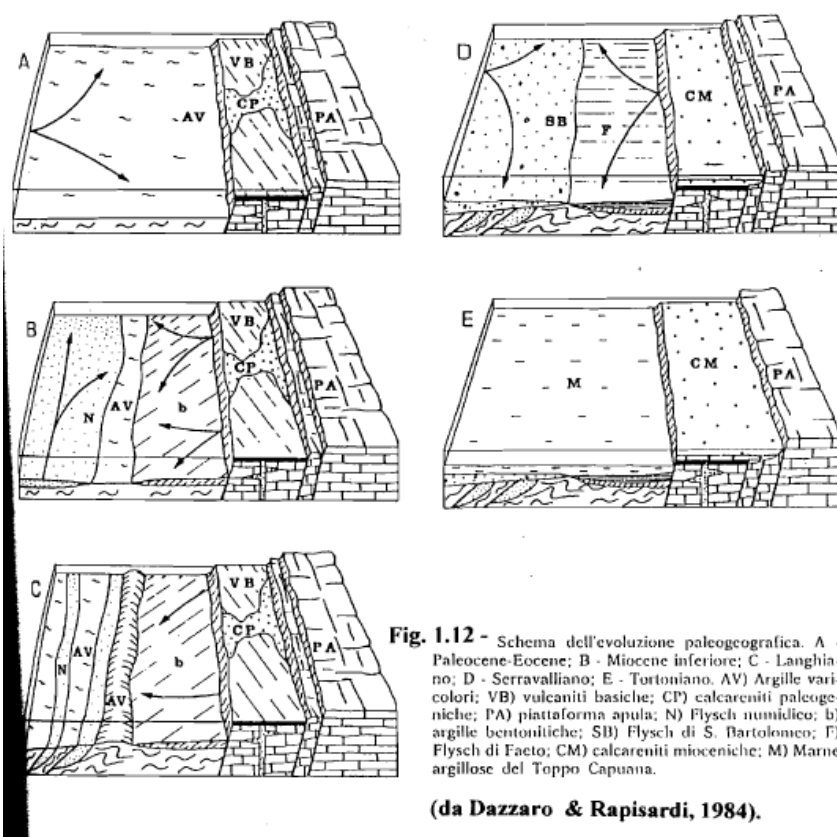
Il settore centrale costituisce il margine della catena appenninica e segna il passaggio tra le Unità Alloctone e i depositi della Unità Bradanica.

### 3. TETTONICA E SISMICITÀ.

I settori di Catena, Avanfossa e Avampaese, oltre che per caratteri litostratigrafici delle successioni affioranti differiscono anche per caratteri tettonici.

La zona più occidentale, costituita in prevalenza da terreni Flyshoidi, risulta interessata da una tettonica molto complessa, caratterizzata da strutture plicative e di accavallamento legate alla fase tettogenetica langhiano-tortoniana che ha portato alla formazione di più scaglie con vergenza a NE (Dazzaro & Rapisardi).

Ai raccorciamenti dovuti a tali fasi tettoniche si sono aggiunti quelli delle fasi pliocenica e pleistocenica. Gli effetti più evidenti di questa ultima fase compressiva si riscontrano al bordo appenninico, dove unità flyscioidi sono accavallate per faglie inverse su sedimenti dell'Avanfossa.



Le strutture distensive, infine, rappresentate da faglie dirette e verticali, allungate circa N-S, sono l'effetto delle fasi di sollevamento medio-supra pleistoceniche che hanno interessato la parte esterna della catena.



La zona centrale, ove affiora la serie plio-quadernaria dell'Avanfossa, è caratterizzata da un assetto tranquillo con giacitura degli strati pressoché orizzontale. La tettonica profonda, ricostruita attraverso i pozzi dell'Agip Mineraria, evidenzia l'esistenza di un substrato carbonatico pre-pliocenico suddiviso in più blocchi, dislocati da faglie dirette, progressivamente abbassati a NE (Sella et al, 1988).

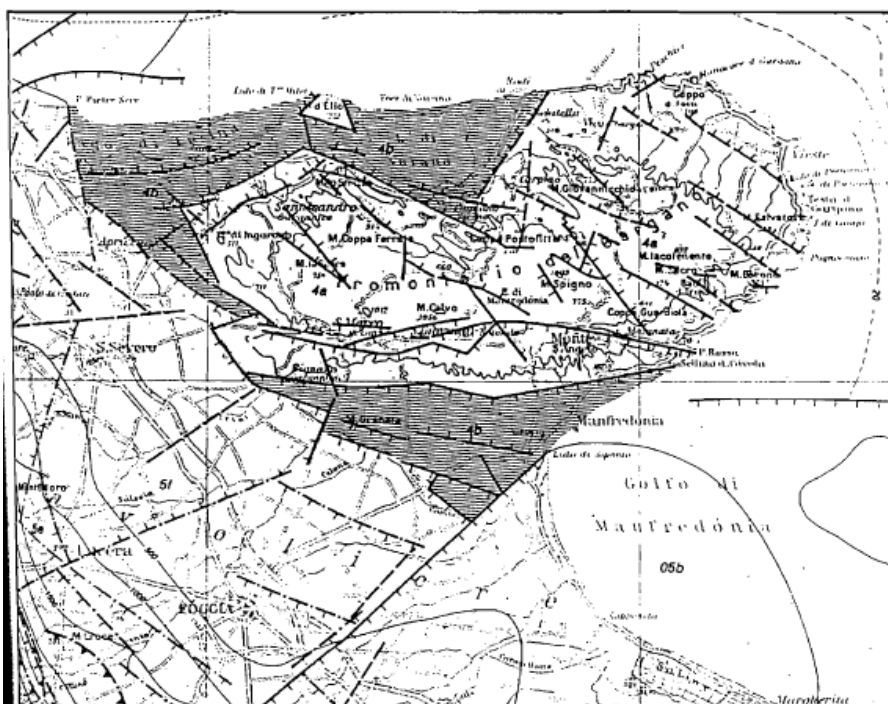
La zona più orientale corrisponde al rilievo del Gargano che, dal punto di vista strutturale, assume nel complesso l'aspetto di un horst, leggermente piegato in direzione NO-SE, delimitato nettamente su tre lati (a SO, a N ed a S) da faglie dirette (Martinis, 1964).

Le principali direttrici Tettoniche che interessano il Gargano presentano seguenti andamenti: NO-SE appenninico; NE-SO antiappenninico; E-O garganico. Il sistema di faglie a direzione appenninica è predominante; ad esso appartiene la "Faglia del Candelaro" che segna il contatto tra depositi plio-pleistocenici del Tavoliere e le rocce carbonatiche del Gargano.

Il sistema antiappenninico, meno diffuso del precedente, determina una ulteriore suddivisione a zolle dell'Horst garganico.

Le discontinuità ad andamento E-O sono le meno frequenti ma orientamenti analoghi si osservano anche in faglie minori e diaclasi. A questo sistema appartiene la faglia trascorrente della Valle Carbonara, che oltre ad individuare un graben, interrompe il fianco sud- occidentale dell'Horst delineando due zone strutturalmente diverse.

Un altro importante elemento tettonico è rappresentato dall'Horst di Apricena, delimitato verso N e verso S da faglie dirette a notevole rigetto (oltre 200 m) e ad andamento NE-SW. L'esistenza di tale faglia oltre che dalle stratigrafie di alcuni pozzi, è anche provata da evidenze di superficie, risultando essere la prosecuzione delle faglie che bordano il rilievo garganico, mettendo bruscamente a contatto calcari mesozoici con le formazioni clastiche plio-quadernarie.



**Fig. 1.13 - Schema tettonico del Gargano: 4a, stabile o in sollevamento nel Pliocene e nel Quaternario; 4b, stabile o in sollevamento nel Pliocene medio-superiore; in abbassamento nel Pleistocene inferiore e in sollevamento fino al Pleistocene medio (da Funicello et al., 1981).**

### 3.1. Sismicità dell'area

Il territorio del comune di Foggia 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 la città di FOGGIA 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:  $C=S-2/100 = 0,07$ .

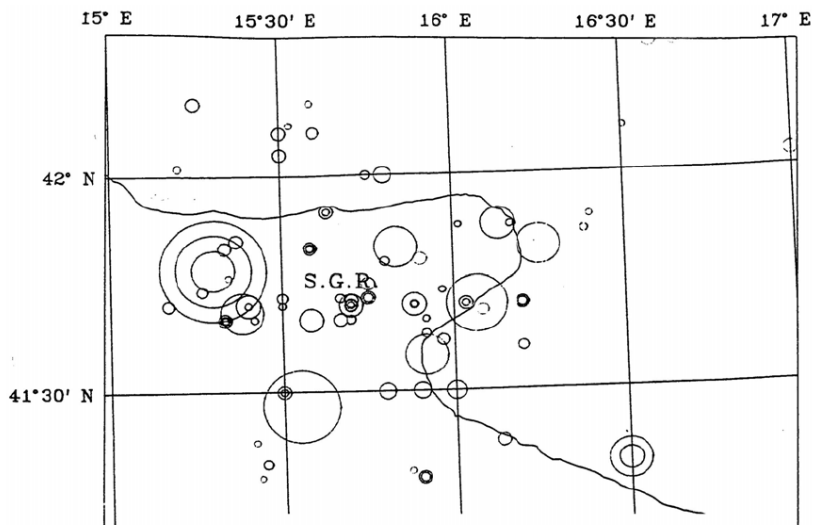
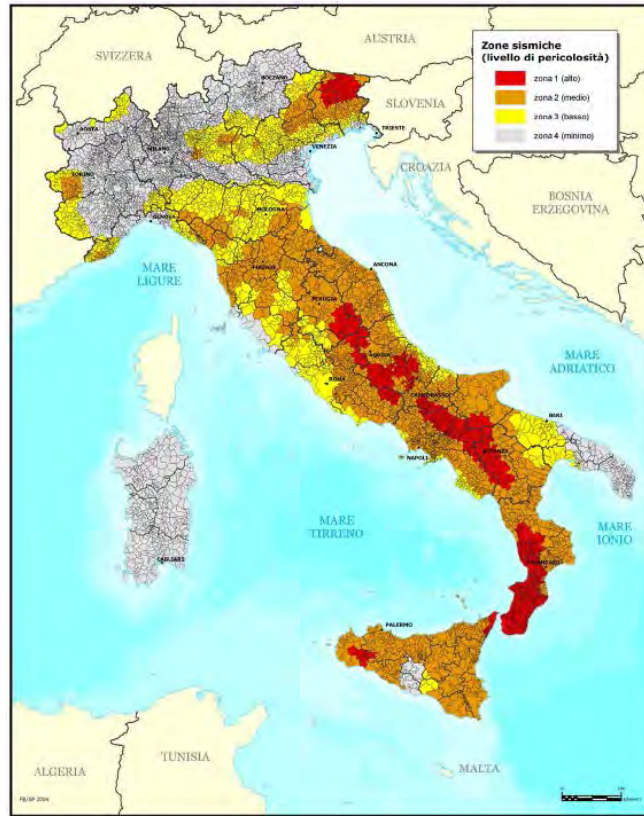
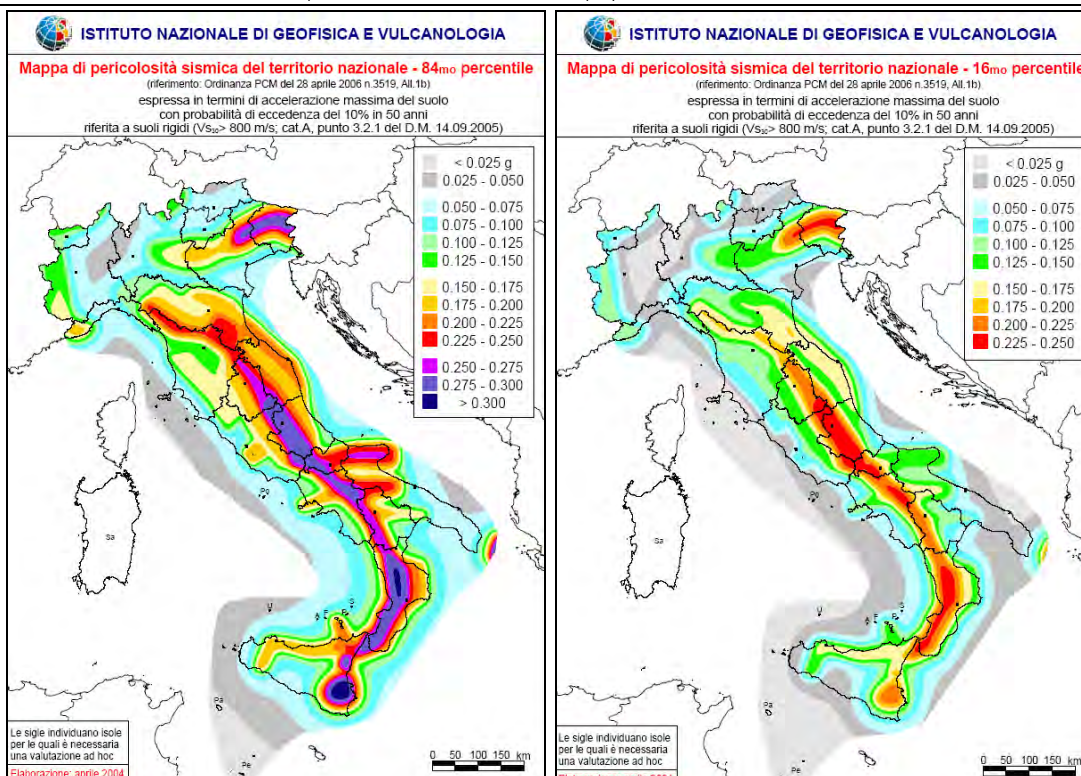


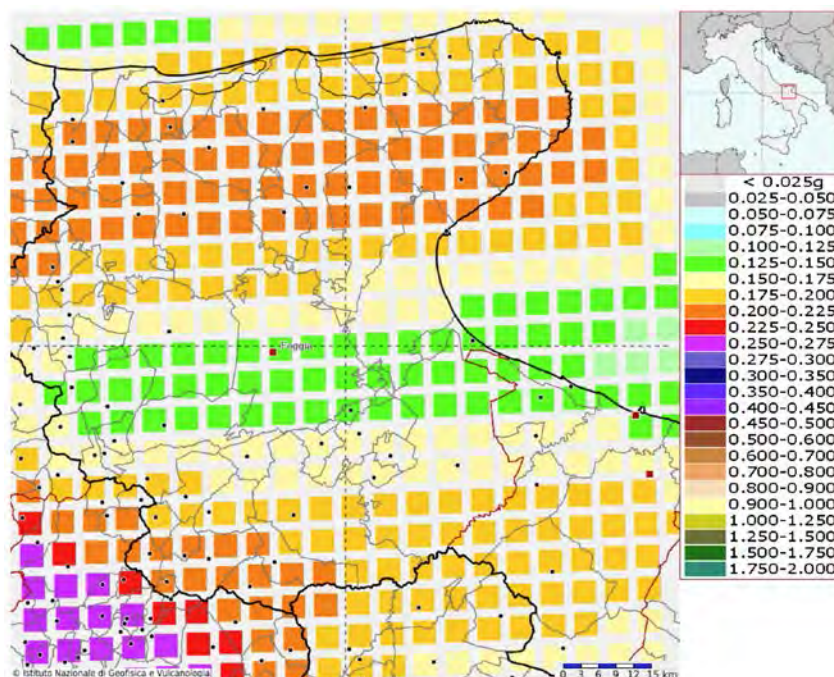
Fig. 3 – Mappa della distribuzione epicentrale nell'area garganica nel periodo 1000-1996: a) con qualunque magnitudo; b) con  $M \geq 3,5$ .



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)

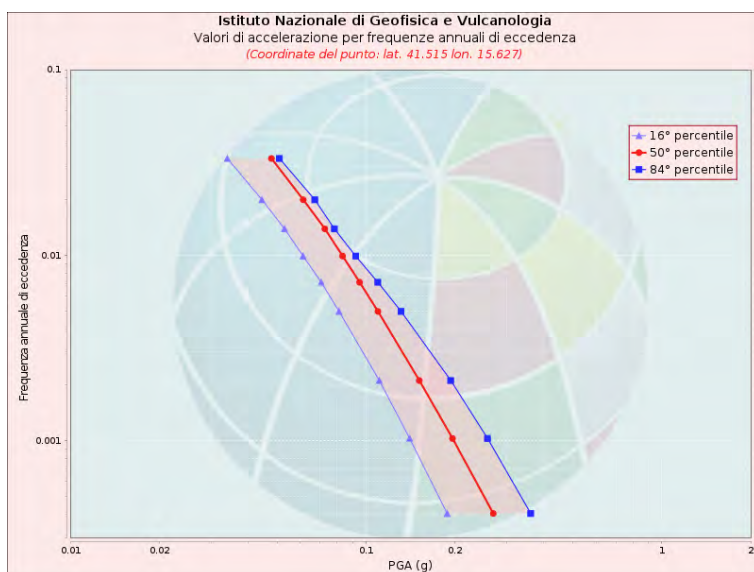
Informazioni sul nodo con ID: 30113 - Latitudine: 41.515 - Longitudine: 15.627



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 30336 (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.

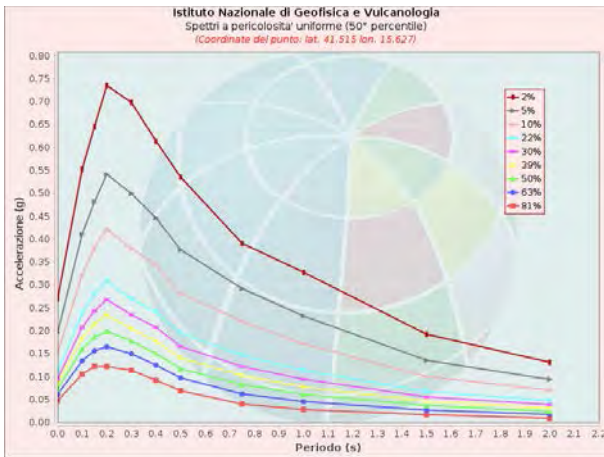


Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.188	0.270	0.361
0.0010	0.141	0.196	0.258
0.0021	0.111	0.152	0.194
0.0050	0.081	0.110	0.131
0.0071	0.071	0.095	0.110
0.0099	0.061	0.083	0.092
0.0139	0.053	0.073	0.078
0.0199	0.044	0.061	0.067
0.0332	0.034	0.048	0.051

### 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.

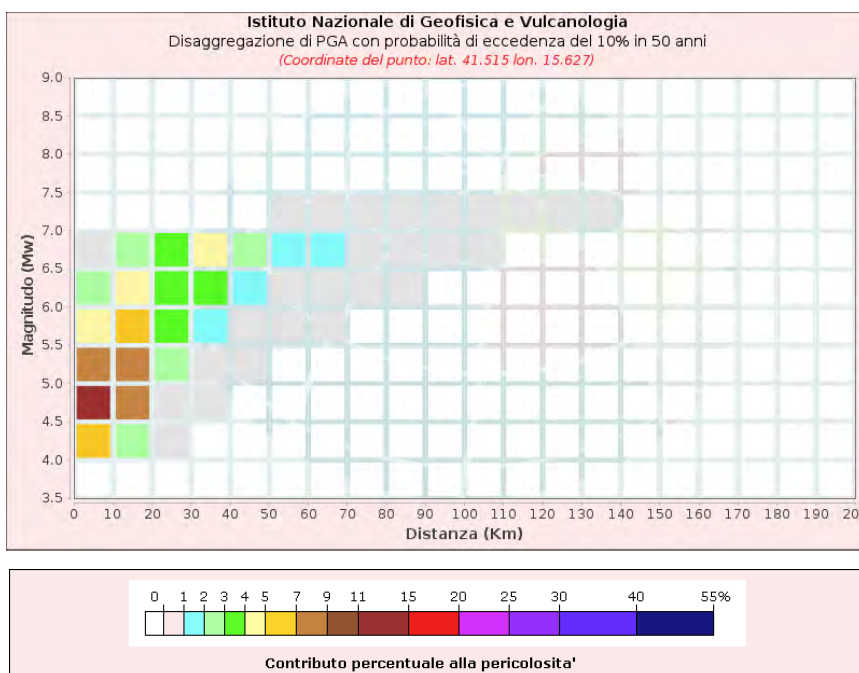


Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)												
PoE		Accelerazione (g)										
Tn 50		Periodo (s)										
anni		0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.270	0.553	0.646	0.735	0.698	0.614	0.536	0.391	0.328	0.193	0.131	
5%	0.196	0.411	0.482	0.542	0.499	0.447	0.377	0.292	0.232	0.136	0.094	
10%	0.152	0.323	0.382	0.422	0.380	0.343	0.282	0.221	0.171	0.101	0.071	
22%	0.110	0.238	0.281	0.308	0.271	0.242	0.196	0.147	0.114	0.068	0.048	
30%	0.095	0.208	0.243	0.268	0.235	0.208	0.166	0.122	0.094	0.056	0.039	
39%	0.083	0.183	0.214	0.235	0.205	0.178	0.141	0.103	0.079	0.047	0.031	
50%	0.073	0.160	0.186	0.199	0.178	0.151	0.117	0.083	0.062	0.037	0.024	
63%	0.061	0.135	0.157	0.165	0.150	0.125	0.098	0.062	0.046	0.027	0.018	
81%	0.048	0.105	0.123	0.123	0.114	0.092	0.070	0.040	0.029	0.017	0.010	

### Grafico di disaggregazione

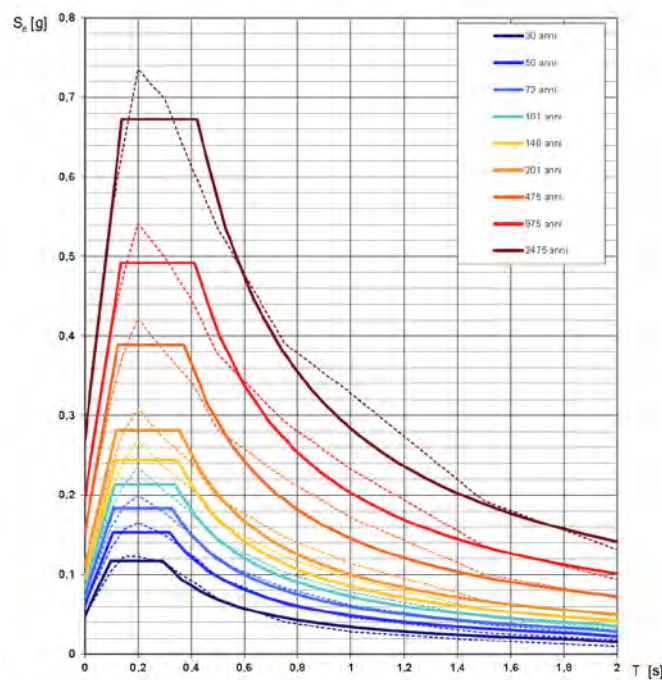
Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

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



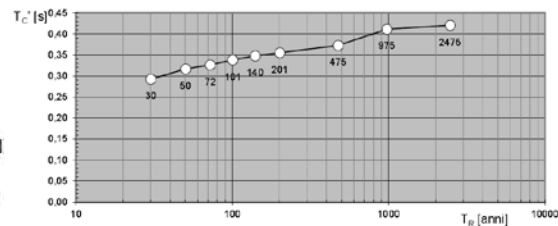
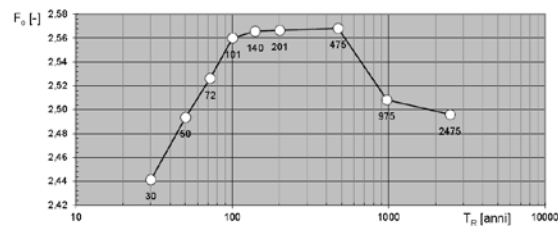
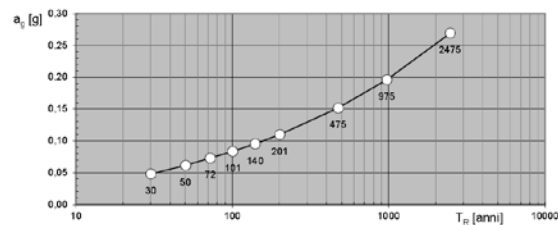


**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**



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

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,048	2,441	0,293
50	0,061	2,494	0,317
72	0,073	2,526	0,326
101	0,083	2,560	0,338
140	0,095	2,566	0,348
201	0,110	2,566	0,355
475	0,152	2,568	0,373
975	0,196	2,508	0,412
2475	0,270	2,496	0,421

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Valore (quadrante della costruzione) (t) anni -  $V_{t,c}$

Coefficiente di cura della costruzione -  $C_u$

Valore di impatto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $T_{r,c}$

Periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$

Stato limite di esercizio - SLE

- SLE -  $P_{t,sl}$  = 81%
- SLE -  $P_{t,sl}$  = 33%

Stato limite ultimo - SLU

- SLU -  $P_{t,sl}$  = 10%
- SLU -  $P_{t,sl}$  = 5%

Strategie di progettazione

Elaborazioni

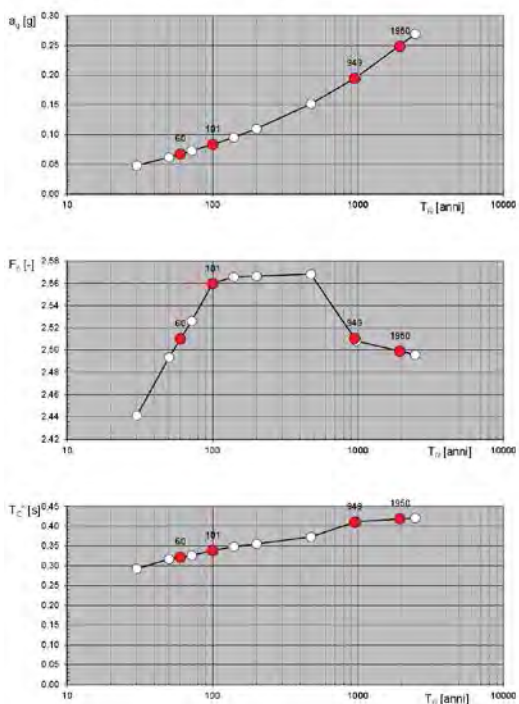
- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

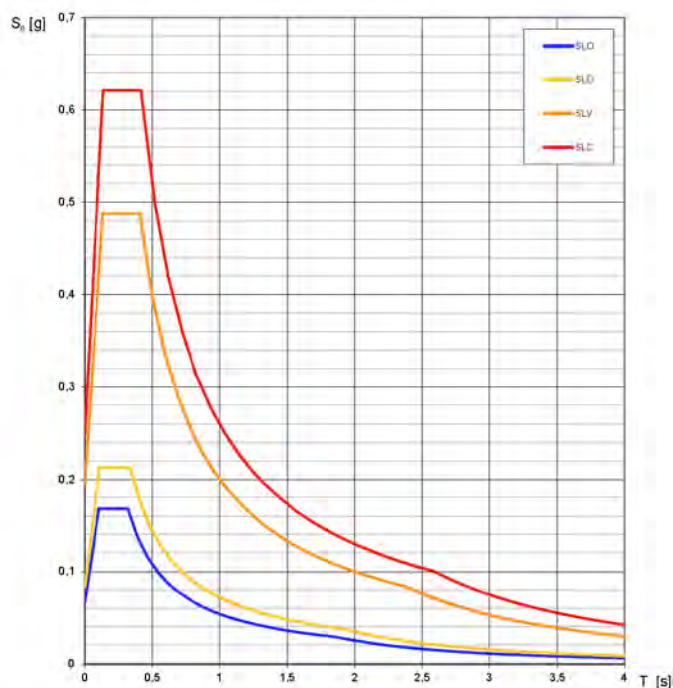
- Strategie per costruzioni ordinarie
- Strategie scelte

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$**



**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



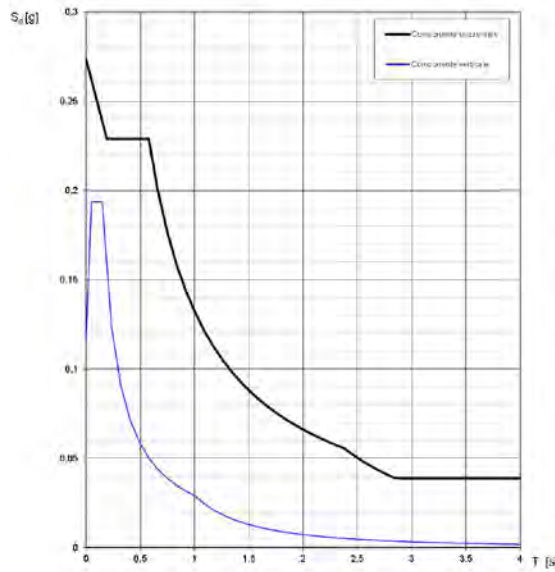
**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	60	0,067	2,510	0,322
SLD	101	0,083	2,560	0,338
SLV	949	0,194	2,510	0,410
SLC	1950	0,248	2,499	0,418





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



**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a <sub>0</sub>	0,194 g
F <sub>0</sub>	2,510
T <sub>0</sub>	0,410 s
S <sub>0</sub>	1,407
C <sub>0</sub>	1,409
S <sub>1</sub>	1,000
q	3,000

Parametri dipendenti	
S	1,407
η	0,333
T <sub>B</sub>	0,193 s
T <sub>C</sub>	0,578 s
T <sub>D</sub>	2,377 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_0 \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 2)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5; § 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_0 / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_0 \cdot T_0^2 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_0 / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_0} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_0} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto S<sub>d</sub>(T) per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico S<sub>e</sub>(T) sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0,000	0,273
0,193	0,229
0,578	0,229
0,653	0,199
0,749	0,177
0,835	0,166
0,921	0,144
1,006	0,131
1,092	0,121
1,178	0,112
1,263	0,105
1,349	0,098
1,435	0,092
1,520	0,087
1,606	0,082
1,692	0,078
1,778	0,074
1,863	0,071
1,949	0,068
2,035	0,065
2,120	0,062
2,206	0,060
2,292	0,058
2,377	0,056
2,455	0,052
2,532	0,049
2,609	0,046
2,686	0,044
2,764	0,041
2,841	0,039
2,918	0,038
2,996	0,038
3,073	0,039
3,150	0,039
3,227	0,039
3,305	0,039
3,382	0,039
3,459	0,039
3,536	0,039
3,614	0,039
3,691	0,039
3,768	0,039
3,845	0,039
3,923	0,039
4,000	0,039

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a <sub>0</sub>	0,116 g
S <sub>0</sub>	1,000
S <sub>1</sub>	1,000
q	1,500
T <sub>B</sub>	0,050 s
T <sub>C</sub>	0,150 s
T <sub>D</sub>	1,000 s

Parametri dipendenti	
F <sub>0</sub>	1,494
S	1,000
η	0,667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_0 \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 § 3.2.3.5})$$

$$F_0 = 1,35 \cdot F_0 \left( \frac{a_0}{g} \right)^{0,55} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0,000	0,116
0,050	0,194
0,150	0,194
0,235	0,124
0,320	0,091
0,405	0,072
0,490	0,059
0,575	0,050
0,660	0,044
0,745	0,039
0,830	0,035
0,915	0,032
1,000	0,029
1,084	0,024
1,168	0,021
1,251	0,018
1,335	0,015
1,419	0,013
1,503	0,012
1,586	0,011
1,670	0,009
1,754	0,009
1,838	0,008
1,922	0,007
2,006	0,006
2,090	0,005
2,174	0,005
2,258	0,004
2,342	0,004
2,426	0,004
2,510	0,004
2,594	0,004
2,678	0,004
2,762	0,004
2,846	0,004
2,930	0,004
3,014	0,004
3,098	0,004
3,182	0,004
3,266	0,004
3,350	0,004
3,434	0,004
3,518	0,004
3,602	0,004
3,686	0,004
3,770	0,004
3,854	0,004
3,938	0,004
4,022	0,004

#### **4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

L'area d'interesse è ubicata a circa 8,9 Km N-E dal centro abitato di Foggia, in località Posta da Piede – Vigna Croce, mentre la stazione elettrica di consegna è sita in località Macchia Rotonda, circa 16,6 Km est dal centro abitato di Foggia, in agro di Manfredonia.

La quota del sito è compresa tra i 40 m. s.l.m. (Campo FTV) e i 25 m s.l.m. (SSE), l'impianto risulta essere suddiviso in cinque sottocampi produttivi estesi su una superficie complessiva di circa 142 ha.

Cartograficamente l'area è ubicata nella parte centrale della Tavolette IGM 1:25.000 - Tav 164 III NE "Borgo Tavernola" (Campo FTV) e Tav 164 II NO "Borgo Mezzanone (SSE); su cartografia CTR 10.000 ricade nell'elemento n. 408121-409094 (Campo FTV) e n. 409144 (SSE).

Il territorio presenta una morfologia tipica media pianura foggiana, ed in particolare nella fascia idraulica meridionale (terminale) del T. Candelaro, con ampie spianate che corrono parallele all'asse fluviale, che terminano nella spianata di foce del golfo di Manfredonia, con una serie di canali tributari orientati in direzione prevalente E-W.

Nell'area in oggetto, non sono presenti forme di dissesto né attive né quiescenti o potenzialmente attivabili; trovandoci su un pianalto di cresta, da qui cominciano a presentarsi piccoli incanalamenti che presentano vergenza in direzione E, strutturandosi poi in reticolo vero e proprio prima di convergere verso il T. Candelaro.

I litotipi presenti sull'area sono rappresentati da depositi di origine alluvionale (Alluvioni Terrazzate del 3° ordine), mentre in prossimità delle linee d'impluvio si osserva la presenza di alluvioni quaternaria più recenti, in prossimità delle fasce di erosione fluviale attiva.

In base alla cartografia geologica di zona, il sito ricade in area di affioramento dei depositi alluvionali terrazzati del 3° ordine del T. Candelaro, con caratteri litologici di rielaborazione fluviale delle formazioni marine di base rappresentate

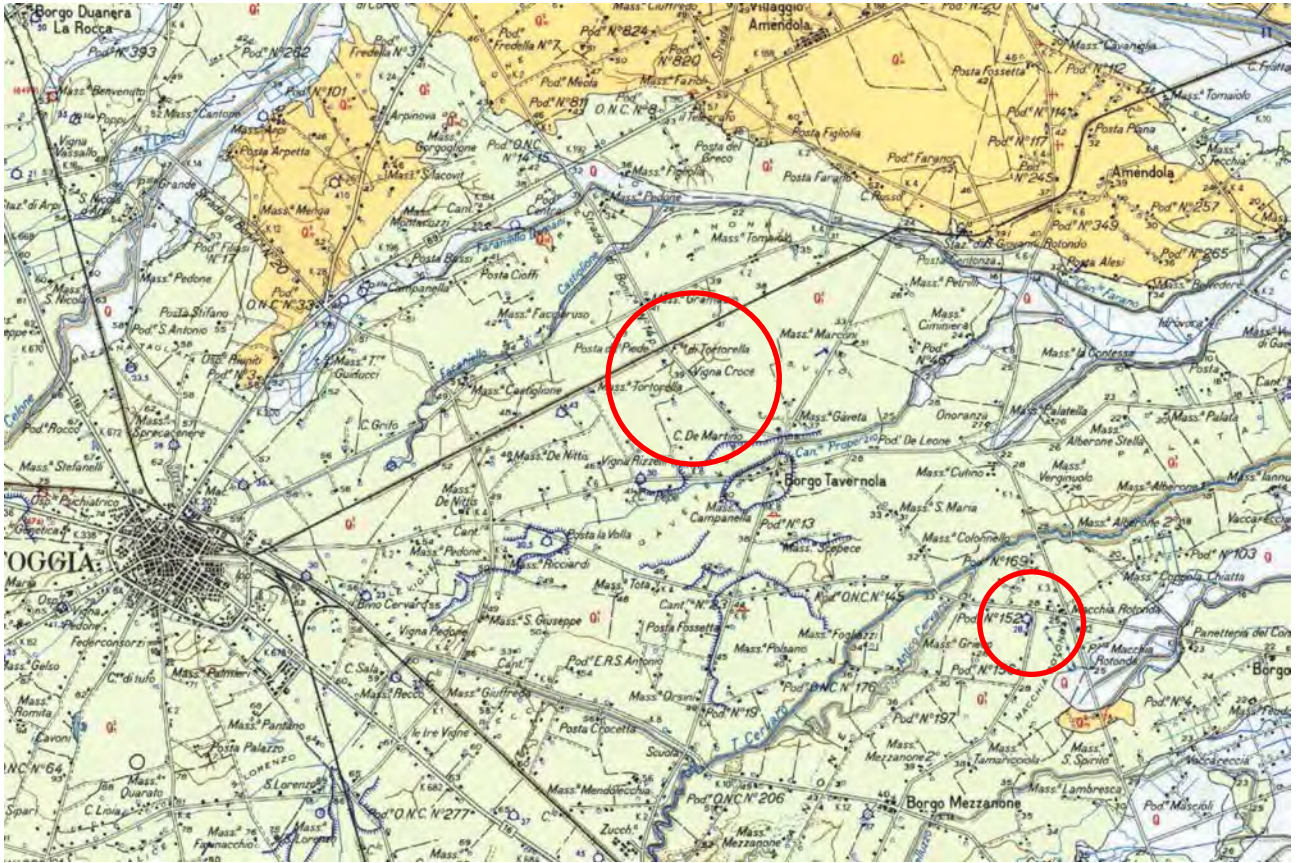
da una sequenza alternata tra sabbie con livelli di ciottoli arrotondati e limi che vanno dal sabbioso all'argilloso, per passare poi in profondità a litotipi a componente primaria sabbiosa, come si è potuto osservare in occasione di sondaggi meccanici eseguiti nell'area di sottostazione ed in corrispondenza di numerose perforazioni per pozzi di approvvigionamento idrico seguiti in zona.

A partire da quote variabili intorno ai 50-80 m. dal p.c., si intercettano poi i litotipi argillosi della sequenza plio-pleistocenica (argille torbiditiche grigio-azzurre) che in questa zona presentano potenze dell'ordine dei 400-500 m (Tesi Di Laurea Geol. Nazario Di Lella).

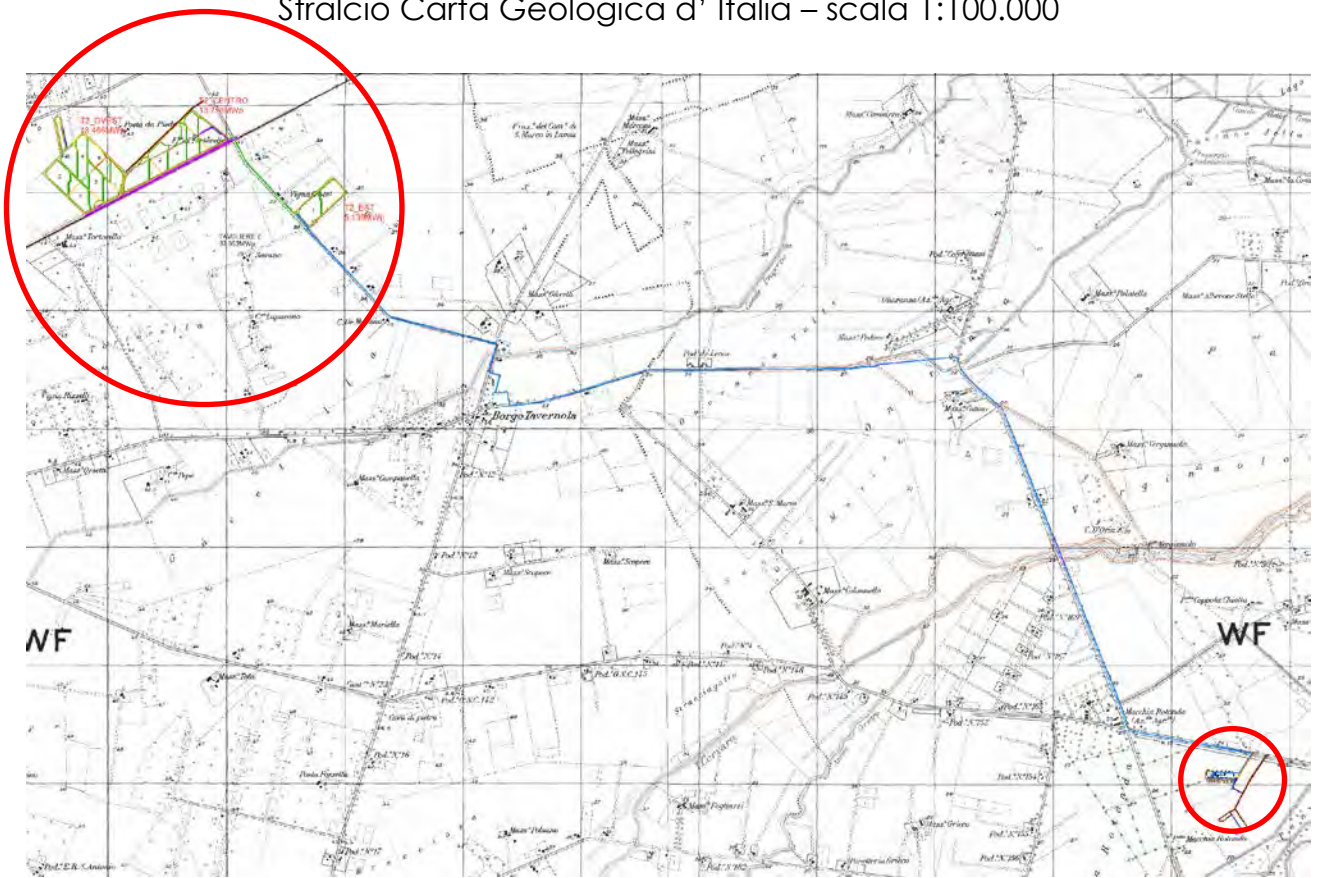
## STRATIGRAFIA - S1 - [REDACTED]

SCALA 1 : 150 Pagina 1/1

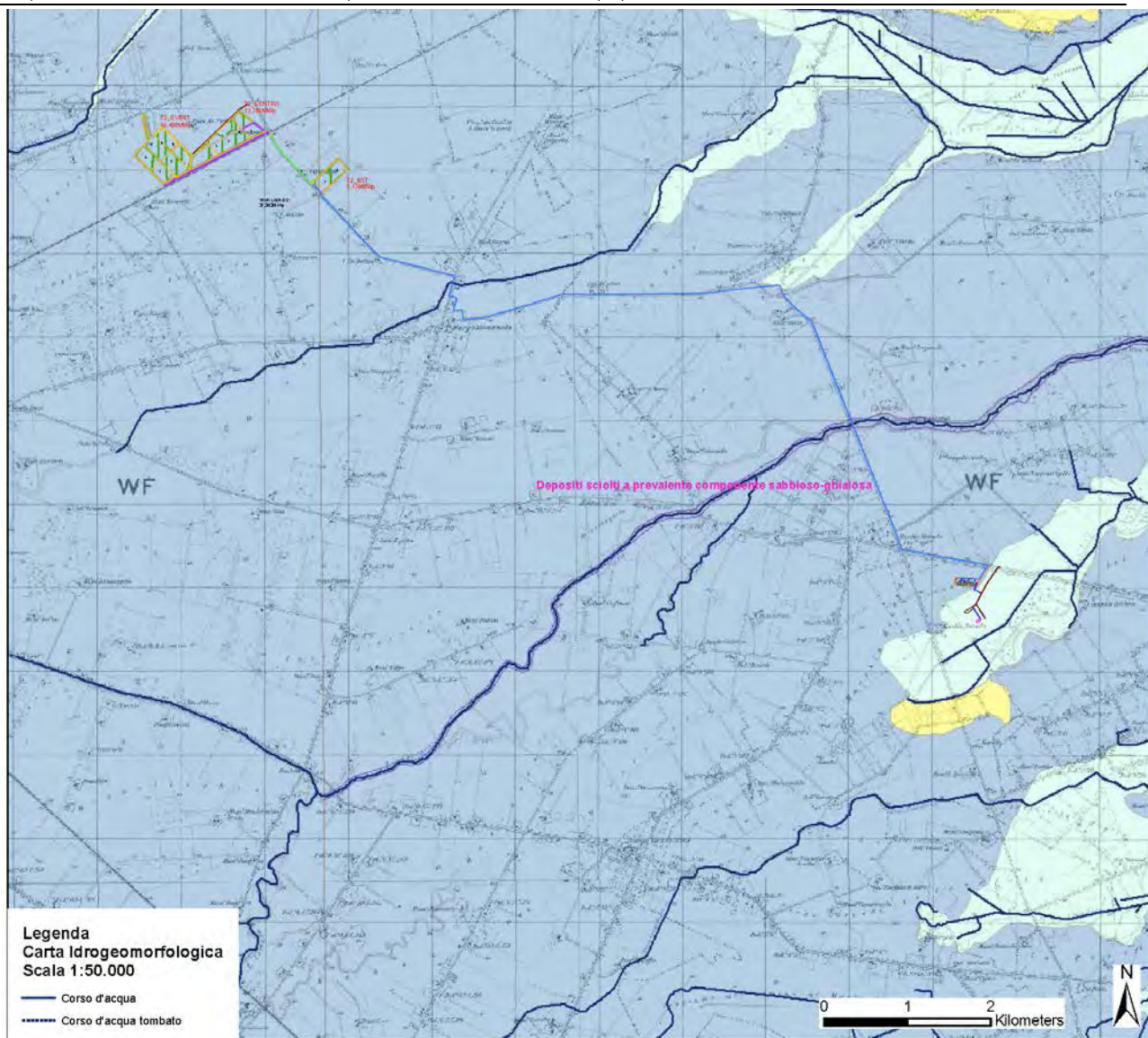
Riferimento: [REDACTED]										Sondaggio: S1 [REDACTED]			
Località: Manfredonia (FG)										Quota: 20,4			
Impresa esecutrice: [REDACTED]										Data: 14/02/2011			
Coordinate: [REDACTED]										Redattore: Dott. Geol. Nazario Di Lella			
Perforazione: A rotazione e carotaggio continuo con sonda SOILMEC SM305													
Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1	[REDACTED]		2	14				1,5	Terreno Vegetale - Riperti
				2	[REDACTED]							2,3	Limi sabbiosi grigi con striature ocra all'interno della parte più sabbiosa. Pochi calcinelli nodulari.
				3	[REDACTED]		1,5	12				3,5	Argilla grigia con alcune striature ocra alla base
				4	[REDACTED]		3	18					Argilla debolmente limosa di colore giallo ocra con alcune venature grigiastre
				5	[REDACTED]	SPT 1 < 5,00 5,45	3	18		5-12-18	30		
				6	[REDACTED]		4	20					
				7	[REDACTED]		1,5	10				6,5	Argilla limosa con incremento di sabbia ocra. Leggermente più molle degli strati precedenti.
				8	[REDACTED]	SPT 2 < 8,00 8,45	2,5	12		6-7-10	17	8,0	Alternanze di argille limose e sabbie argillose di colore giallastro con screziature ocra.
				9	[REDACTED]		1,5	7					
				10	[REDACTED]		3	11					
				11	[REDACTED]		3	16					
				12	[REDACTED]		3	11				12,0	Sabbia debolmente limosa giallastra.
				13	[REDACTED]		1,5	9				12,7	Sabbia ghiaiosa, con livello calcitico concrezionato a 13,5 m.
				14	[REDACTED]							13,5	Limo biancastro con ghiaietto.
				15	[REDACTED]					8-16-20	38	14,1	Sabbie grossolane giallognole con alcuni ciottolini.
				16	[REDACTED]							14,5	Livelli alternati di sabbie con ghiaia e sabbie limose con ghiaia di colore variabile dal giallastro/nocciola al biancastro.
				17	[REDACTED]								
				18	[REDACTED]								
				19	[REDACTED]								
				20	[REDACTED]							20,0	
Il materiale prelevato nel corso del sondaggio è stato conservato in 4 cassette catalogatrici. In corrispondenza del fondo canale è stato prelevato un campione di materiale (disturbato) per analisi granulometrica (C1)													



Stralcio Carta Geologica d'Italia - scala 1:100.000



Stralcio IGM 1:25.000



Stralcio Carta Idrogeomorfologica

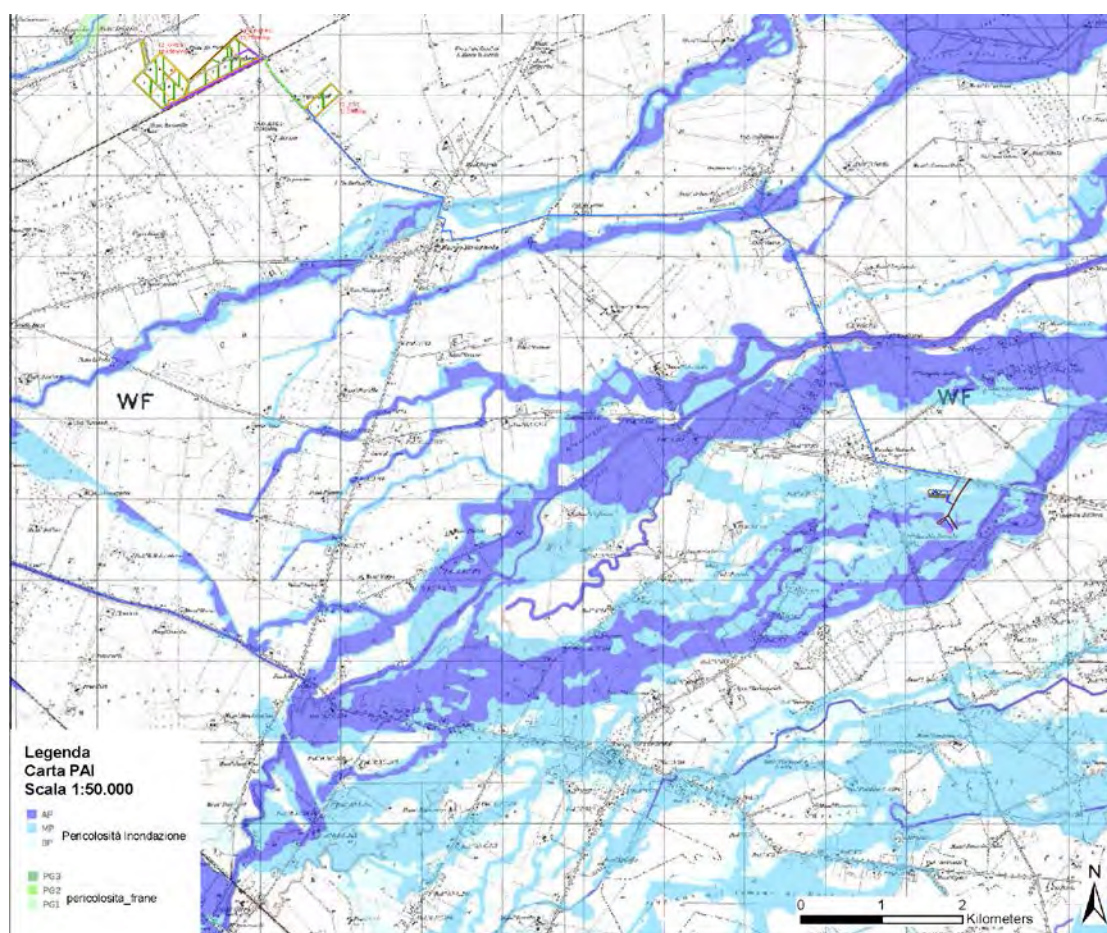
## 5. VINCOLISTICA VIGENTE

### ➤ P.A.I.: RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO

Sotto il profilo del rischio geomorfologico del P.A.I., l'area risulta essere esterna a qualsiasi zona individuata dal Piano sia per quanto riguarda il rischio geomorfologico, sia per quanto riguarda il rischio alluvionamento.

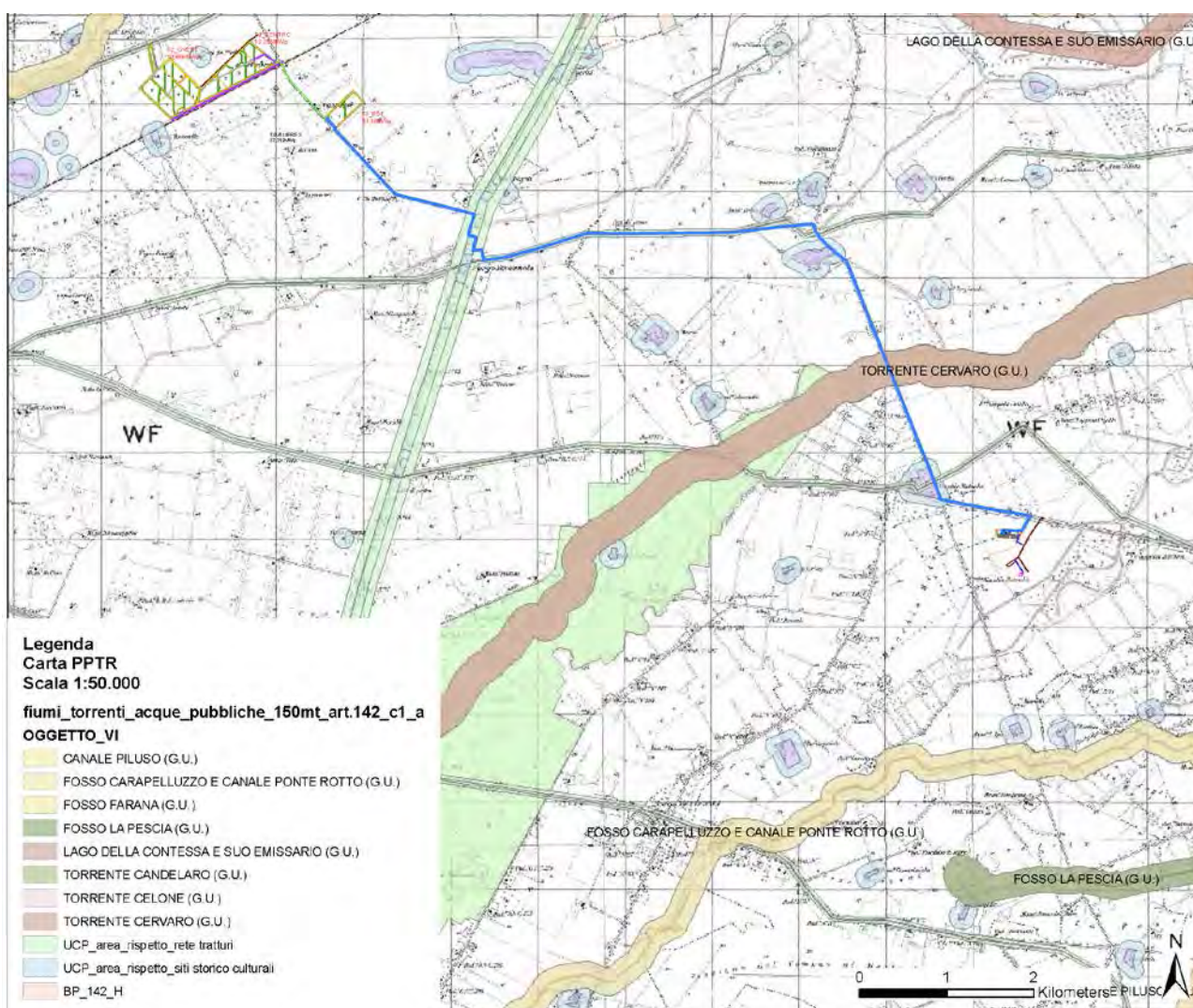
Il P.A.I. di riferimento è quello dell'Autorità di Bacino Competente (Autorità di Bacini Distrettuale dell'Appennino Meridionale).

Il tragitto del cavidotto di collegamento tra campo fotovoltaico e sottostazione di conferimento interseca in 5 punti le aree perimetrare come a rischio alluvionamento, in ognuno di questa intersezione si procederà ad eseguire l'attraversamento delle aree mediante tecnica TOC in sottopasso al reticolo, a partire da aree escluse dal vincolo per uscire nelle corrispondenti aree opposte, ad adeguata profondità di sottopasso, pertanto è da escludere qualsiasi possibilità di interferire con la naturale dinamica fluviale dei tratti interessati.



## ➤ P.P.T.R. PUGLIA

In riferimento al Piano Paesaggistico Regionale vigente (P.P.T.R.), dal punto di vista geologico-geomorfologico-idrogeologico, l'intero progetto non interessa alcuna area perimetrata da alcun vincolo dettato dal P.P.T.R. Puglia adottato; il percorso del caviodotto di collegamento interseca trasversalmente l'alveo del Torrente Cervaro, e come già detto in precedenza, si procederà con tecnica di attraversamento in sotto-alveo di tipo TOC teleguidata, non interessando in alcun modo l'evoluzione dell'alveo fluviale, la stessa tecnica sarà preferita in occasione di intersezione con ulteriori zone di vincolo/tutela riportate in cartografia PPTR.



STRALCIO CARTOGRAFIA PPTR

## **6. IDROGEOLOGIA E CARATTERI DI PERMEABILITA'**

In riferimento alla presenza di falde nell'area d'interesse, è da rilevare che la cartografia relativa alle piezometriche di zona rappresentano la piezometrica (cfr. Carta Isopieze) essere posta ad una quota compresa tra i 20 e 30 m sul l.m., pertanto, trovandoci a quote di oltre i 35-40 m. sul l.m., la piezometrica è soggiacente ad oltre 5-10 m. dal p.c.

Localmente, in virtù delle sequenze stratigrafiche e litologiche presenti, alluvioni terrazzate su argille plio-pleistoceniche, non è raro ritrovare falde sospese, di modesta/scarsa potenzialità produttiva, con modalità ed aree di ricarica legata esclusivamente ad infiltrazione delle acque meteoriche locali.

### **6.1. Acque sotterranee**

L'acqua meteorica ricadente nel bacino di interesse, in parte si infiltra, occupando ed alimentando direttamente la falda superficiale (di modesta capacità) contenuta nelle formazioni sabbioso-ghiaiose ed alluvionali terrazzate, in parte si concentra in piccoli fossi e scoline artificiali di drenaggio agricolo, conflueno presso le principali aste di drenaggio (T. Saccione e F. Fortore); i fossi di cui prima sono attivi solo in caso di eventi meteorologici di importante consistenza pluviometrica, mentre non sono state rilevate presenze di emergenze sorgive in zona.

L'infiltrazione e la circolazione delle acque sotterranee nelle formazioni alluvionali e sabbioso-ghiaiose di base possono avvenire esclusivamente in forma diffusa per porosità di interstizi, andando ad alimentare la falda più superficiale contenuta con alla base i livelli prevalentemente impermeabili a componente argillosa. Dove si verifica ciò si tratta comunque di piccoli accumuli locali rappresentanti piccoli bacini di falde sospese.

Più importante invece è la presenza delle acque di infiltrazione che si rinviene al tetto delle formazioni argillose plio-pleistoceniche delle argille grigio azzurre, tra i 40-80 m. dal p.c., che si rinvengono alla base dei depositi terrazzati alluvionali, che posseggono potenze dell'ordine dei 40-50 metri, tipica del tavoliere foggiano.



## 6.2. Permeabilità dei litotipi

La localizzazione in profondità e l'estensione degli acquiferi sono determinate dall'alternanza delle formazioni idrogeologiche permeabili e semipermeabili.

In base alla presenza di una dislocazione verticale del substrato carbonatico, caratterizzato da circolazione primaria per fatturazione e carsismo, su cui sono sovrapposte formazioni di depositi sedimentari a granulometria variabile tra le argille, le sabbie e ghiaie, dal punto di vista idrogeologico nell'area in esame si può distinguere una sola falda idrica utile avente caratteristiche di permeabilità variabile in funzione della maggiore o minore componente limo-argillosa presente nella formazione che la contiene.

Le acque impregnano i depositi delle sabbie e delle alluvioni terrazzate, aventi permeabilità primaria per porosità di interstizi, rinvenibili fino a profondità comprese tra i 50-70 m. dal p.c., con base posta in corrispondenza dei livelli prevalentemente argillosi, sorrette quindi dai sedimenti impermeabili delle formazioni plioceniche prevalentemente argillose (Argille grigio azzurre).

COLONNA STRATIGRAFICA	LITOTIPI PREVALENTI	UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE	ETA'	PERMEABILITA'		UNITA' IDROGEOLOGICHE
				TIPO	GRADO	
	Limi argillosi e sabbie siltose	Depositi lacustri	Olocene	Primaria (porosità d'interstizi)	Da poco permeabile ad impermeabile	Acquitrardo
	Ghiaie e sabbie stratificate da poco a mediamente addensate con lenti limose	Depositi marini e alluvionali, terrazzati e non	Olocene-Pleistocene medio superiore		Mediamente permeabile	Acquifero alluvionale
	Limi argillosi con intercalazioni di sabbie	Argille Subappennine	Pleistocene inferiore -Pliocene medio	Secondaria (fessurazione e/o carsismo)	Impermeabile	Acquicludo
	Calcarenti a grana grossolana, tenere, porose "Tufo calcareo"	Calcarenti di Gravina			Poco permeabile	Acquifero sabbioso
	Calcarenti detritico-organogeni	Calcarenti bioclastiche e Calcari massicci di scogliera	Miocene superiore		Da poco a mediamente permeabile	Acquifero carsico
	Calcarenti e dolomie, stratificati e fratturati, a luoghi, carsificati	Calcarenti delle Murge	Cretaceo inferiore-Giura superiore		Da mediamente permeabile a molto permeabile	

Fig. 1 Serie idrogeologica delle Unità dell'Avanfossa appenninica.

Estratto da Tesi di Laurea Di Lella Nazario in Idrogeologia e Geotermia – Univ. Di Bari Dip. di Geologia e Geofisica “Caratteri della circolazione idrica profonda del Tavoliere”

Sulla scorta di una stima indiretta del grado di permeabilità di ciascuna unità della locale serie litostratigrafica, basata sulla osservazione e correlazione di parametri diversi (fessurazione, grado di addensamento, granulometria predominante,

cadenti piezometriche, ecc..), le condizioni idrogeologiche delle rocce presenti nel territorio di Foggia risultano quelle schematizzate in Tabella 1.

**TABELLA N°1**

FORMAZIONE	PERMEABILITÀ	LITOLOGIA	FALDA
Alluvioni e depositi marini sabbiosi/ghiaioso-conglomeratici	per porosità intergranulare e interstratale	Sabbioso-limosa sciolta incoerente / parzialmente coerente e ghiaie conglomeratiche	superficiale
Argille grigio azzurre e limi sabbiosi	porosità solo di tipo interstiziale (impermeabili)	sciolta coerente	assente
Basamento Calcereo mesozoico	permeabile per fessurazione e carsismo	lapidea	falda profonda

Il grado di permeabilità risulta variabile localmente, in relazione ai fattori più disparati quali: assortimento granulometrico, incisività di fenomenologie paracarsiche, struttura e diagenesi del deposito. In particolare le facies delle argille plioceniche grigio azzurre sono da ritenersi dotate di scarsa permeabilità e rappresentano il letto della falda superficiale posizionata in corrispondenza delle formazioni alluvionali e sabbiose sovrastanti.

I calcari sono invece dotati di permeabilità secondaria per fessurazione e carsismo.

In base ai criteri litologici descritti ed alle osservazioni di campagna, i terreni affioranti possono essere così classificati secondo il tipo di permeabilità.

➤ **Terreni permeabili per porosità intergranulare**

A questa categoria sono correlabili le rocce sciolte di natura sabbiosa-limosa inerenti all'area in esame, attribuibili ai "Depositi alluvionali e marini terrazzati".

Tali depositi hanno medie capacità di contenimento e di trasmissione idrica e pertanto svolgono, assieme alla componente calcarenitica dei depositi marini terrazzati, il ruolo idrostrutturale di acquifero superiore, vale a dire contengono una falda superficiale di modesta entità.

**Permeabilità:** Primaria, per porosità, e definita da un Coefficiente di Conducibilità variabile tra  $1,0 \times 10^{-4}$  e  $1,0 \times 10^{-6}$  cm/sec, in funzione delle componenti lenticolari argillose presenti localmente in interstrato.

➤ **Terreni permeabili per porosità intergranulare ed interstratale**

A questa categoria sono correlabili i depositi sciolti di natura calcarenitica sabbiosa e ghiaiosa. La porosità efficace di tali rocce risulta non trascurabile, difatti, sono considerate mediamente permeabili e svolgono il ruolo idrostrutturale di acquifero superficiale, vale a dire, di contenitore della falda superficiale pleistocenica, attribuibile alle unità basali delle "Sabbie e ghiaie di deposizione marina".

**Permeabilità:** Primaria, per porosità, e definita da un Coefficiente di Conducibilità variabile tra  $1,0 \times 10^{-3}$  e  $1,0 \times 10^{-5}$  cm/sec, in funzione delle componenti lenticolari argillose presenti localmente in interstrato.

➤ **Terreni impermeabili**

I terreni riconducibili alla formazione delle Argille grigio azzurre plioceniche, poiché dotate esclusivamente di porosità di tipo interstiziale, hanno grande capacità di contenimento idrico e, al contrario, la trasmissività risulta essere nulla. Sono attribuibili queste caratteristiche idrogeologiche alle unità argillose plioceniche.

Il ruolo idrostrutturale cui assurgono le rocce argillose in oggetto risulta essere quello di acquicludo e di base impermeabile per l'acquifero superiore.

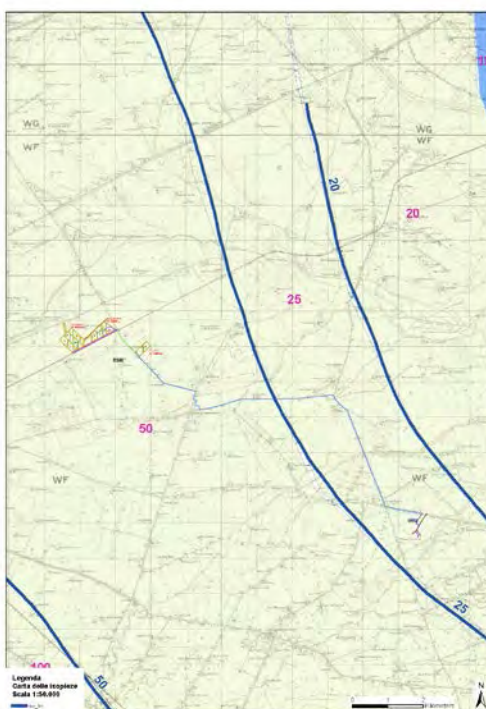
**Permeabilità:** Acquicludo, è definita da un Coefficiente di Conducibilità molto basso  $1,0 \times 10^{-5}$  e  $1,0 \times 10^{-7}$  cm/sec. Risulta comunque essere contenitore di una modesta falda discontinua in corrispondenza di livelli prevalentemente sabbioso fini, posti a quote prossime ai 300-500 m. dal p.c. rappresentante la cosiddetta Falda intermedia Pliocenica, rinvenibile esclusivamente ed in maniera discontinua nei territori dell'alto Tavoliere (sud di Torremaggiore, Sud di S. Severo, Nord di Lucera).

➤ **Rocce permeabili per fessurazione e per carsismo**

Sono rappresentati dai calcari del cretaceo. Più che un acquifero vero e proprio sfruttabile, in questa zona dove il basamento carbonatico è posto a quote elevate, rappresentano acque connate legate a bacini di accumulo petrolifero e gassoso. La presenza di fratture, piani di stratificazione, e condotti carsici dovuti all'allargamento di fratture e giunti di strato, costituiscono una rete fessurativa che conferisce all'ammasso roccioso un'elevata permeabilità che varia sia verticalmente che lateralmente al variare del grado di fratturazione e della natura litologica della roccia cretacea (Calcarea e calcareo-dolomitica).

L'elevata capacità di contenimento e di circolazione idrica, e l'elevata porosità efficace, rendono i calcari in oggetto idonei a svolgere il ruolo idrostrutturale di acquifero inferiore, ovvero di contenitore per la falda carsica profonda, direttamente collegate, come bacino di alimentazione, con la circolazione delle acque appartenenti all'Idrostruttura profonda del tavoliere e della fascia pedegarganica.

**Permeabilità:** Primaria, per fessurazione e carsismo, e definita da un Coefficiente di Conducibilità Idraulica variabile tra  $1,0 \times 10^{-6}$  e  $1,0 \times 10^{-2}$  cm/sec, con valori medi dell'ordine di  $1,0 \times 10^{-3}$  cm/sec, in funzione del grado di fratturazione e fessurazione del basamento carbonatico.



## 7. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI

Il sito risulta ricadere, sulla base di quanto riportato nella carta Geologica d'Italia 1:100.000 (F. 164), ricadere nella fascia di affioramento delle **"Qt3 - Alluvioni terrazzate (Olocene)"**

### SERIE PRESENTI IN AREA:

**Qt<sup>3</sup> - Alluvioni terrazzate (Olocene):** Formate in prevalenza da sedimenti sabbioso-argillosi, subordinatamente ciottolosi, presentano frequentemente terre nere e incrostazioni calcaree. Tali alluvioni terrazzate assumono una certa importanza lungo i corsi dei tre torrenti principali: Candelaro, Cervaro, e Carapelle.

**Q - Alluvioni recenti:** I depositi alluvionali recenti occupano i fondovalle dei corsi principali.



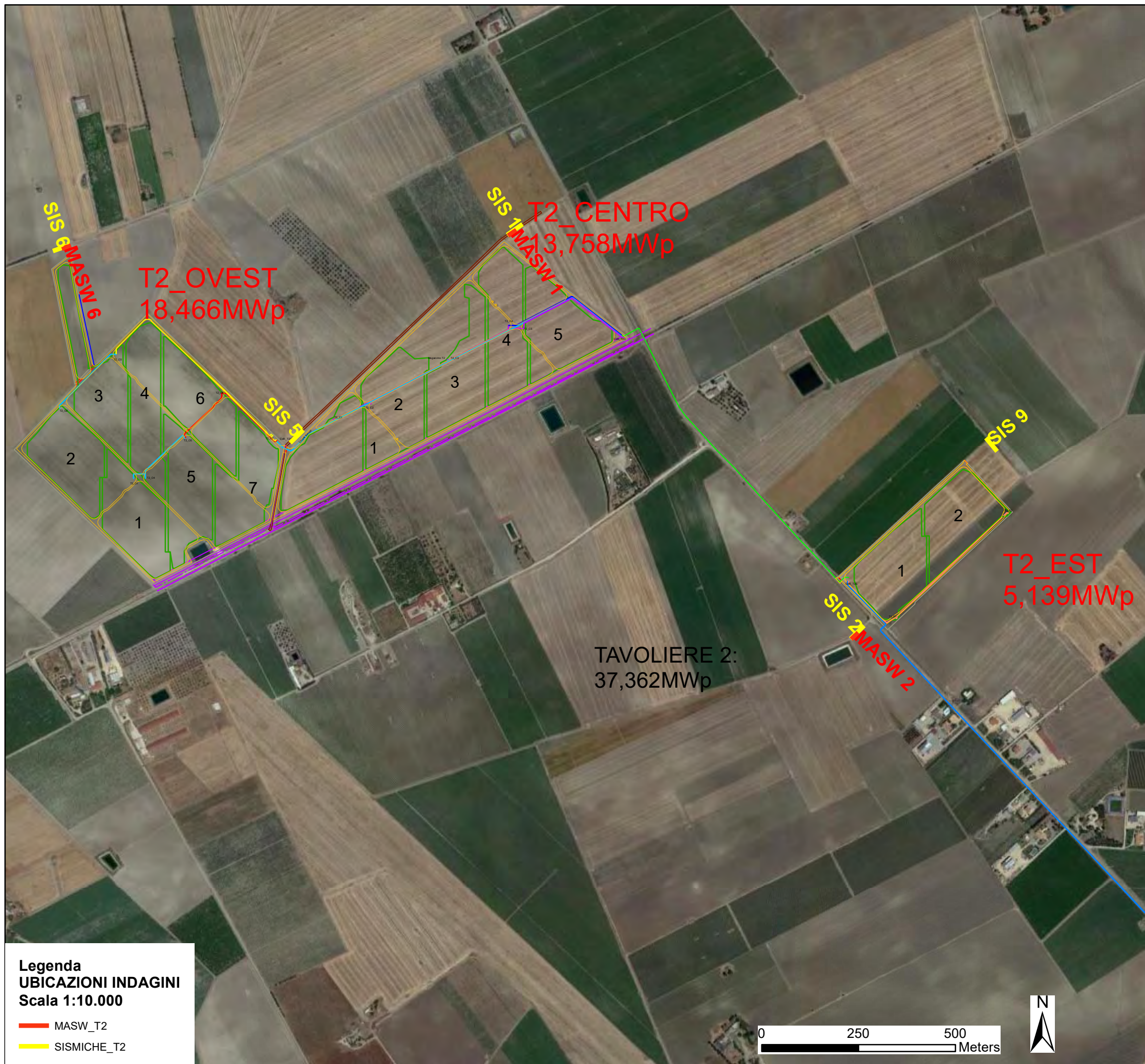
## 8. INDAGINI IN SITO

Per ottenere la situazione litostratigrafica locale dell'area, oltre alla esecuzione di un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, che ha evidenziato una sostanziale uniformità dei litotipi affioranti (depositi alluvionali terrazzati), si è proceduto alla esecuzione di indagini geofisiche in corrispondenza dell'area d'impianto FTV e della Cabina di Conferimento Produttore (SSE).

L'indagine è consistita nella esecuzione di n° 6 profili Sismici a Rifrazione e n° 4 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 loro moduli elastici permettendo la definizione del profilo sismico sito da associare al terreno di fondazione attraverso il calcolo della  $V_{S30} / V_{s,eq}$ , come richiede la normativa vigente.

Per una più completa caratterizzazione del quadro geotecnico in questa fase di progettazione preliminare, in relazione alle opere che andranno a comporre il campo fotovoltaico e la sottostazione di conferimento, sostanzialmente caratterizzata da pannelli posti su strutture (pali) di sostegno delle stringhe, infissi tra 2-3 m. dal p.c., e da cabine elettriche/vani tecnici e strutture elettromeccaniche poggianti su piastre di fondazioni superficiali, il cui piano di posa non supererà 1,0/1,5 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.



## 8.1. 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:

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

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.

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

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , 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 ( $S_v$ ) 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 loro 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  $V_p$  e dalla densità, è funzione anzitutto della  $V_s$ , 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 spazature 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 rigidità del terreno sono quelle di taglio.

➤ **STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

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



SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2M $\Omega$ m // 22nF
Range Dinamico	144dB (sistema); >117db (istantaneo, misurato @1ksps)
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB	dalla DC a 6.8kHz@32ksps - dalla DC a 0.21 kHz@1ksps
Largh.Banda +/- 0.1dB	dalla DC a 3.5 kHz@32ksps - dalla DC a 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato osciloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger ; display in tempo reale
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2 (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

## 8.2. Modalità di esecuzione dei rilievi: attività 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 n° 4 profili Masw eseguiti è stata adottata la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 24.0 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 2.00 m;
- offset di scoppio = 3.00 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 necessario 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 n. 6 profili con acquisizione di onde longitudinali (P), aventi le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

- lunghezza stendimento = 44.00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.00 m;
- End shot A = 0.00 metri;
- Central Shot E = 24.00 metri;
- End Shot B = 48.00 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 µsec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

## 9. 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 per l'indagine sismica a rifrazione e Masw.

### 9.1. 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 generici.

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 EasyMasw 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 S relative alle basi sismiche investigate:

UNITA' SISMOSTR.	Velocità (m/s) Spessore medio (m)	MASW 1	MASW 2	MASW 4	MASW 6
U.S. I	Vs →	160	161	118	176
	H →	2.5	1.1	1.7	2.4
U.S. II	Vs →	218	231	176	257
	H →	6.8	7.7	4.7	8.6
U.S. III	Vs →	337	300	303	319
	H →	15.0	6.3	13.0	19.6
U.S. IV	Vs →	355	399	355	371
	H →	SEMISP.	SEMISP.	SEMISP.	SEMISP.
	V <sub>s30</sub> - V <sub>s,eq</sub> (m/s)	280	305	265	265
<b>PROFILO</b>	<b>TERRENO TIPO</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

SISMOSTRATI	Litologia	SPESSORE MEDIO (m)
I	Terreno vegetale;	1.9
II	Sabbia limo-argillosa;	6.9
II	Argilla limosa;	13.5
IV	Argilla.	Semispazio

## ➤ Elaborazione indagine sismica a rifrazione

Dai sismogrammi sperimentali sono stati letti i tempi di arrivo dei "first-break" attraverso l'utilizzo del software SISMOPC 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 INTERSISM della Geo&Soft, 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 ed S relative alle basi sismiche investigate:

SISMOSTRATO	Velocità (m/s) Spessore medio (m)	SIS 1	SIS 2	SIS 4	SIS 5	SIS 6	SIS 9
I	Vp →	298	243	249	355	317	280
	H →	1.6	0.9	1.7	2.2	1.2	0.8
II	Vp →	500	412	449	592	550	498
	H →	6.0	4.6	9.4	8.9	5.6	7.5
III	Vp →	1212	1232	865	905	918	1256
	H →	INDEF.	INDEF.	INDEF.	INDEF.	INDEF.	INDEF.

MODULI DINAMICI PROFILO SISMICO - SIS 1			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	298	500	1212
Velocità Onde S (m/s):	127	151	330
Modulo di Poisson:	0,39	0,45	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	16,60	17,00	18,42
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,69	1,73	1,88
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,6</b>	<b>6,0</b>	<b>22,5</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	774	1169	6096
MODULO DI YOUNG DINAMICO Edin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	76	115	598
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	27	40	205
MODULO DI TAGLIO DINAMICO Gdin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	3	4	20
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	1162	3884	25377
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	114	381	2489
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	93	141	734
POROSITA' % (correlazione Rzhnevsky e Novik (1971) (%)	47,96	46,07	39,42
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	150	433	2760
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	185	532	3392
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	2108	2567	6080
Frequenza dello strato	20,48	6,29	3,67
Periodo dello strato	0,05	0,159	0,272
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	3,85	-0,68	23,23
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	37,79	-6,64	227,80
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,28	-0,23	7,74
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	12,60	-2,21	75,93

MODULI DINAMICI PROFILO SISMICO - SIS 2			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	243	412	1232
Velocità Onde S (m/s):	103	124	335
Modulo di Poisson:	0,39	0,45	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	16,49	16,82	18,46
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,68	1,72	1,88
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>0,9</b>	<b>4,6</b>	<b>24,5</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	506	781	6296
MODULO DI YOUNG DINAMICO Edin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	50	77	617
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	18	26	211
MODULO DI TAGLIO DINAMICO Gdin (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	2	3	21
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	770	2613	26286
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	76	256	2578
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	61	94	758
POROSITA' % (correlazione Rzhnevsky e Novik (1971) (%)	48,48	46,90	39,23
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (valido per le terre)	99	291	2858
MODULO DI COMPRESIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	122	358	3513
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	1698	2086	6185
Frequenza dello strato	28,61	6,74	3,42
Periodo dello strato	0,03	0,148	0,293
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	2,73	3,69	30,27
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	26,73	36,23	296,82
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	0,91	1,23	10,09
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	8,91	12,08	98,94



MODULI DINAMICI PROFILO SISMICO - SIS 4			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	249	449	865
Velocità Onde S (m/s):	106	135	235
Modulo di Poisson:	0,39	0,45	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	16,50	16,90	17,73
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,68	1,72	1,81
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1,8	9,4	18,9
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	536	929	2975
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	53	91	292
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	19	31	100
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	2	3	10
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(mod. di incompressibilità di volume)</small>	807	3117	12445
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	79	306	1220
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	64	112	358
POROSITA' % <small>(correlazione Rzhesky e Novik (1971) (%)</small>	48,42	46,55	42,66
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(valido per le terre)</small>	104	347	1353
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(Relazione di Navier)</small>	128	427	1663
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	1749	2281	4167
Frequenza dello strato	15,14	3,59	3,12
Periodo dello strato	0,07	0,279	0,321
B (Larghezza fondazione in m.)	1,0	1,0	1,0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	2,85	4,30	13,50
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	27,94	42,21	132,37
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	0,95	1,43	4,50
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	9,31	14,07	44,12

MODULI DINAMICI PROFILO SISMICO - SIS 5			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	355	592	905
Velocità Onde S (m/s):	151	179	246
Modulo di Poisson:	0,39	0,45	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	16,71	17,18	17,81
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,70	1,75	1,82
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	2,1	8,9	19,0
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	1102	1661	3275
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	108	163	321
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	39	56	110
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	4	6	11
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(mod. di incompressibilità di volume)</small>	1663	5502	13682
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	163	540	1342
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	133	200	394
POROSITA' % <small>(correlazione Rzhesky e Novik (1971) (%)</small>	47,43	45,21	42,29
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(valido per le terre)</small>	215	614	1487
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(Relazione di Navier)</small>	264	755	1828
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	2523	3076	4381
Frequenza dello strato	17,98	5,03	3,24
Periodo dello strato	0,06	0,199	0,309
B (Larghezza fondazione in m.)	1,0	1,0	1,0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	5,32	7,50	14,95
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	52,20	73,58	146,59
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,77	2,50	4,98
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	17,40	24,53	48,86

MODULI DINAMICI PROFILO SISMICO - SIS 6			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	317	550	918
Velocità Onde S (m/s):	134	165	250
Modulo di Poisson:	0,39	0,45	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	16,63	17,10	17,84
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,70	1,74	1,82
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1,3	5,7	23,1
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	865	1405	3387
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	85	138	332
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	30	47	114
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	3	5	11
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(mod. di incompressibilità di volume)</small>	1325	4736	14093
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	130	464	1382
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	104	169	408
POROSITA' % <small>(correlazione Rzhesky e Novik (1971) (%)</small>	47,79	45,61	42,17
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(valido per le terre)</small>	170	527	1533
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(Relazione di Navier)</small>	209	648	1884
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	2229	2821	4459
Frequenza dello strato	26,80	7,30	2,71
Periodo dello strato	0,04	0,137	0,370
B (Larghezza fondazione in m.)	1,0	1,0	1,0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	4,25	6,35	15,50
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	41,64	62,26	151,99
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,42	2,12	5,17
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	13,88	20,75	50,66

MODULI DINAMICI PROFILO SISMICO - SIS 9			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	280	498	1256
Velocità Onde S (m/s):	119	150	342
Modulo di Poisson:	0,39	0,45	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	16,56	17,00	18,51
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,69	1,73	1,89
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	0,8	7,5	21,7
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	678	1154	6578
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	67	113	645
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	24	39	221
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	2	4	22
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(mod. di incompressibilità di volume)</small>	1026	3855	27382
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	101	378	2685
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	82	139	792
POROSITA' % <small>(correlazione Rzhesky e Novik (1971) (%)</small>	48,13	46,09	39,01
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(valido per le terre)</small>	132	430	2978
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) <small>(Relazione di Navier)</small>	163	528	3660
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m <sup>3</sup> )	1971	2549	6331
Frequenza dello strato	37,19	5,00	3,94
Periodo dello strato	0,03	0,200	0,254
B (Larghezza fondazione in m.)	1,0	1,0	1,0
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>2</sup> )	3,44	5,25	31,76
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>2</sup> )	33,75	51,53	311,42
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,15	1,75	10,59
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>2</sup> )	11,25	17,18	103,81

PROFILO SISMICO 1													
Prof.		Vp (m/s)	Vs (m/s)	v	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cmq)	E(stat.) (Kg/cmq)	G (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	Edom. (Kg/cmq)	Cu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	φ°
0,00	1,6	298	127	0,39	1,692	774	93	27	1162	185	0,42	0,17	22
1,6	7,6	500	151	0,45	1,733	1169	141	40	3884	532	0,52	0,21	24
7,6	30,0	1212	330	0,46	1,879	6096	734	205	25377	3392	1,21	0,48	30

PROFILO SISMICO SIS 2													
Prof.		Vp (m/s)	Vs (m/s)	v	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cmq)	E(stat.) (Kg/cmq)	G (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	Edom. (Kg/cmq)	Cu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	φ°
0,00	0,9	243	103	0,39	1,681	506	61	18	770	122	0,33	0,13	22
0,9	5,5	412	124	0,45	1,716	781	94	26	2613	358	0,41	0,17	25
5,5	30,0	1232	335	0,46	1,883	6296	758	211	26286	3513	1,23	0,49	30

PROFILO SISMICO SIS 4													
Prof.		Vp (m/s)	Vs (m/s)	v	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cmq)	E(stat.) (Kg/cmq)	G (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	Edom. (Kg/cmq)	Cu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	φ°
0,00	1,8	249	106	0,39	1,682	536	64	19	807	128	0,34	0,14	22
1,8	11,2	449	135	0,45	1,723	929	112	31	3117	427	0,46	0,18	26
11,2	30,0	865	235	0,46	1,808	2975	358	100	12445	1663	0,84	0,34	28

PROFILO SISMICO SIS 5													
Prof.		Vp (m/s)	Vs (m/s)	v	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cmq)	E(stat.) (Kg/cmq)	G (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	Edom. (Kg/cmq)	Cu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	φ°
0,00	2,1	355	151	0,39	1,704	1102	133	39	1663	264	0,52	0,21	24
2,1	11,0	592	179	0,45	1,752	1661	200	56	5502	755	0,63	0,25	27
11,0	30,0	905	246	0,46	1,816	3275	394	110	13682	1828	0,89	0,35	29

PROFILO SISMICO SIS 6													
Prof.		Vp (m/s)	Vs (m/s)	v	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cmq)	E(stat.) (Kg/cmq)	G (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	Edom. (Kg/cmq)	Cu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	φ°
0,00	1,3	317	134	0,39	1,696	865	104	30	1325	209	0,45	0,18	24
1,3	6,9	550	165	0,45	1,744	1405	169	47	4736	648	0,57	0,23	27
6,9	30,0	918	250	0,46	1,819	3387	408	114	14093	1884	0,90	0,36	29

PROFILO SISMICO SIS 9													
Prof.		Vp (m/s)	Vs (m/s)	v	γ (g/cmc)	E(din.) (Kg/cmq)	E(stat.) (Kg/cmq)	G (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	Edom. (Kg/cmq)	Cu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	φ°
0,00	0,8	280	119	0,39	1,689	678	82	24	1026	163	0,39	0,16	21
0,8	8,3	498	150	0,45	1,733	1154	139	39	3855	528	0,51	0,21	24
8,3	30,0	1256	342	0,46	1,888	6578	792	221	27382	3660	1,26	0,50	36

## 10. Classificazione sismica di sito.

### Relazione di calcolo per la categoria di sottosuolo (Campo FTV)

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. Il 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:

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

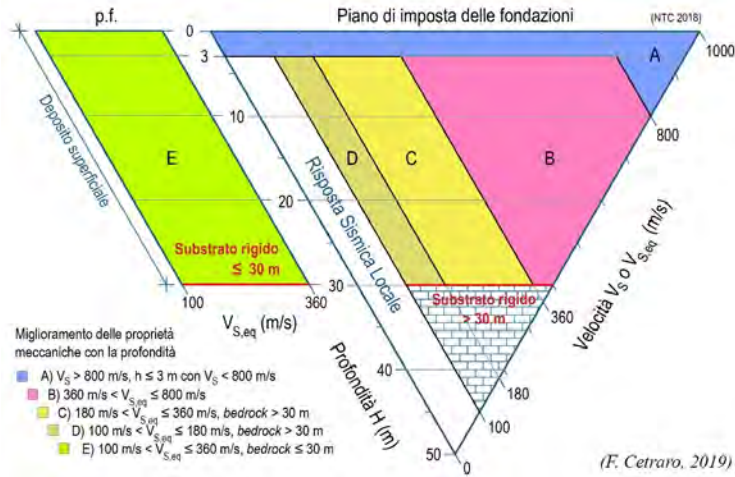
con  $h_i$  lo spessore in metri dell' $i$ esimo strato di terreno;

$V_{s,i}$  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.

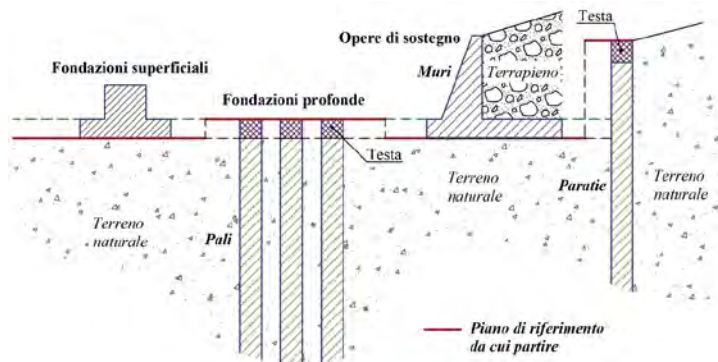
Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.



**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 dei calcoli

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

Si è voluto caratterizzare il sito utilizzando i valori medi degli spessori e delle velocità rilevate, al fine di ottenere un profilo medio applicabile per l'intera zona

### A) CAMPI FOTOVOLTAICI

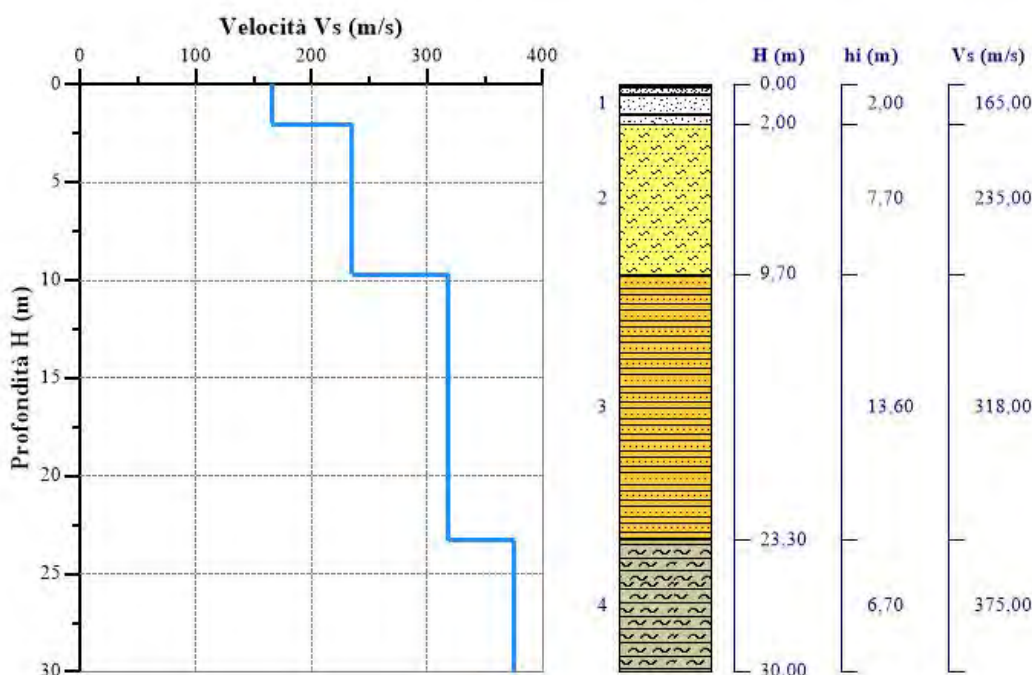
$N_r$  = numero progressivo per ciascun sismostrato,  $H$  = profondità,  $h_i$  = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio,  $H_{calc}$  e  $h_{i,calc}$  sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

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

Nr.	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	h <sub>i,calc</sub> (m)	h <sub>i,calc</sub> /V <sub>s</sub> (s)
1	2,00	2,00	165,00	2,00	2,00	0,012121
2	9,70	7,70	235,00	9,70	7,70	0,032766
3	23,30	13,60	318,00	23,30	13,60	0,042767
4	30,00	6,70	375,00	30,00	6,70	0,017867

$V_{s,30} = 284,30$  m/s      Categoria di sottosuolo: **C**

Descrizione: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



**B) SOTTOSTAZIONE ELETTRICA PRODUTTORE (SSE)**

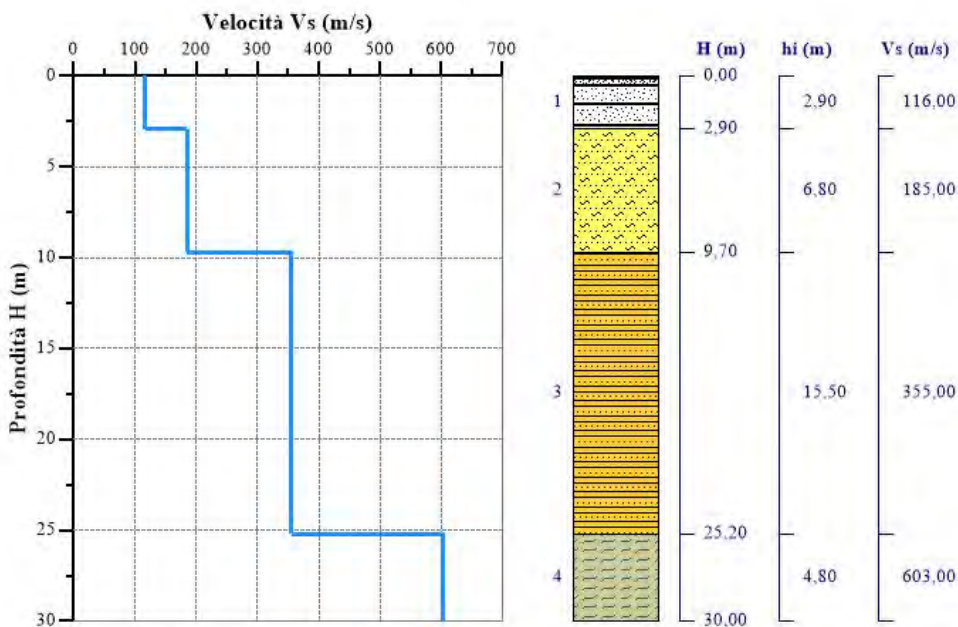
Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, VS = velocità onde di taglio, Hcalc e hicalc sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

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)	hicalc (m)	hical/Vs (s)
1	2,90	2,90	116,00	2,90	2,90	0,025000
2	9,70	6,80	185,00	9,70	6,80	0,036757
3	25,20	15,50	355,00	25,20	15,50	0,043662
4	30,00	4,80	603,00	30,00	4,80	0,007960

Vs,30 = **264,60** m/s      Categoria di sottosuolo: **C**

Descrizione: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



## 11. CONCLUSIONI

La presente relazione riferisce sulla situazione geologica-geotecnica di un sito ubicato in agro di Foggia sul quale è prevista la realizzazione di un "Progetto definitivo per la realizzazione dell'impianto agro-fotovoltaico "Tavoliere 2" integrato con potenza di picco pari a 37,362 e potenza ai fini della connessione pari a 30 mw sito nel comune di Foggia, alle località "Posta da Piede - Vigna Croce" nonché delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto nel comune di Manfredonia (FG)., da parte della Società OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L., con sede in Via Rotonda Giuseppe Antonio Torri, n. 9 – 40127 Bologna (BO) - PEC: opdenergy.tavoliere2@legalmail.it - C.F. e P.IVA 12206080019, per la fase di progettazione definitiva.

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 Olocenico – Recente dei depositi alluvionali terrazzati del 3° ordine.

In corrispondenza del sito è stata rilevata la presenza di depositi terrigeni agrari, sottoforma di mera copertura superficiale, per spessori che non superano 1,5-2,0 m., per passare poi alla formazione prima sabbioso-limosa e poi limoso-argillosa.

L'assetto generale di stratificazione è pressoché orizzontale ed in zona non sono stati notati contatti tettonici affioranti o evidenze di presenza superficiale.

Un rinvenimento di falda è stato riscontrato a non meno di 10-15 m. dal p.c., in corrispondenza di litotipi prevalentemente sabbiosi e ghiaioso sabbiosi.

L'intera area si presenta sostanzialmente pianeggiante e stabile, senza particolari manifestazioni evidenti di dissesto in atto o prevedibilmente in preparazione e,

dalle indagini esperite, ai sensi delle NTC 2018, il sito può essere classificato come Profilo di Tipo "C".

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.

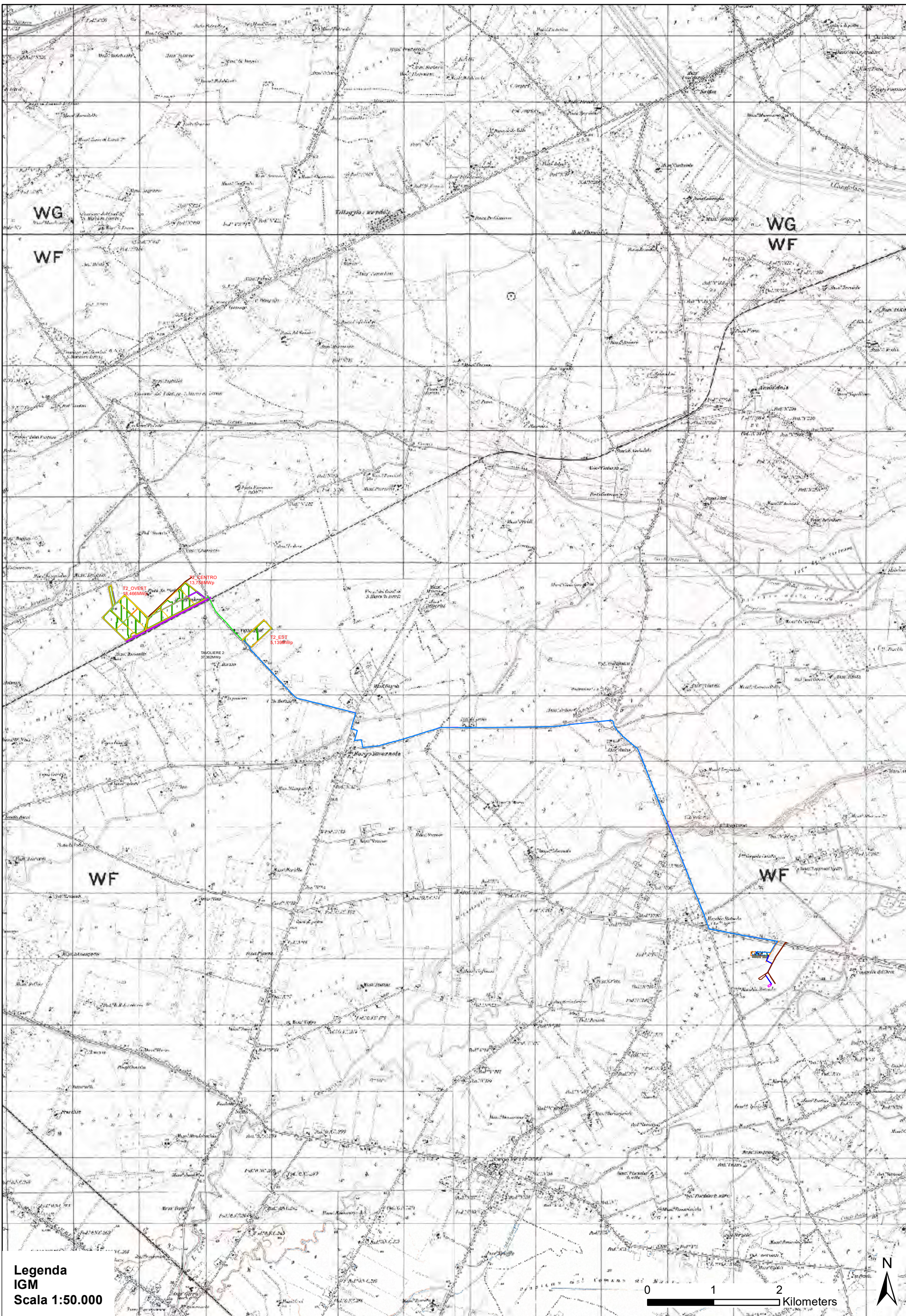
Foggia, Novembre 2021

Il Geologo Incaricato

Dott. Di Lella Nazario



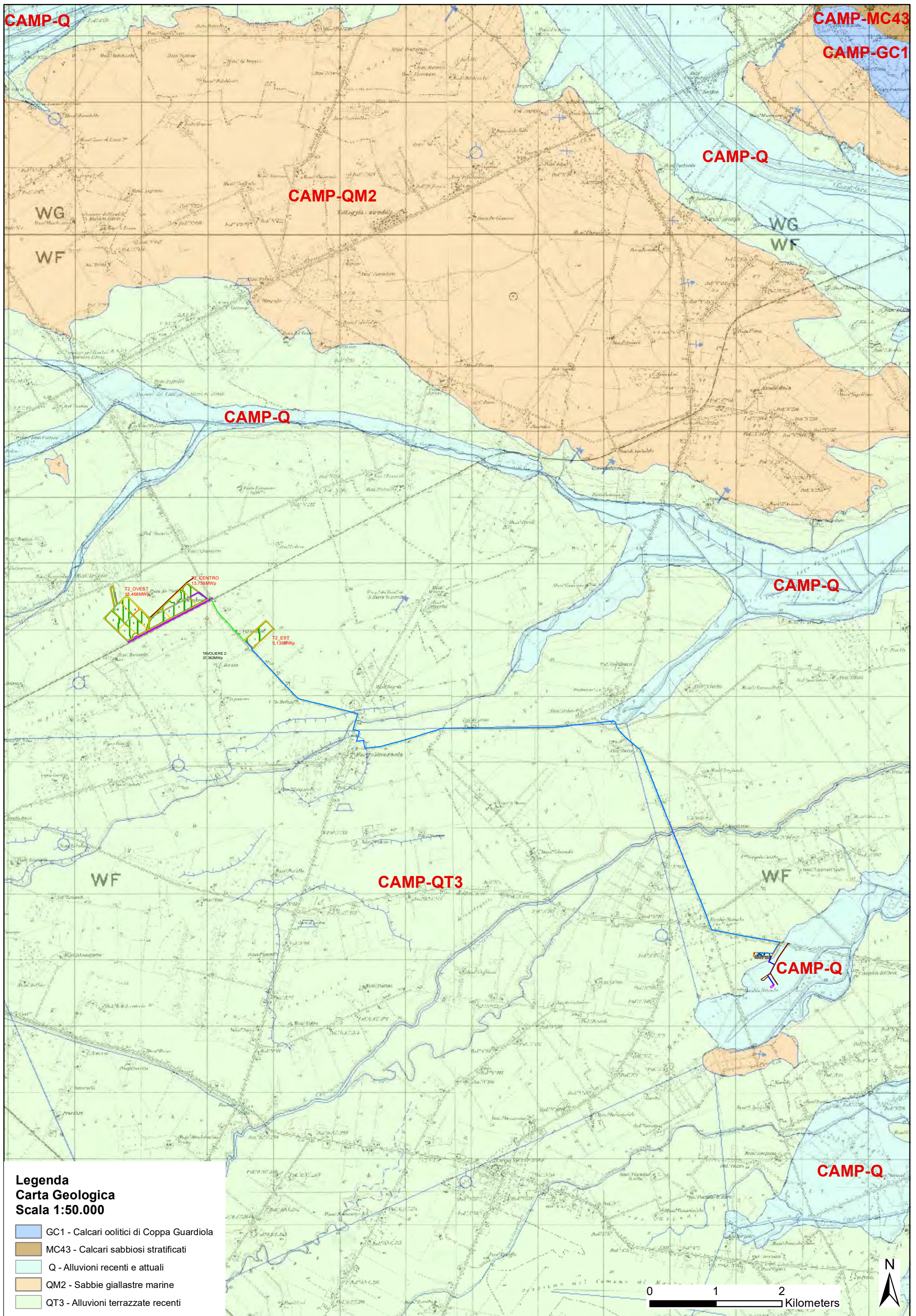


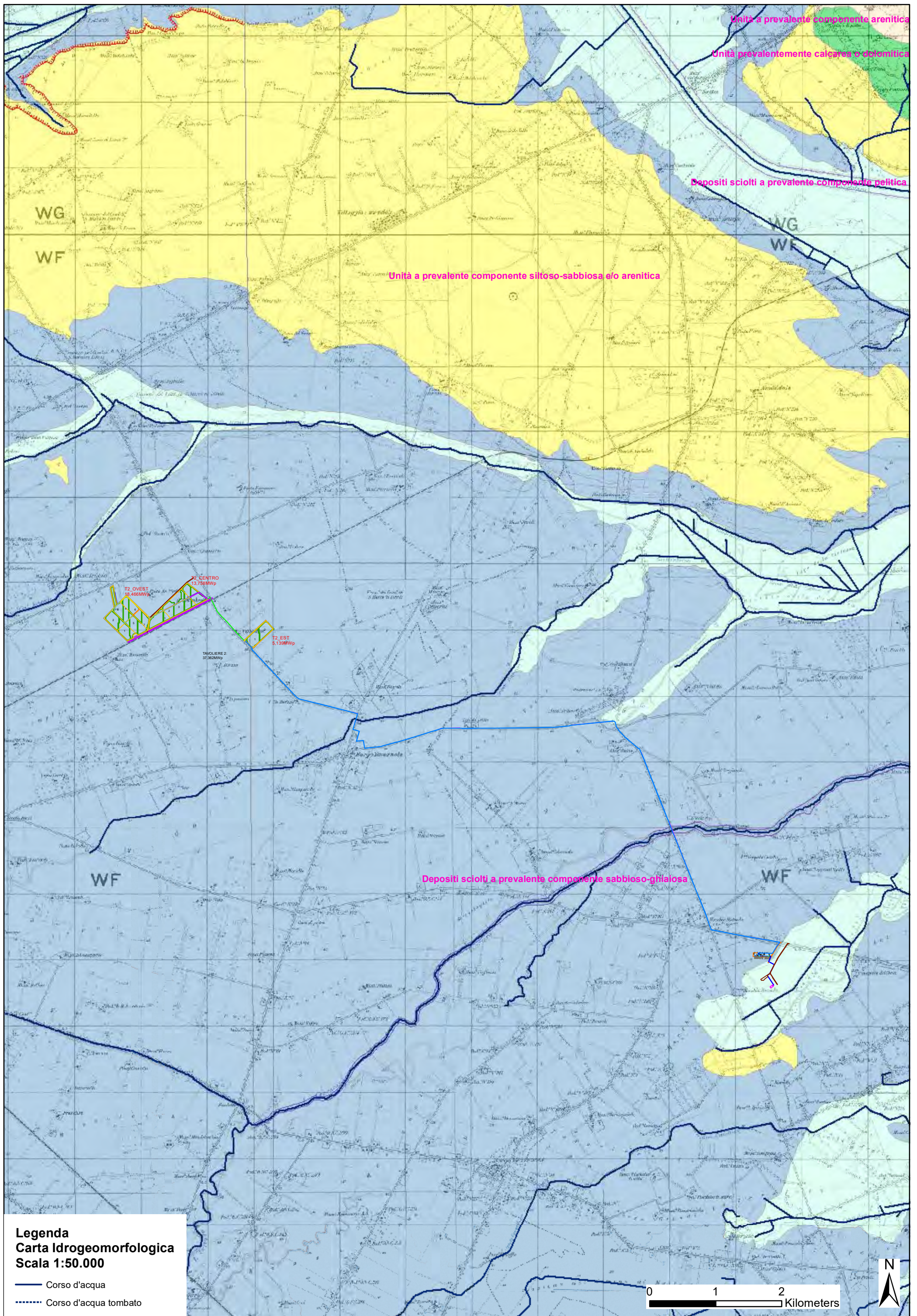


Legenda  
IGM  
Scala 1:50.000

0 1 2 Kilometers





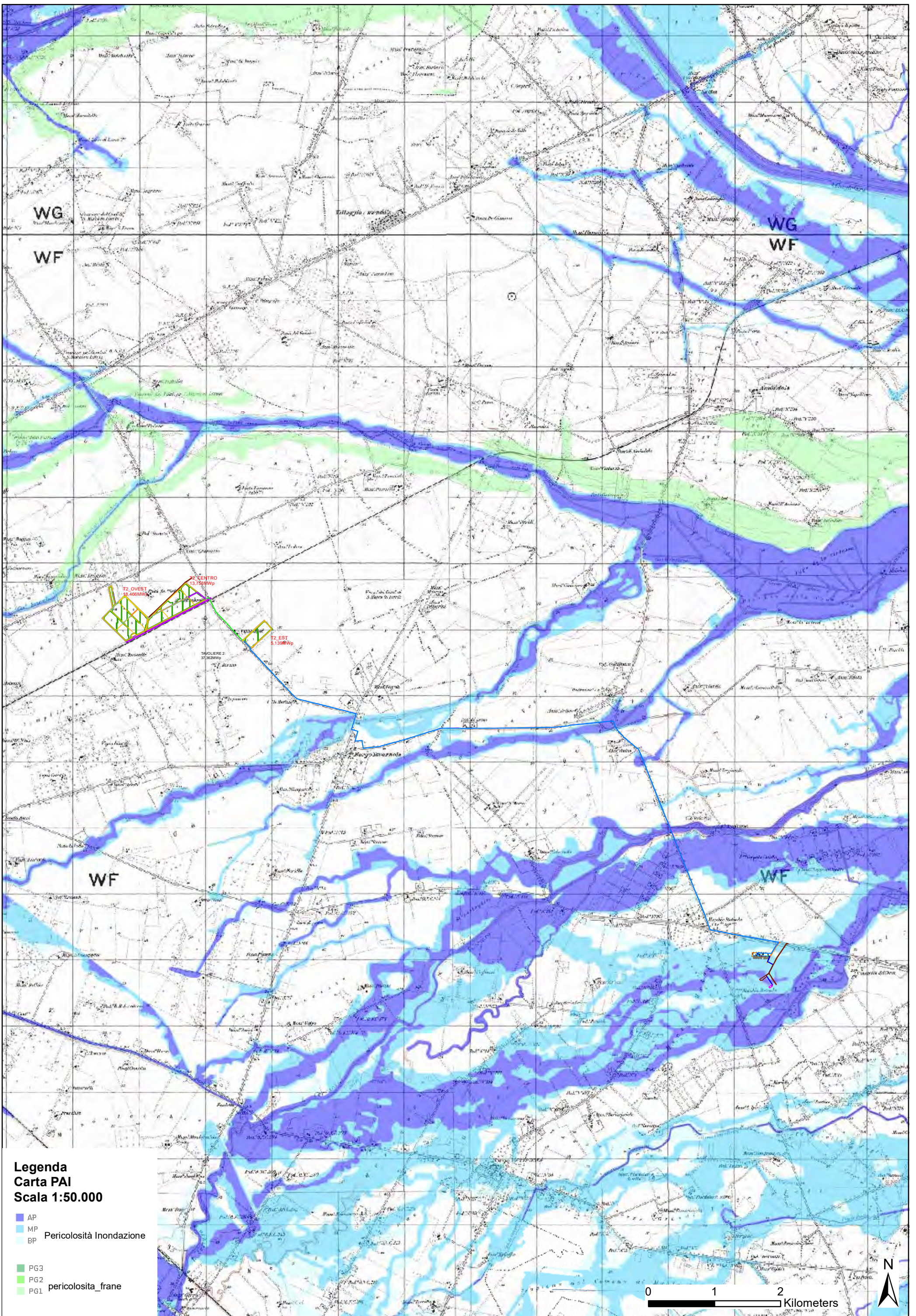


**Legenda**  
**Carta Idrogeomorfologica**  
**Scala 1:50.000**

- Corso d'acqua
- ..... Corso d'acqua tombato

0 1 2 Kilometers



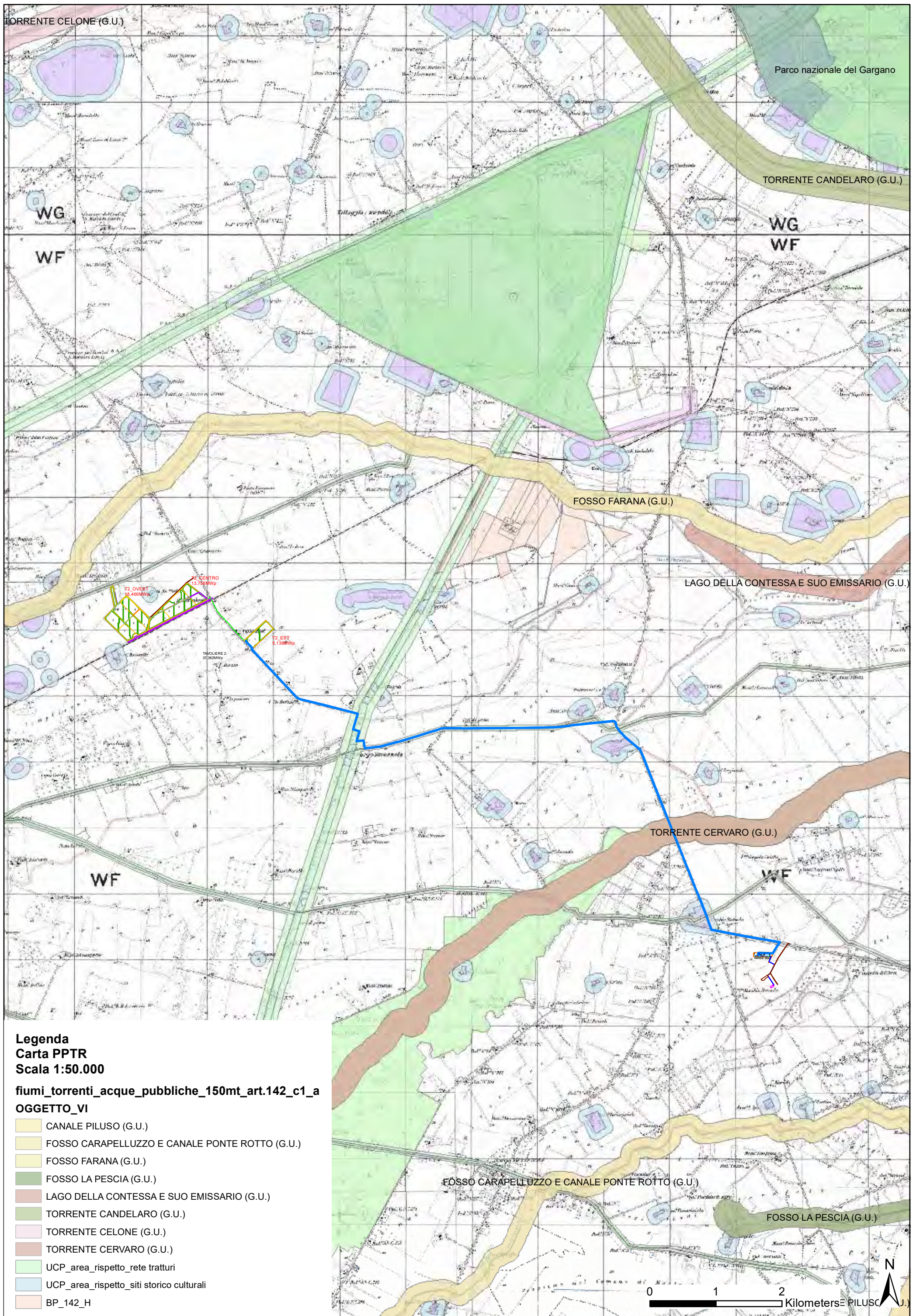


**Legenda  
Carta PAI  
Scala 1:50.000**

- AP
- MP
- BP
- Pericolosità Inondazione
  
- PG3
- PG2
- PG1
- pericolosità\_frane

0 1 2 Kilometers

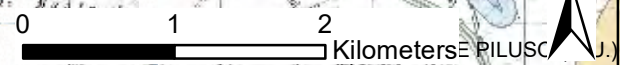


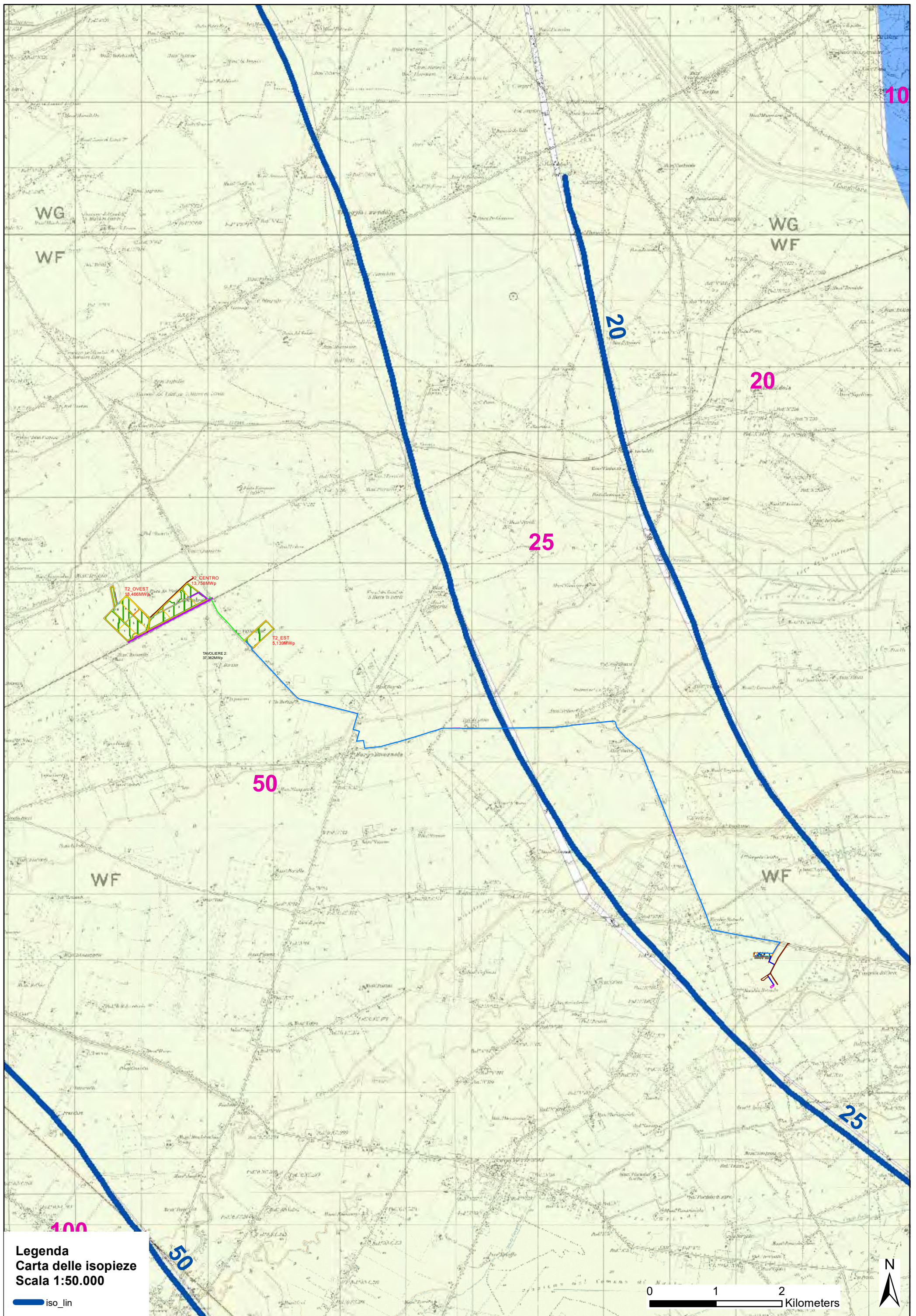


**Legenda**  
**Carta PPTR**  
**Scala 1:50.000**

**fiumi\_torrenti\_acque\_publiche\_150mt\_art.142\_c1\_a**  
**OGGETTO\_VI**

- CANALE PILUSO (G.U.)
- FOSSO CARAPPELLUZZO E CANALE PONTE ROTTO (G.U.)
- FOSSO FARANA (G.U.)
- FOSSO LA PESCIA (G.U.)
- LAGO DELLA CONTESSA E SUO EMISSARIO (G.U.)
- TORRENTE CANDELARO (G.U.)
- TORRENTE CELONE (G.U.)
- TORRENTE CERVARO (G.U.)
- UCP\_area\_rispetto\_rete tratturi
- UCP\_area\_rispetto\_siti storico culturali
- BP\_142\_H





**Legenda**  
**Carta delle isopieze**  
**Scala 1:50.000**

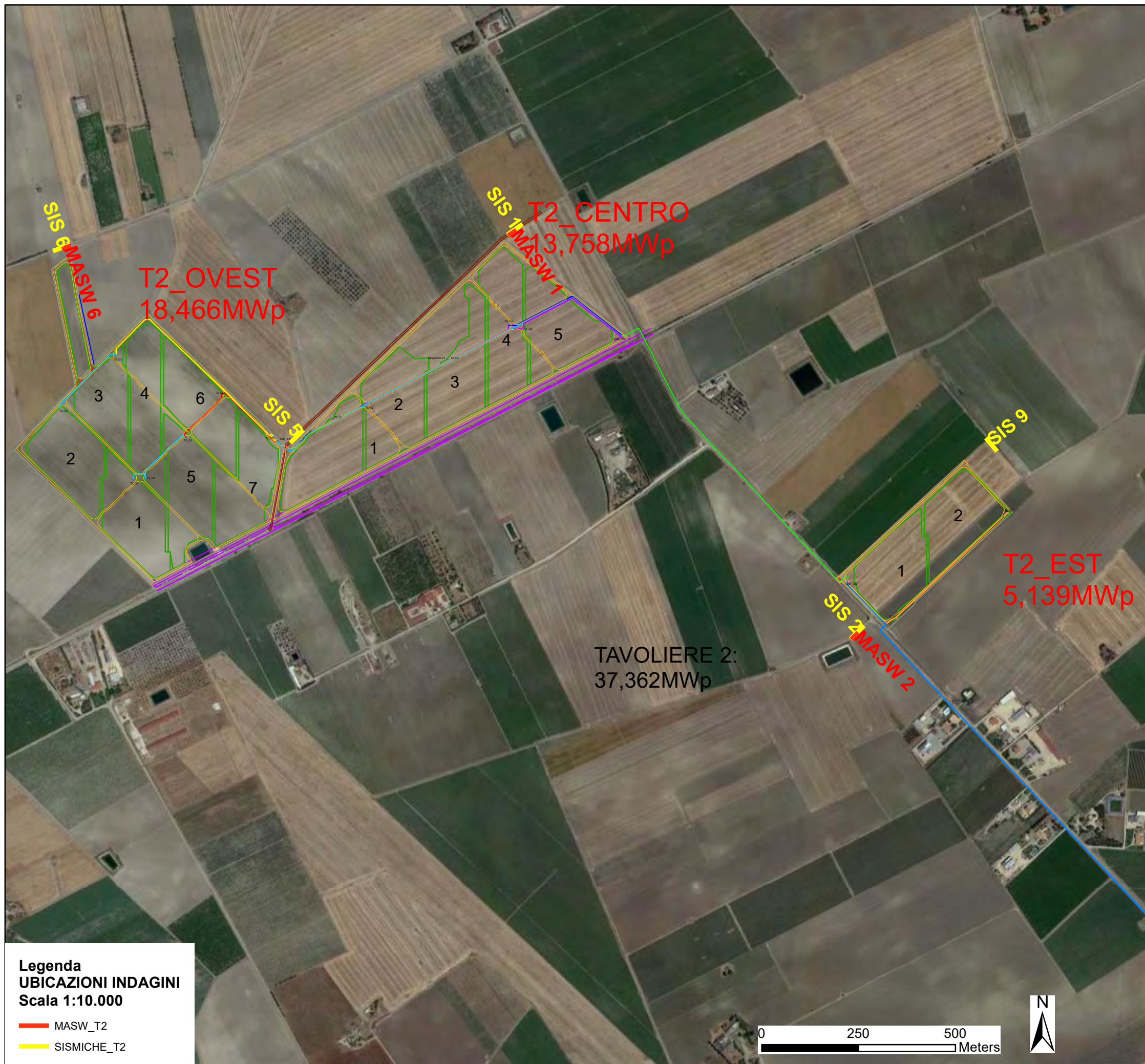
iso\_lin

0 1 2 Kilometers

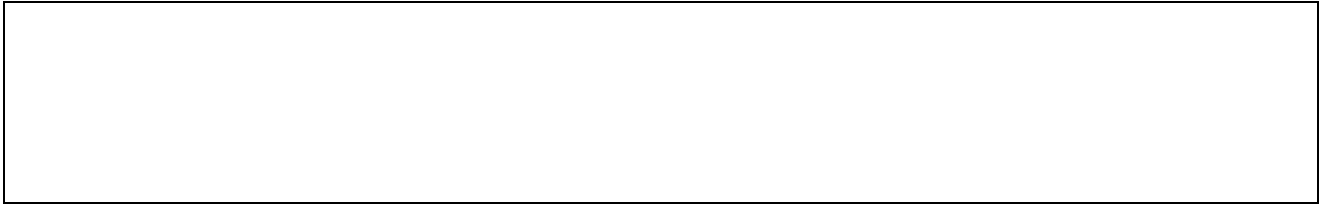


## **ALLEGATI**

### **- RAPPORTI INDAGINE GEOFISICA -**








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

**SIS 1**

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione</b>	

### 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

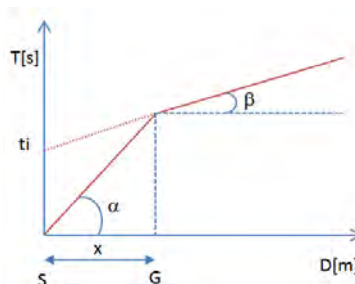
$$T = x_i / V_1$$

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

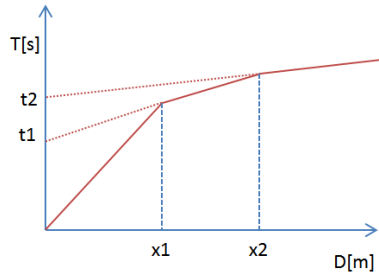
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

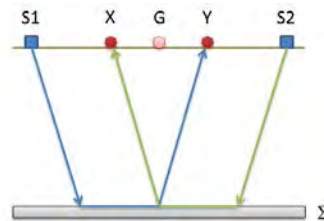


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

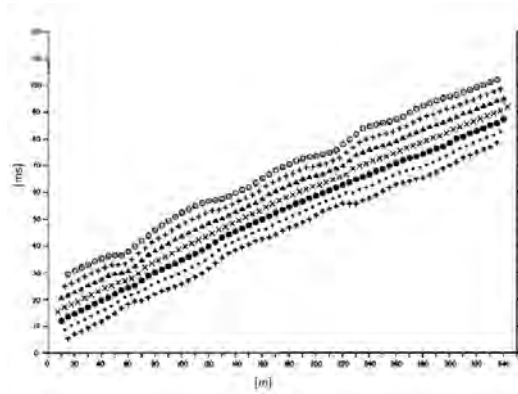
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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



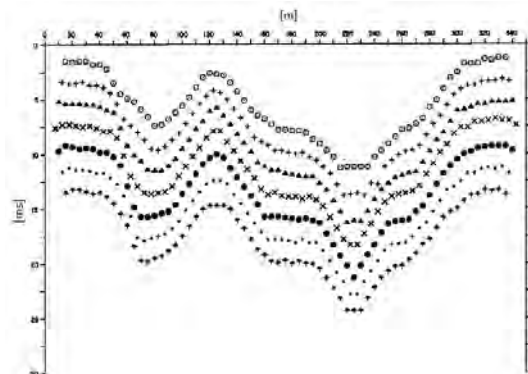
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è 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 1  
 Committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
 Zona BORGO TAVERNOLA  
 Operatore GEOL NAZARIO DI LELLA  
 Responsabile GEOL. NAZARIO DI LELLA  
 Data 19/04/2021  
 Via LOC. POSTA DA PIEDE - VIGNA CROCE  
 Latitudine 15,655124[°]  
 Longitudine 41,500691[°]  
 Altitudine 39[m]

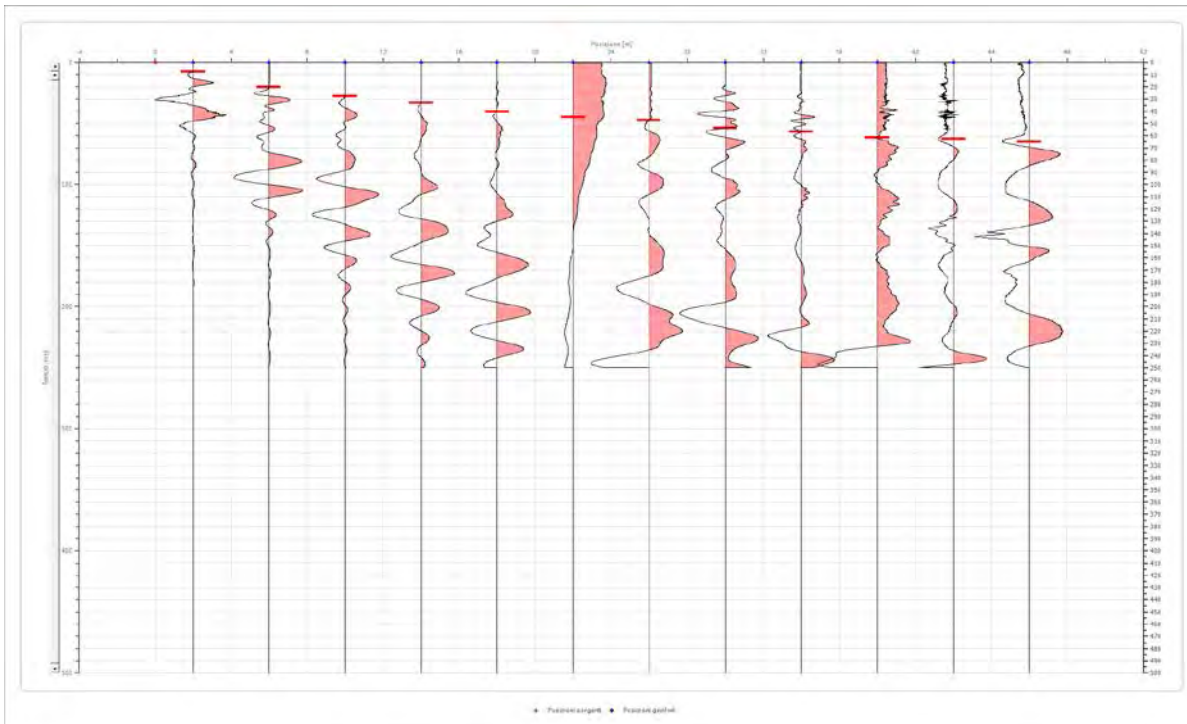
### Geometria geofoni

	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

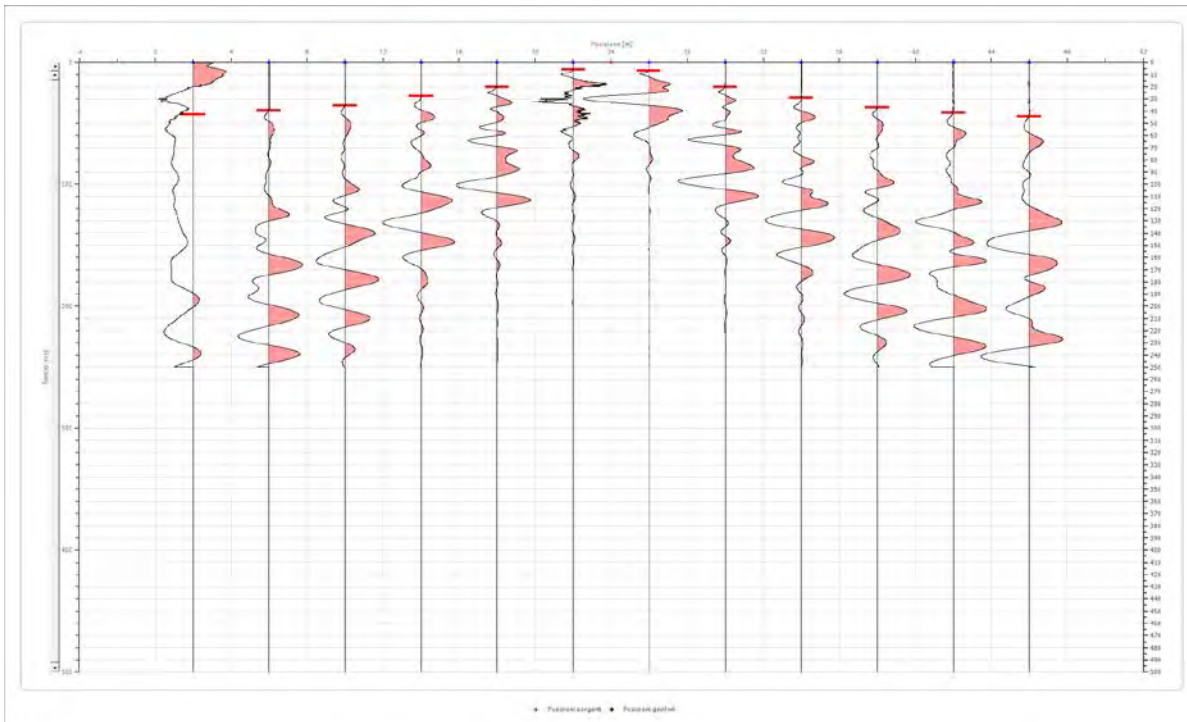
Posizione sorgente X            0 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	7.3910
6.0	20.0000
10.0	27.7500
14.0	33.0000
18.0	40.6250
22.0	44.8388
26.0	47.3025
30.0	53.7080
34.0	56.6644
38.0	61.5918
42.0	62.5772
46.0	65.0409

Battuta 2

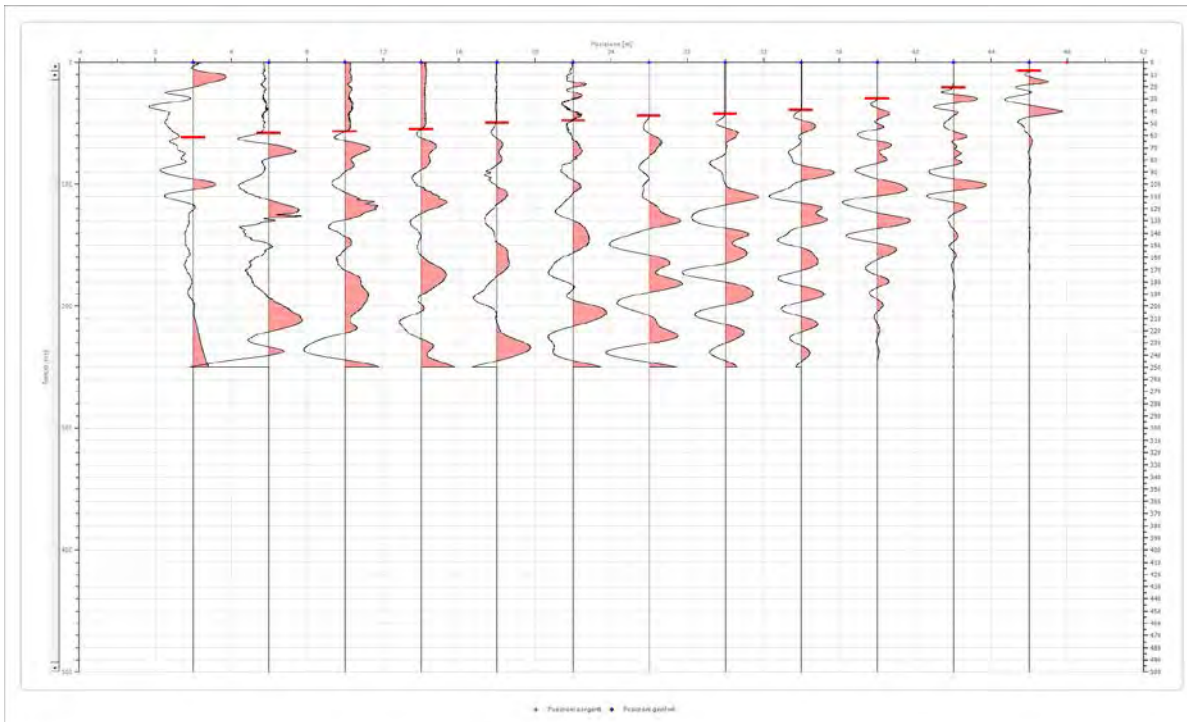
Posizione sorgente X            24 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	42.8679
6.0	39.2500
10.0	35.3750
14.0	27.7500
18.0	20.0000
22.0	5.9128
26.0	6.8983
30.0	20.0000
34.0	29.1250
38.0	36.7500
42.0	41.2500
46.0	44.2500

Battuta 3

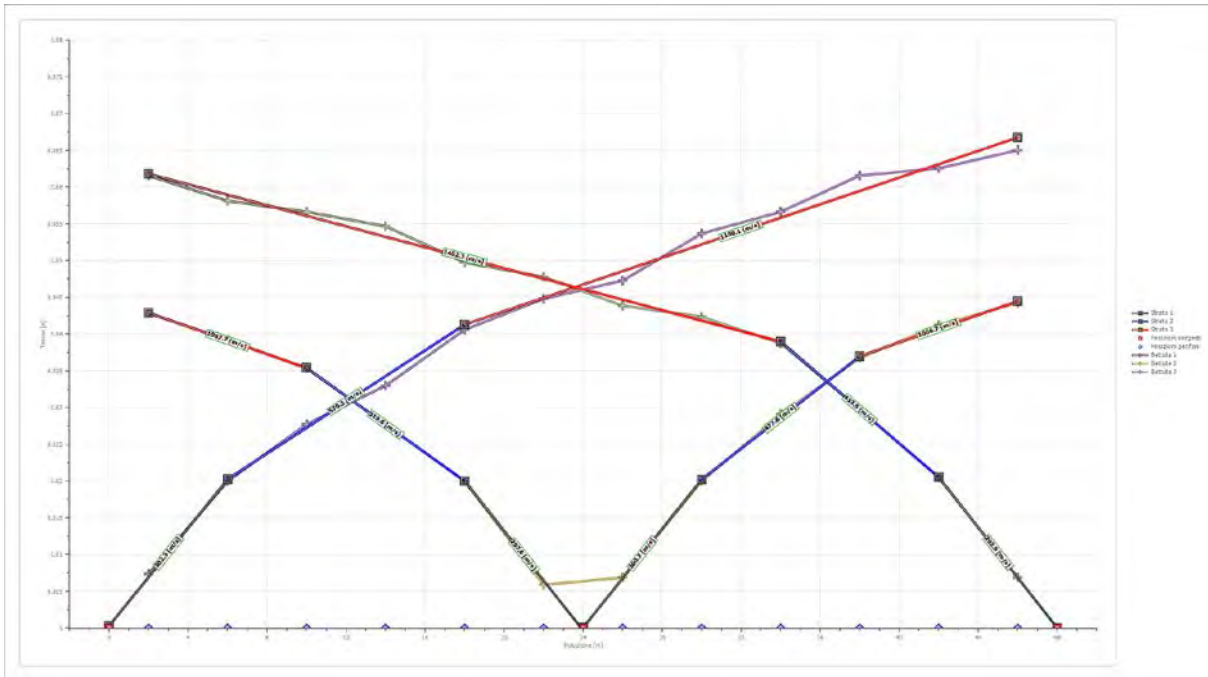
Posizione sorgente X            48 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



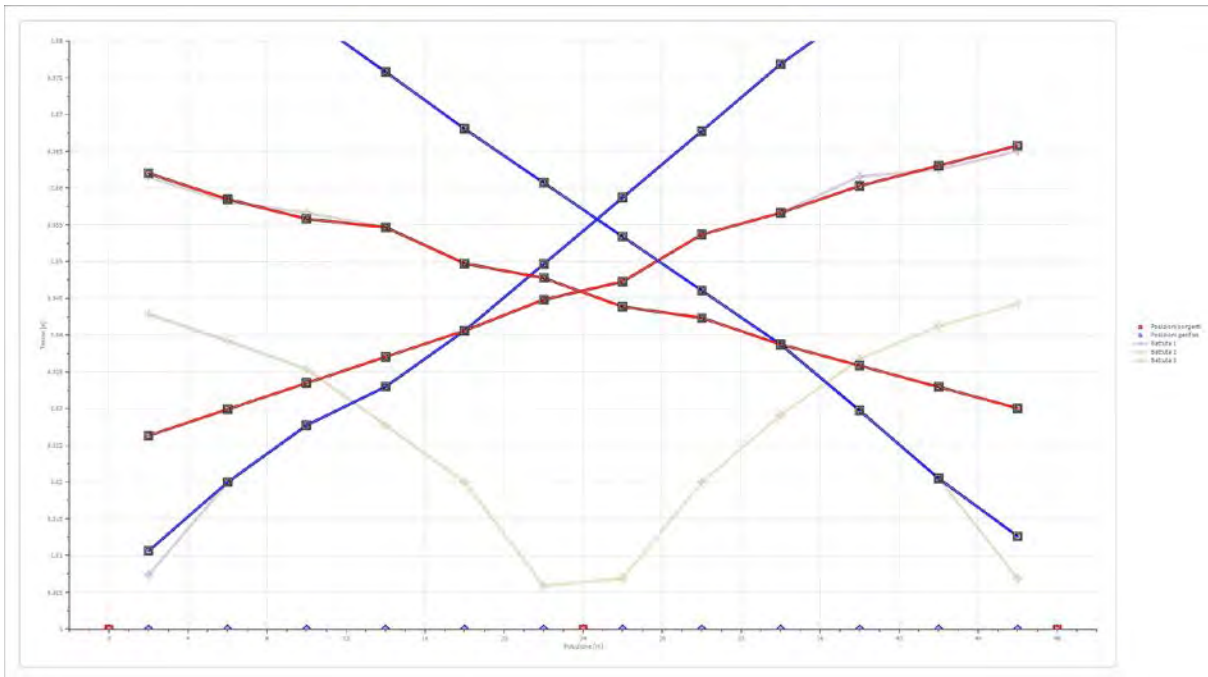
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	61.5918
6.0	58.1426
10.0	56.6644
14.0	54.6935
18.0	49.7661
22.0	47.7952
26.0	43.8750
30.0	42.3750
34.0	38.7500
38.0	29.7500
42.0	20.5000
46.0	6.8983



**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3	
G= 2.0 [m]	1.0	5.3	--	
G= 6.0 [m]	1.4	5.1	--	

Geol. Nazario DI LELLA  
 STUDIO DI GEOLOGIA - via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gmail.com, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

G= 10.0 [m]	1.4	5.3	--
G= 14.0 [m]	0.9	6.3	--
G= 18.0 [m]	0.9	6.0	--
G= 22.0 [m]	1.2	6.3	--
G= 26.0 [m]	1.5	5.7	--
G= 30.0 [m]	1.9	6.8	--
G= 34.0 [m]	2.2	6.4	--
G= 38.0 [m]	1.9	6.8	--
G= 42.0 [m]	1.7	6.9	--
G= 46.0 [m]	1.8	6.8	--
Velocità [m/sec]	298.4	500.5	1212.3
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

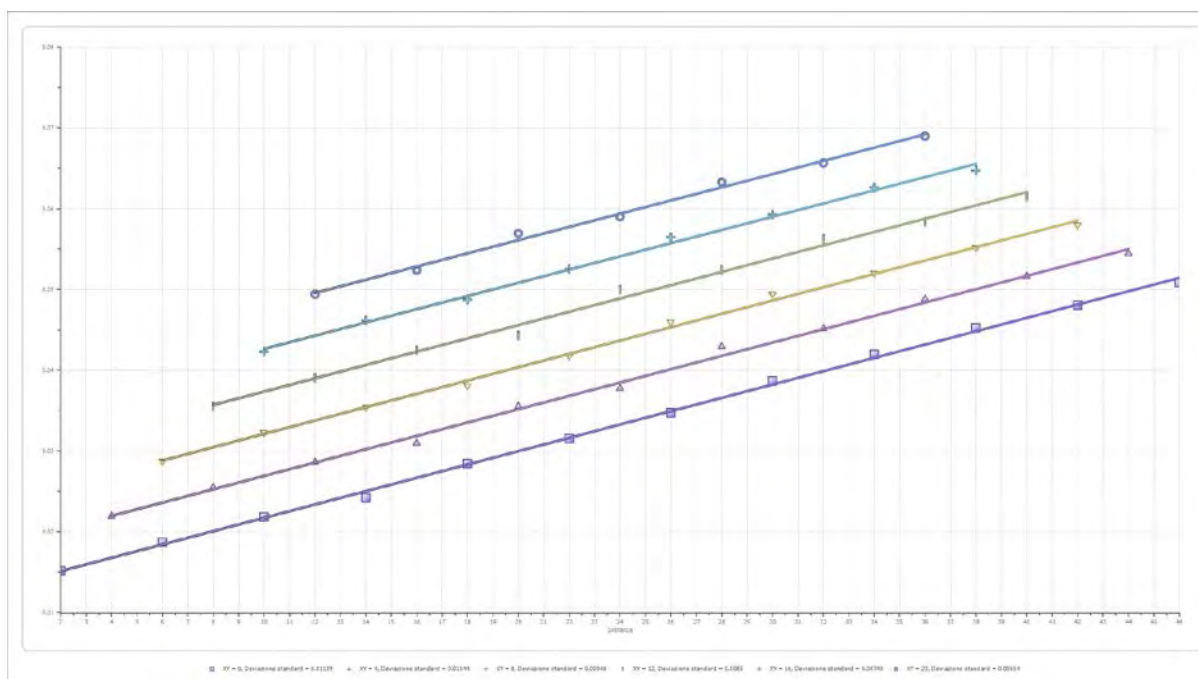
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.39	0.45	0.46
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	298.39	500.49	1212.29
Vs [m/s]	126.71	150.90	329.94
G0 [MPa]	27.30	40.99	206.84
Ed [Mpa]	151.37	450.88	2792.34
M0 [MPa]	124.07	409.89	2585.50
Ey [Mpa]	75.88	118.87	603.97

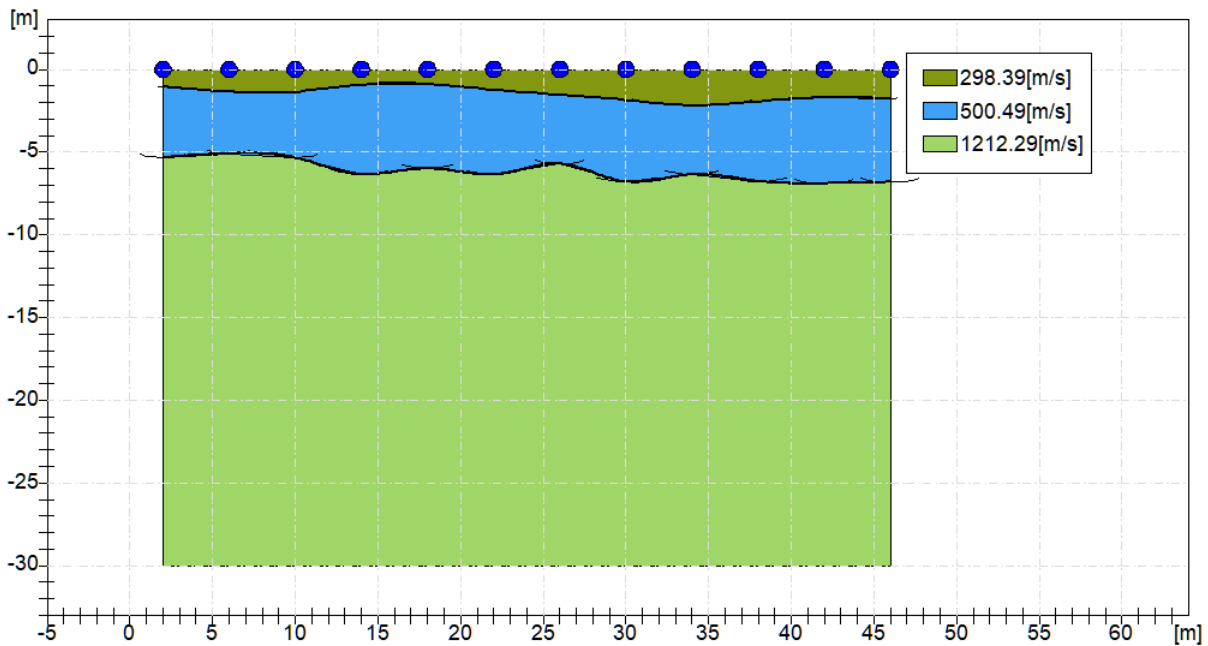
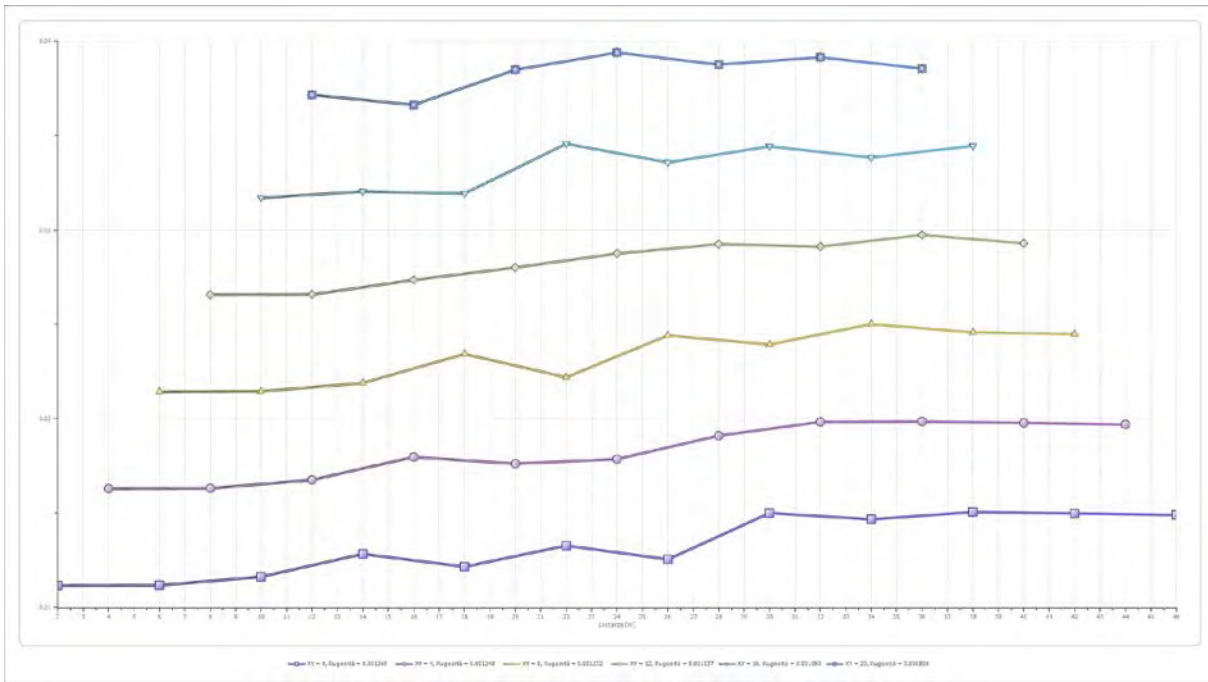
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

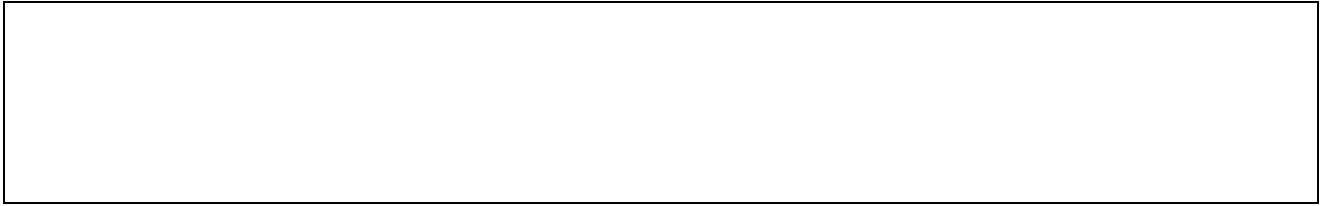
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;










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

**SIS2**

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione</b>	

### 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

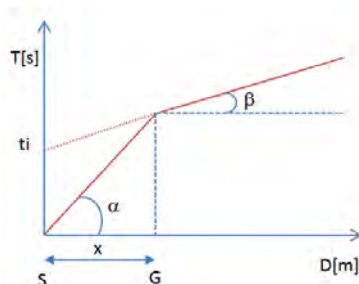
$$T = x_i / V_1$$

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

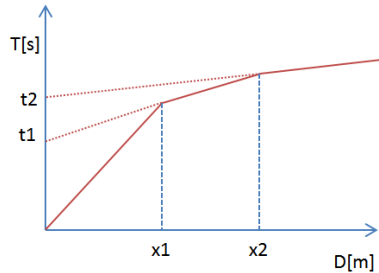
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

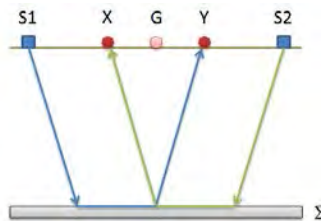


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

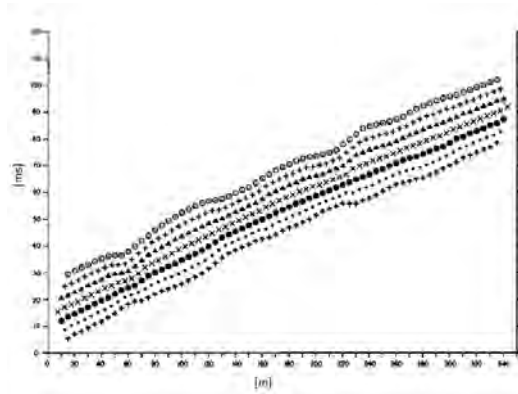
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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



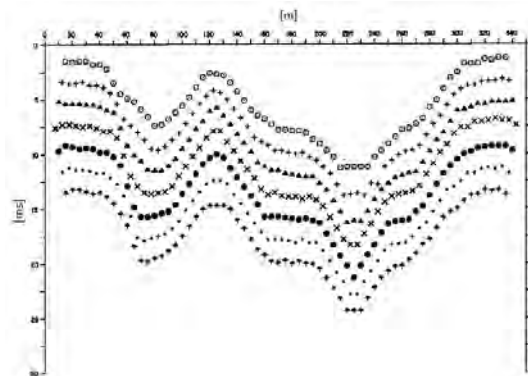
dove  $T_{S1Y}$  e  $T_{S2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S1S2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è il tempo 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:

$$T_G = \frac{T_{S1Y} + T_{S2X} - \left( T_{S1S2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

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 SIS2  
Committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Zona BORGO TAVERNOLA  
Operatore GEOL. NAZARIO DI LELLA  
Responsabile GEOL. NAZARIO DI LELLA  
Data 19/04/2021  
Via LOC. POSTA DA PIEDE - VIGNA CROCE  
Latitudine 15,665504 [°]  
Longitudine 41,491201[°]  
Altitudine 37[m]

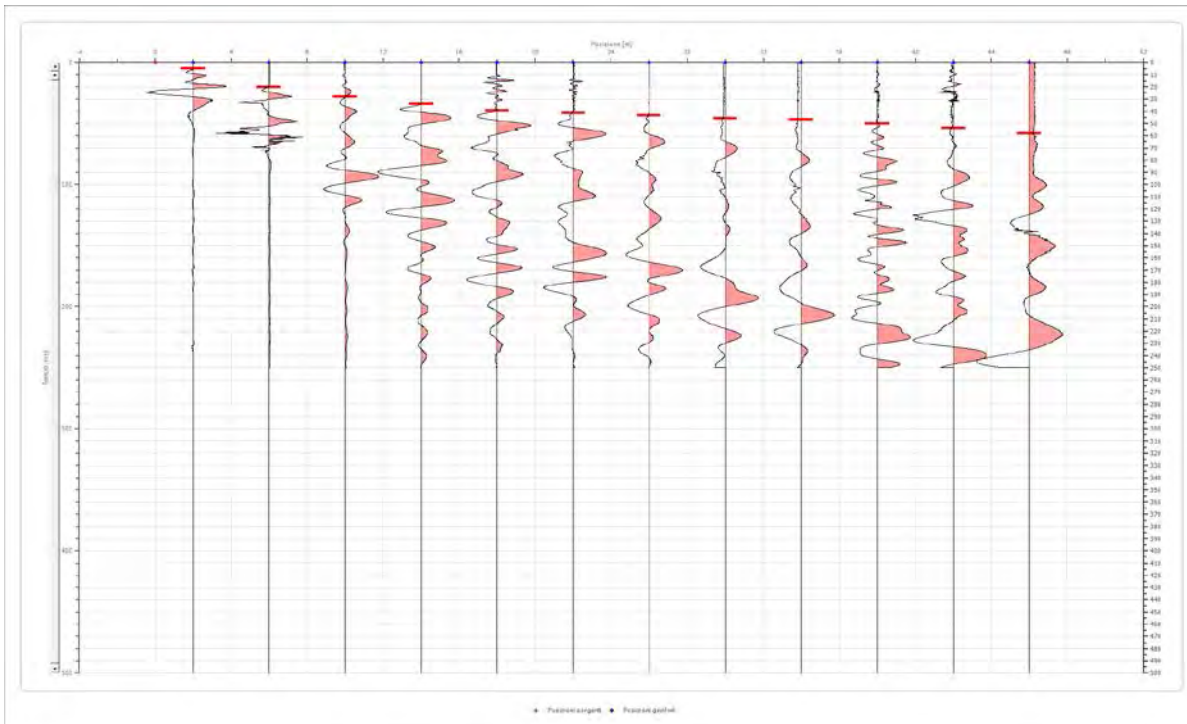
### Geometria geofoni

	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

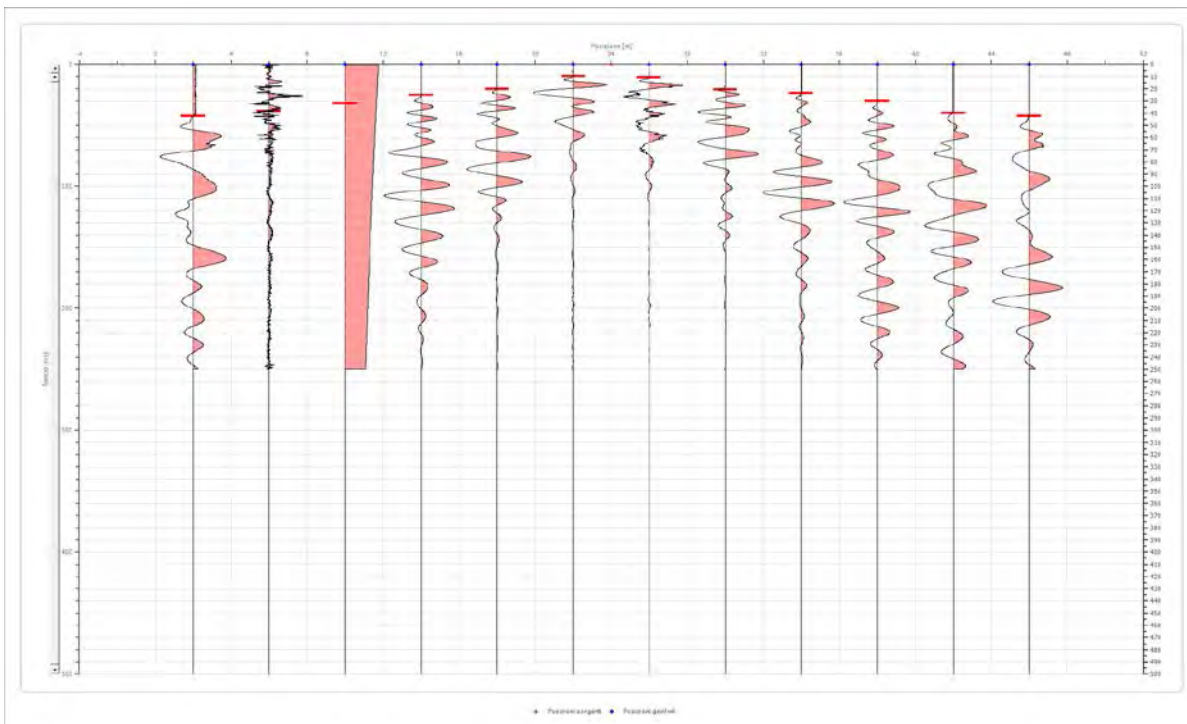
Posizione sorgente X            0 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	4.9273
6.0	20.0000
10.0	28.0858
14.0	34.1250
18.0	39.5000
22.0	41.6250
26.0	43.2500
30.0	45.8243
34.0	46.8097
38.0	50.1250
42.0	53.7080
46.0	58.1426

Battuta 2

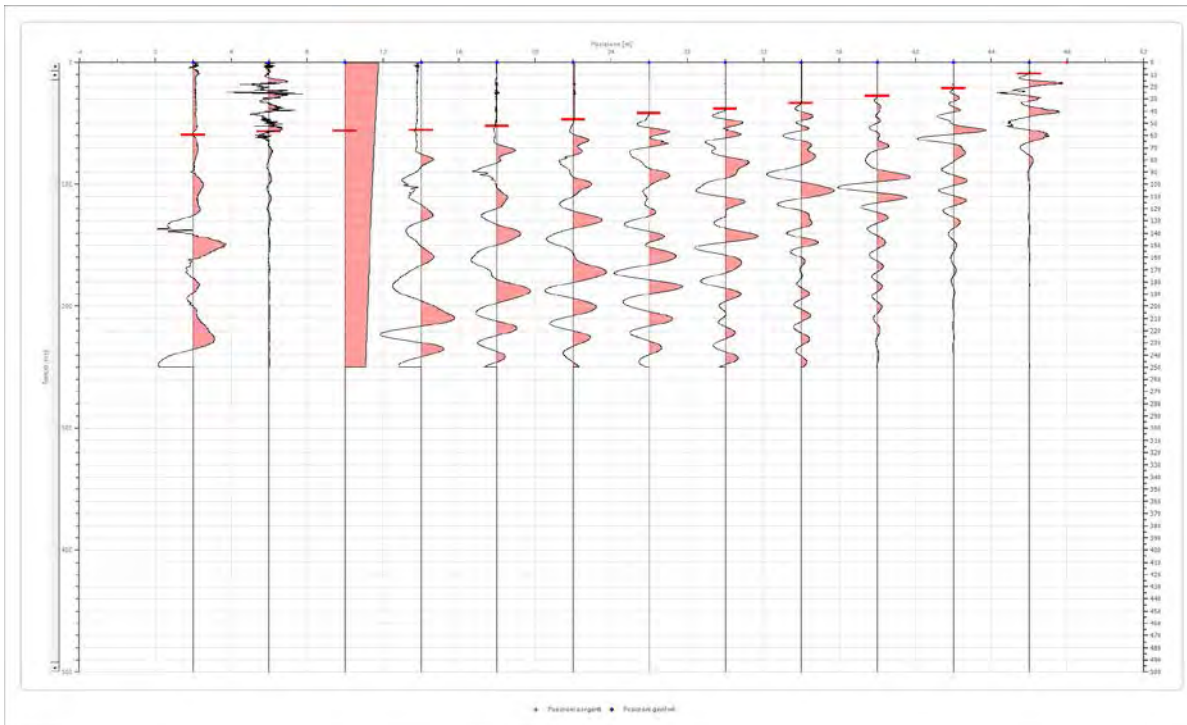
Posizione sorgente X            24 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	42.3751
6.0	38.4333
10.0	32.0277
14.0	25.0000
18.0	20.2500
22.0	9.8547
26.0	10.8401
30.0	20.6948
34.0	23.6512
38.0	30.0568
42.0	40.0000
46.0	42.3750

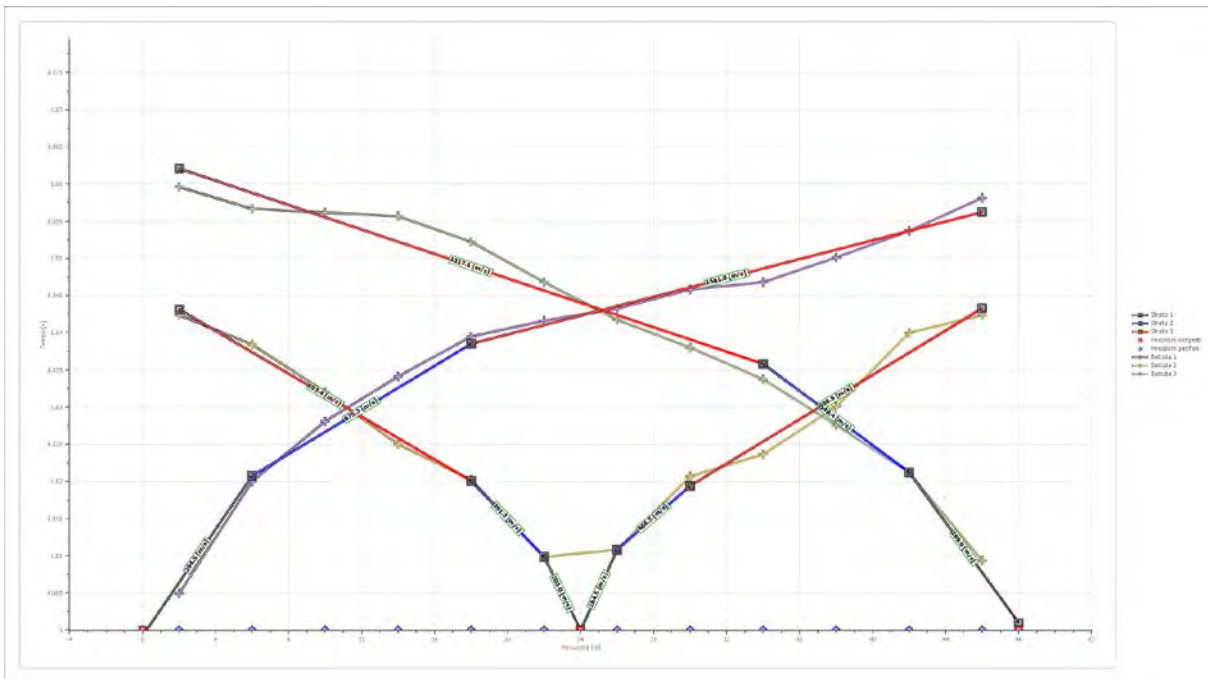
Battuta 3

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

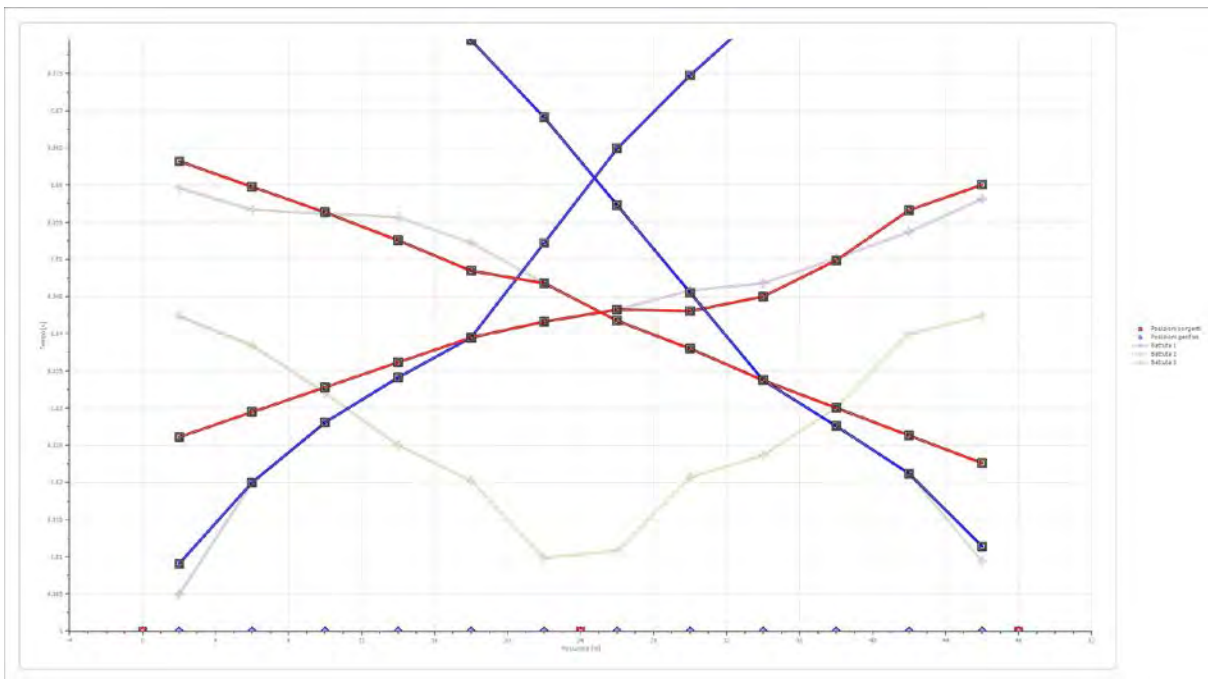


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	59.6208
6.0	56.6644
10.0	56.1717
14.0	55.6789
18.0	52.2298
22.0	46.8097
26.0	41.7500
30.0	38.0000
34.0	33.7500
38.0	27.5931
42.0	21.1876
46.0	9.3619

**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	4.8	--
G= 6.0 [m]	1.7	4.7	--

Geol. Nazario DI LELLA  
 STUDIO DI GEOLOGIA - via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gmail.com, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

G= 10.0 [m]	1.3	4.9	--
G= 14.0 [m]	0.7	5.3	--
G= 18.0 [m]	0.0	5.7	--
G= 22.0 [m]	0.3	5.5	--
G= 26.0 [m]	0.5	4.6	--
G= 30.0 [m]	0.2	4.0	--
G= 34.0 [m]	0.0	3.6	--
G= 38.0 [m]	0.1	3.8	--
G= 42.0 [m]	0.5	4.2	--
G= 46.0 [m]	0.3	4.2	--
Velocità [m/sec]	243.0	412.0	1232.6
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

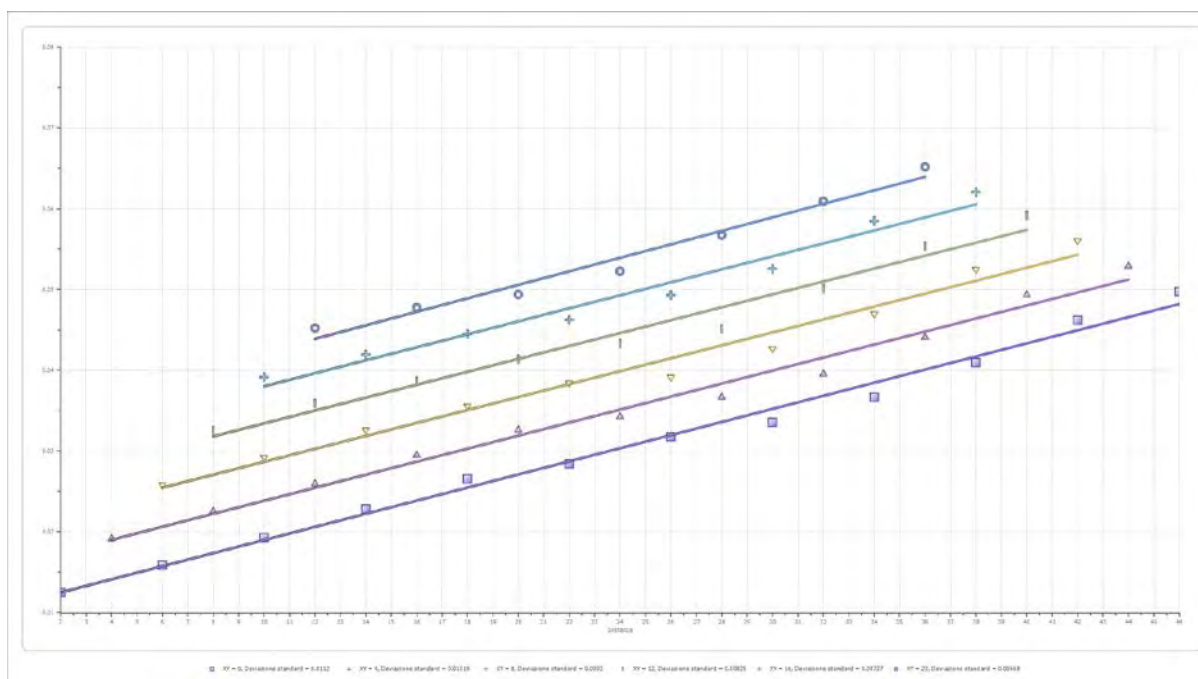
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.39	0.45	0.46
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	242.97	412.04	1232.65
Vs [m/s]	103.18	124.23	335.48
G0 [MPa]	18.10	27.78	213.84
Ed [Mpa]	100.36	305.59	2886.89
M0 [MPa]	82.26	277.81	2673.05
Ey [Mpa]	50.31	80.57	624.42

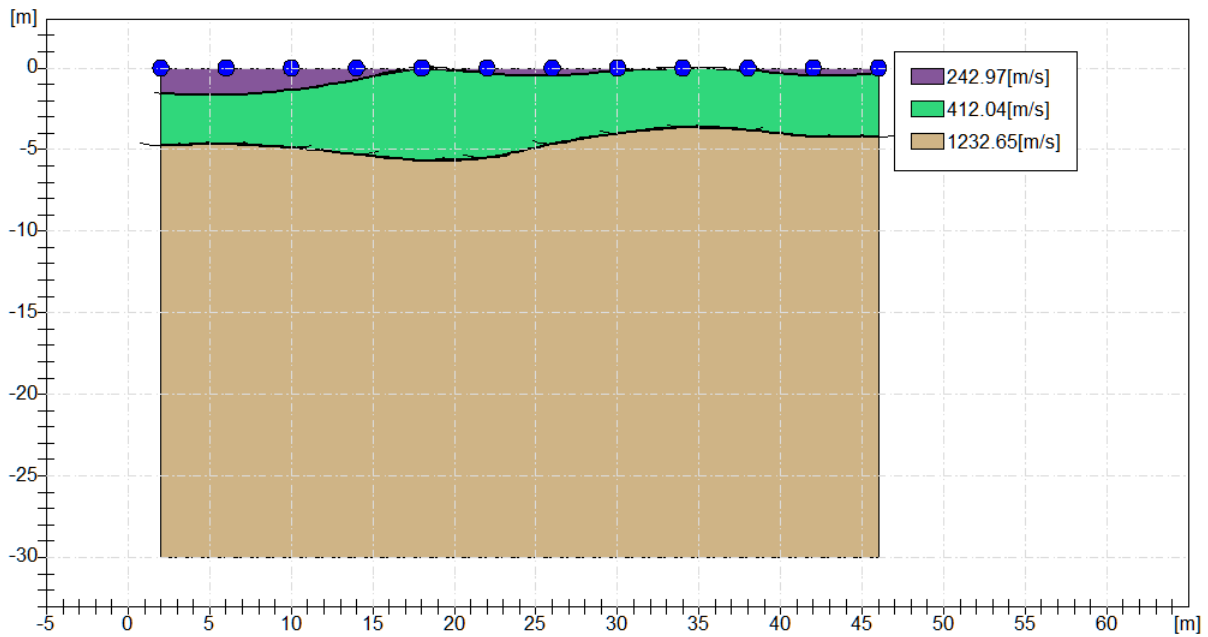
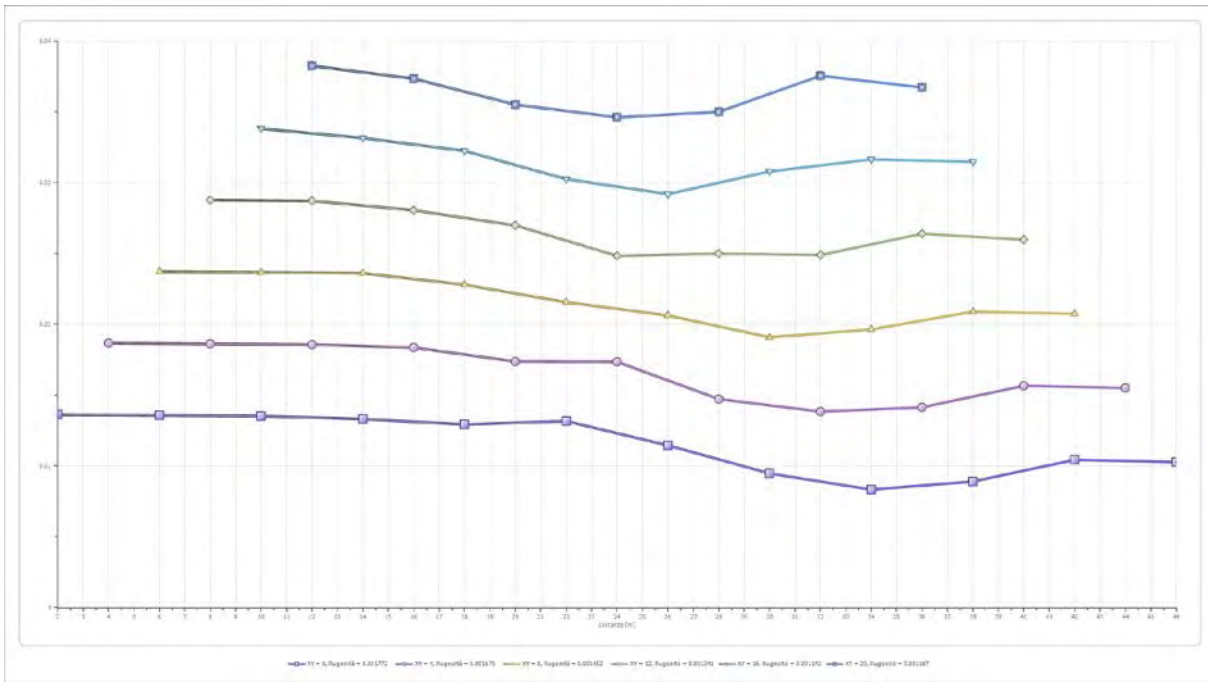
G0: Modulo di deformazione al taglio;

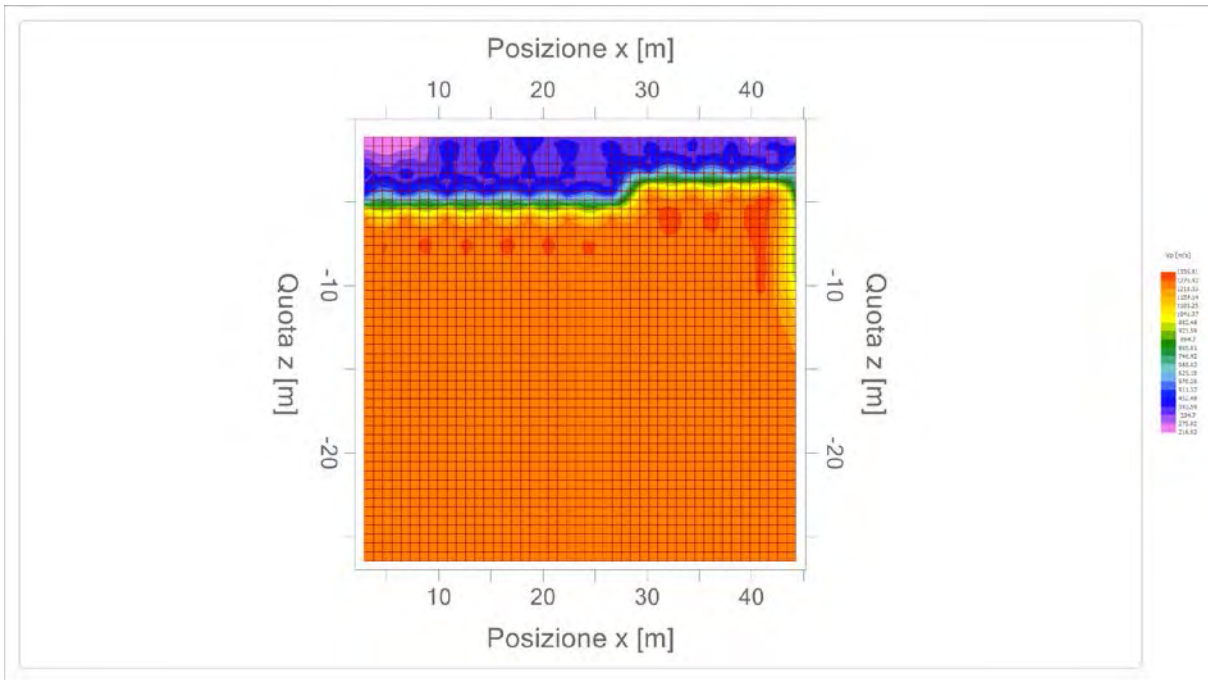
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

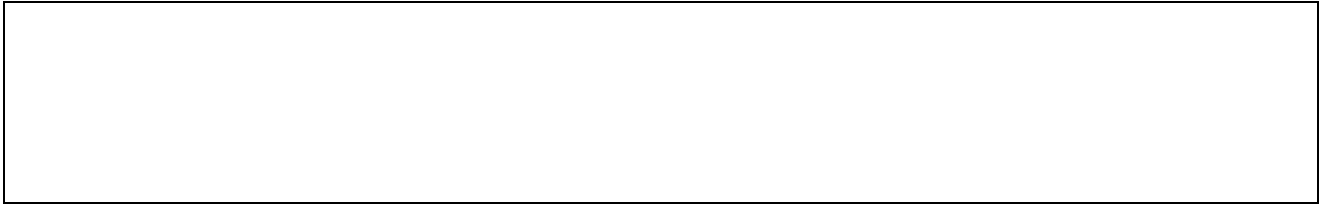
Ey: Modulo di Young;












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

**SIS4**

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione</b>	

## 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

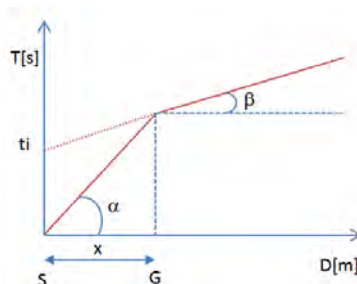
$$T = x_i / V_1$$

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

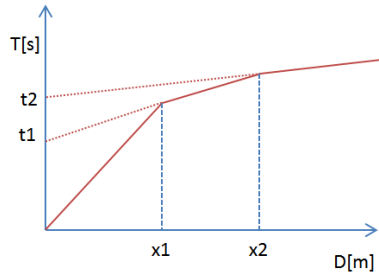
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

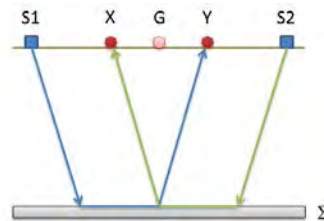


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

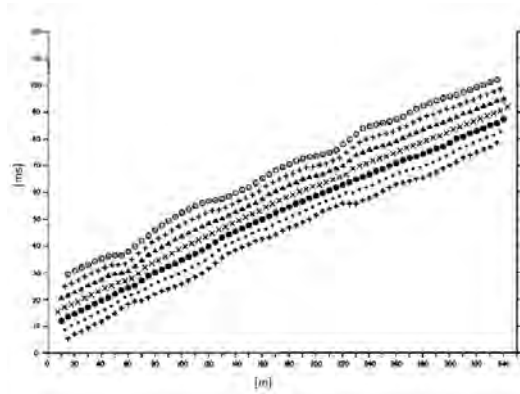
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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



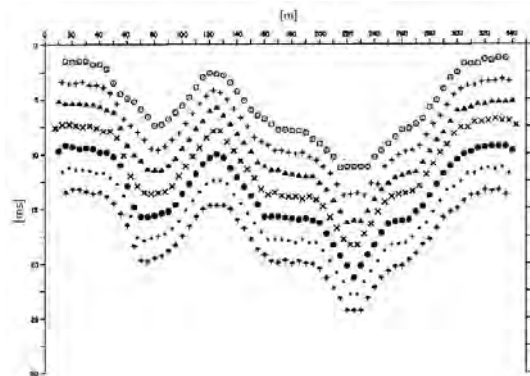
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è 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 SIS4  
Committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Zona BORGO TAVERNOLA  
Operatore GEOL. NAZARIO DI LELLA  
Responsabile GEOL. NAZARIO DI LELLA  
Data 19/04/2021  
Via LOC. PANETTERIA DEL CONTE  
Latitudine 15,760996[°]  
Longitudine 41,448510[°]  
Altitudine 21.7[m]

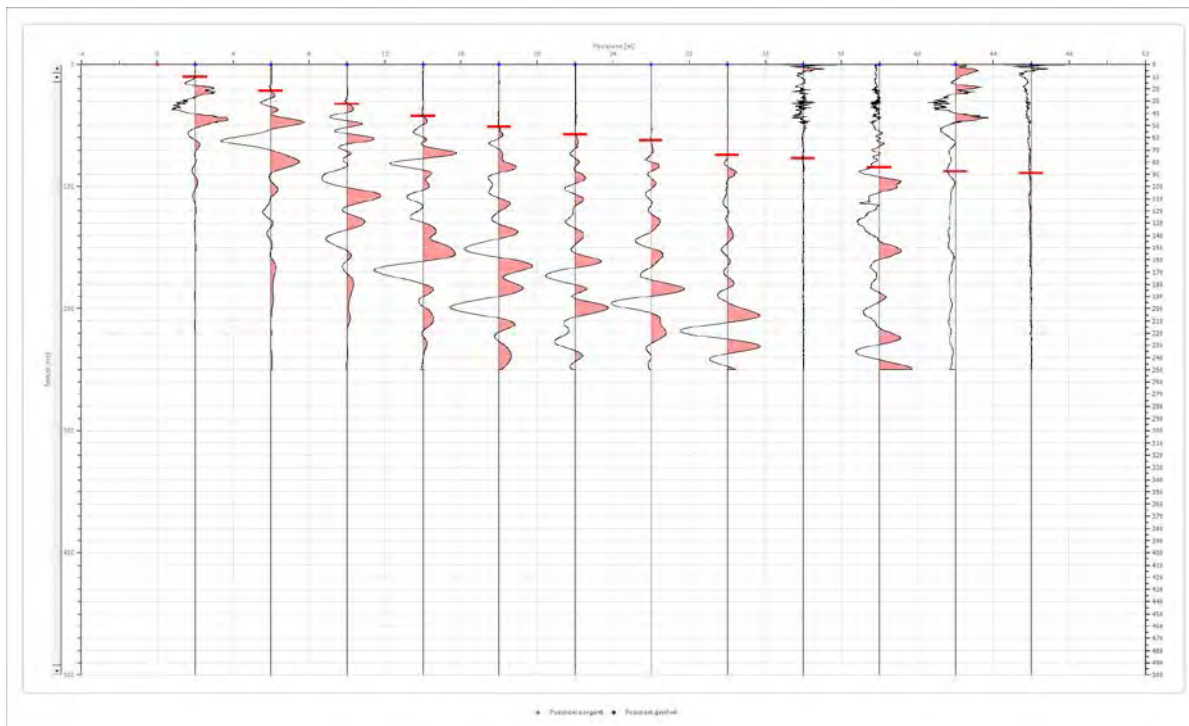
### Geometria geofoni

	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

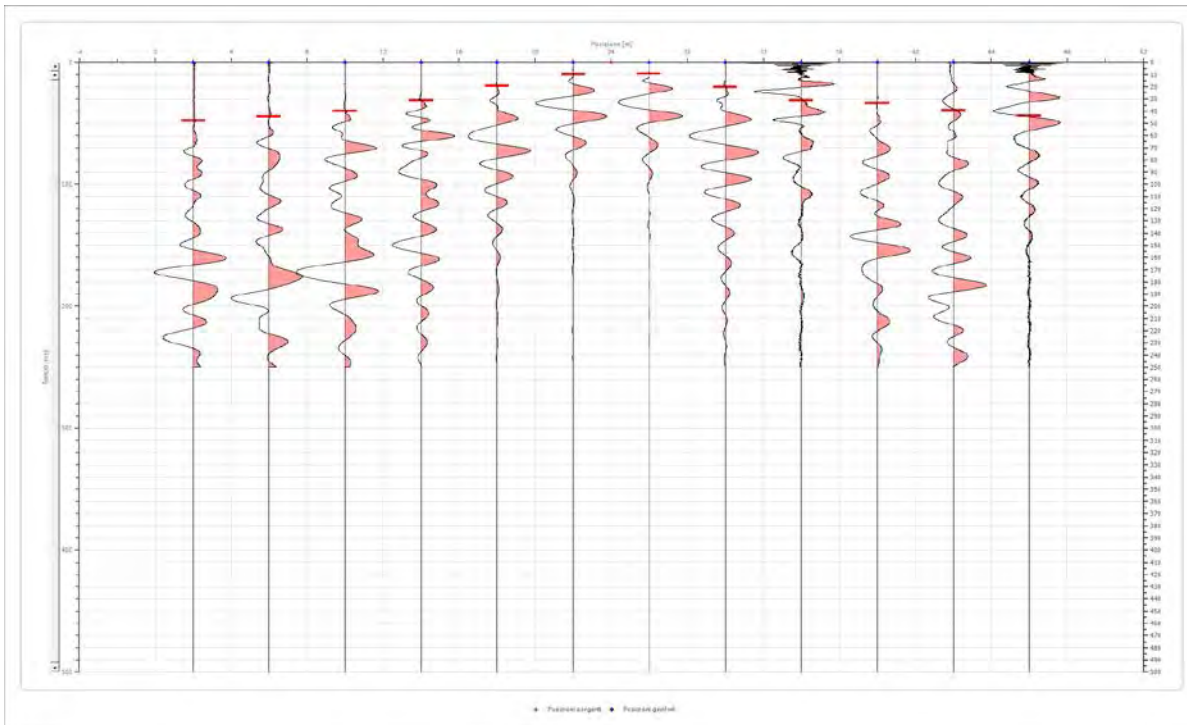
Posizione sorgente X            0 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	10.3474
6.0	21.6803
10.0	32.5204
14.0	42.3751
18.0	51.2443
22.0	57.6499
26.0	62.0845
30.0	74.4028
34.0	76.8665
38.0	84.2575
42.0	87.7067
46.0	89.1849

Battuta 2

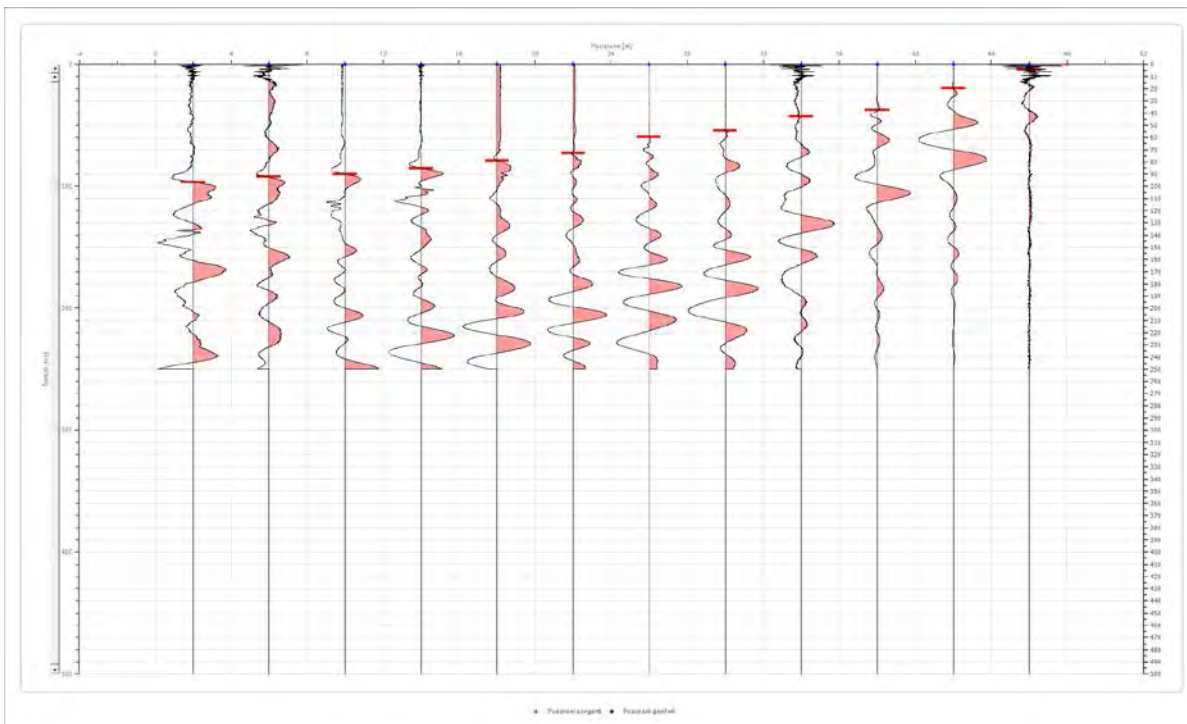
Posizione sorgente X            24 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	47.7952
6.0	44.3461
10.0	39.9115
14.0	31.0422
18.0	19.2166
22.0	9.8547
26.0	9.3619
30.0	20.2021
34.0	31.0422
38.0	33.5059
42.0	39.4187
46.0	43.8533

Battuta 3

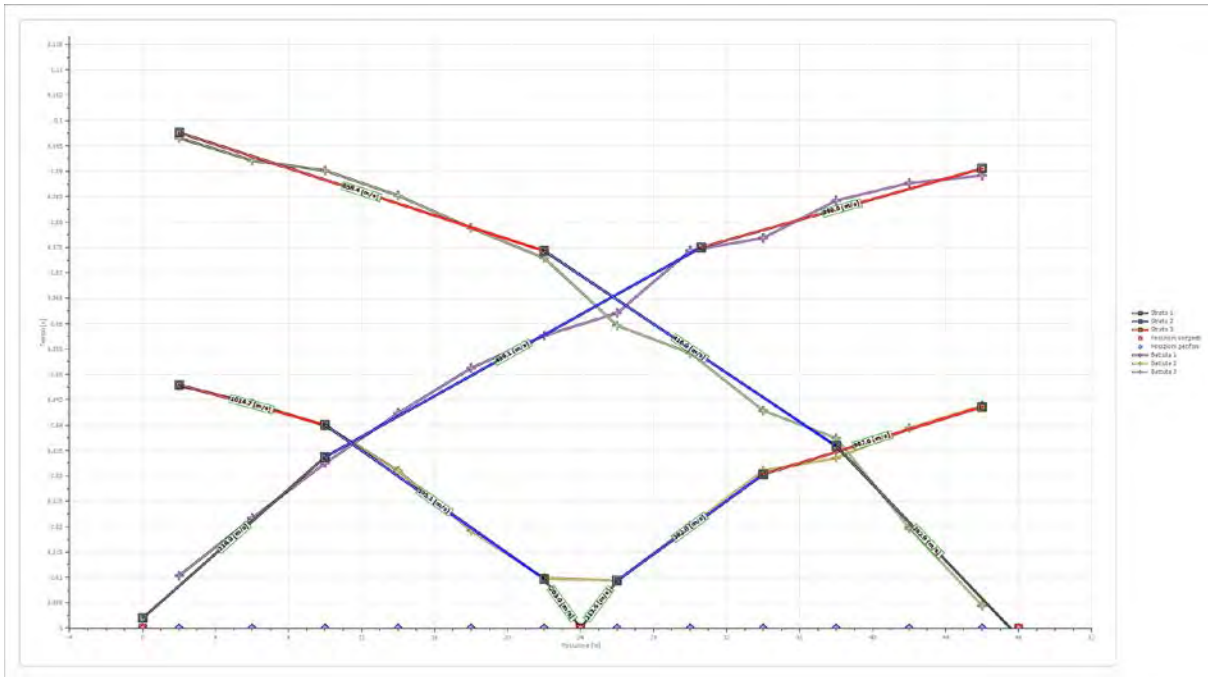
Posizione sorgente X            48 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



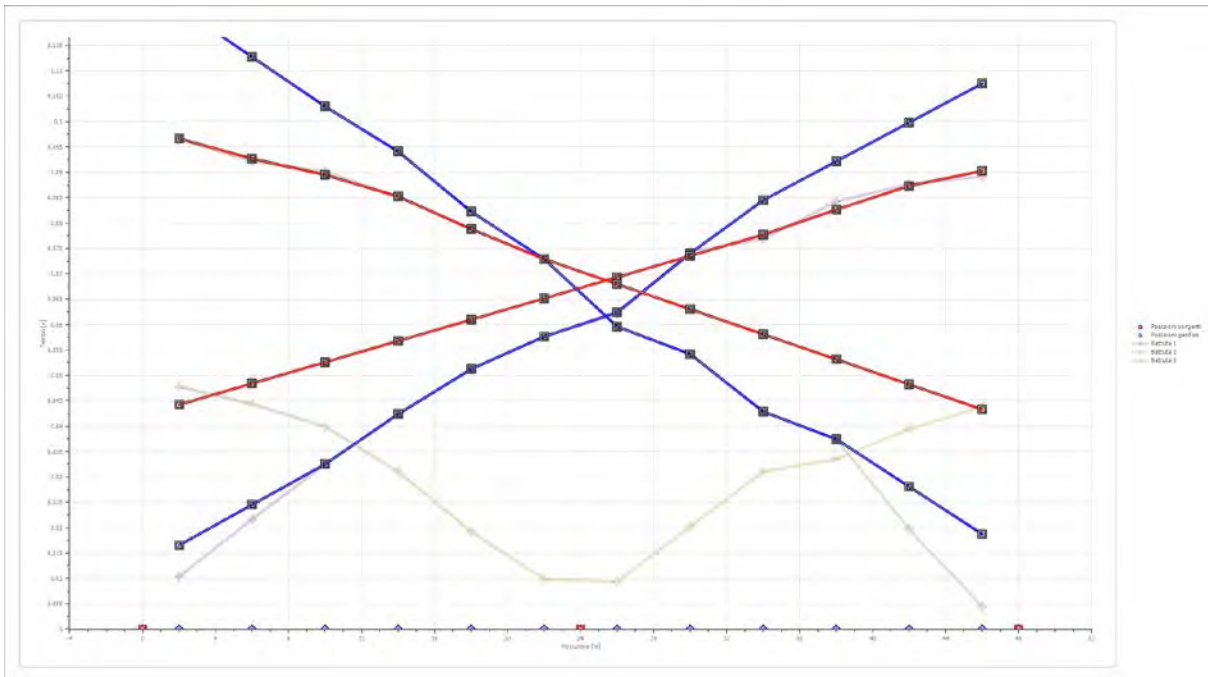
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	96.5759
6.0	92.1413
10.0	90.1703
14.0	85.2430
18.0	78.8374
22.0	72.9246
26.0	59.6208
30.0	54.2007
34.0	42.8679
38.0	37.4478
42.0	19.7094
46.0	4.4346



**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3	
G= 2.0 [m]	3.0	8.6	--	
G= 6.0 [m]	2.8	8.9	--	

Geol. Nazario DI LELLA  
 STUDIO DI GEOLOGIA - via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gmail.com, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711

G= 10.0 [m]	2.5	9.4	--
G= 14.0 [m]	2.6	9.3	--
G= 18.0 [m]	2.2	9.1	--
G= 22.0 [m]	1.8	9.1	--
G= 26.0 [m]	0.5	10.2	--
G= 30.0 [m]	1.4	9.1	--
G= 34.0 [m]	1.3	9.0	--
G= 38.0 [m]	1.6	8.7	--
G= 42.0 [m]	1.4	8.9	--
G= 46.0 [m]	1.1	8.6	--
Velocità [m/sec]	249.4	449.0	865.4
Descrizione			

**Altri parametri geotecnici**

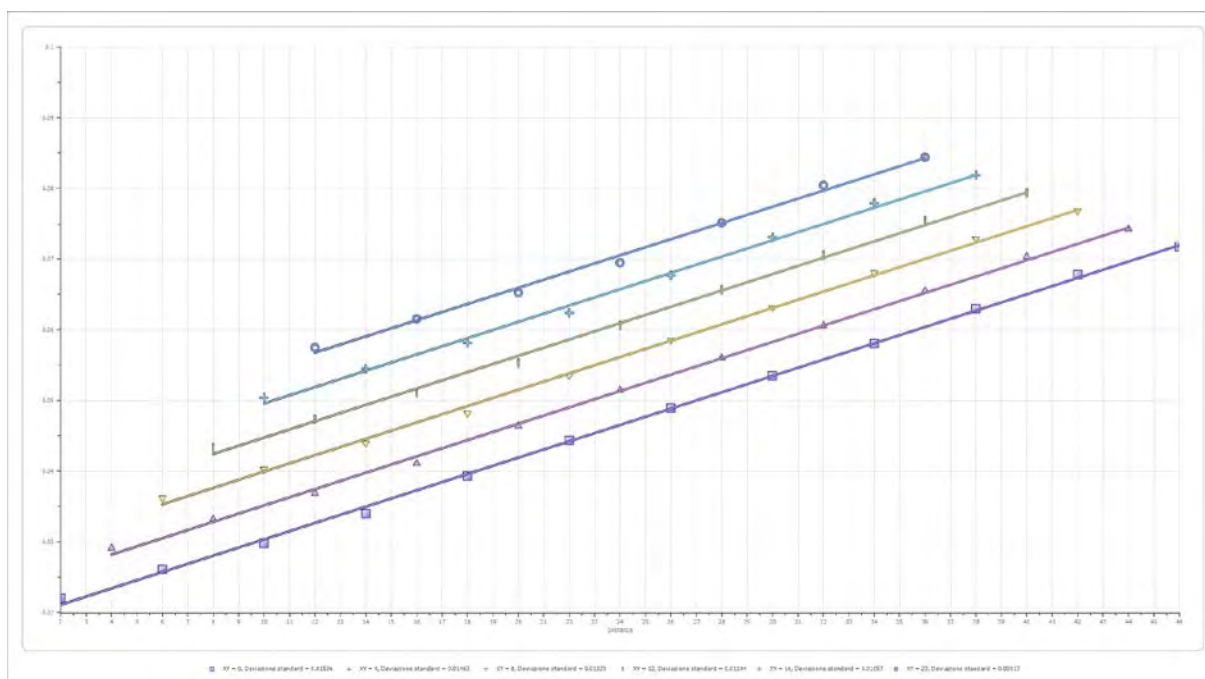
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.39	0.45	0.46
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	249.37	449.04	865.39
Vs [m/s]	105.90	135.39	235.53
G0 [MPa]	19.06	33.00	105.40
Ed [Mpa]	105.72	362.95	1422.91
M0 [MPa]	86.65	329.95	1317.51
Ey [Mpa]	53.00	95.69	307.77

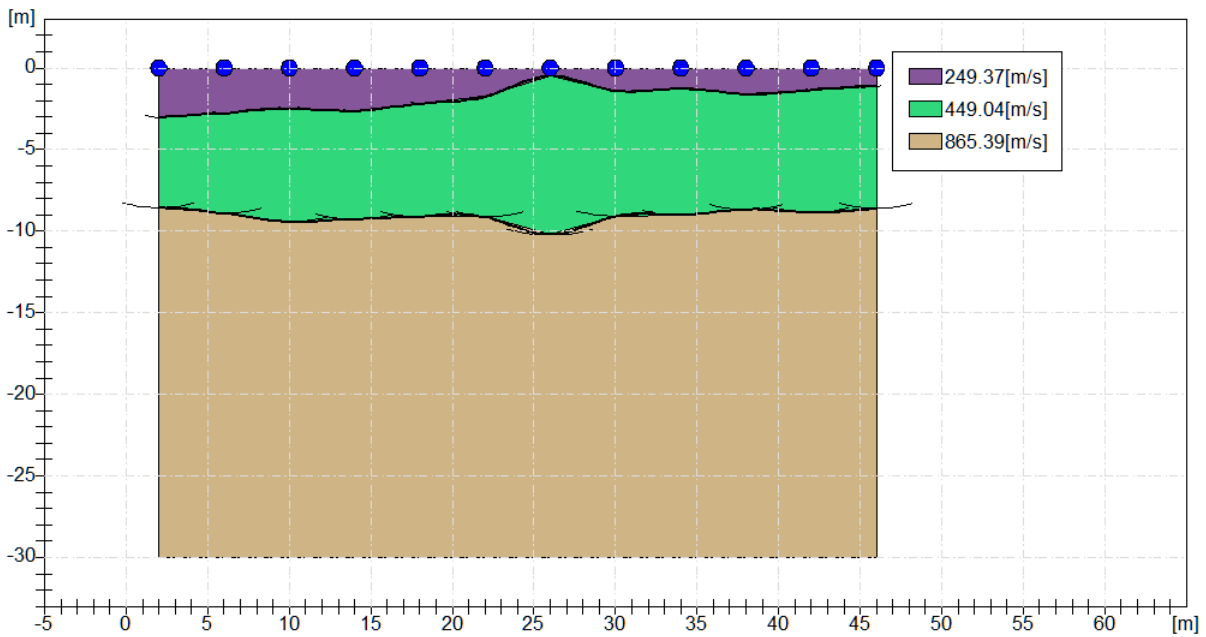
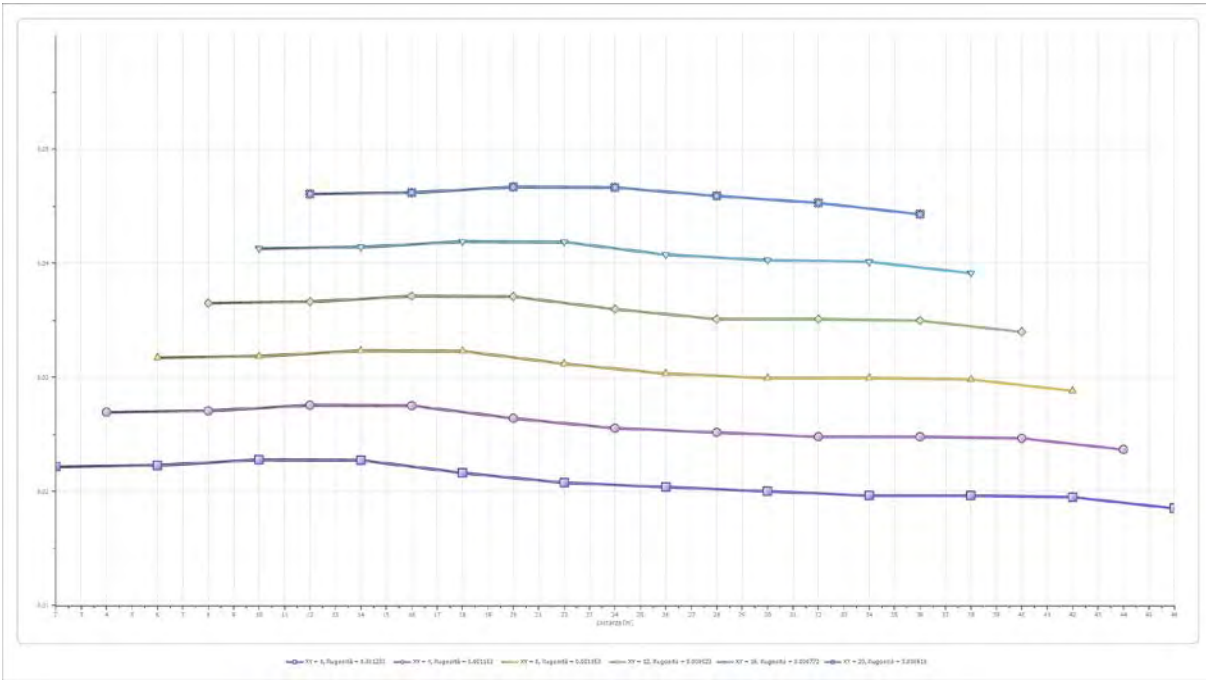
G0: Modulo di deformazione al taglio;

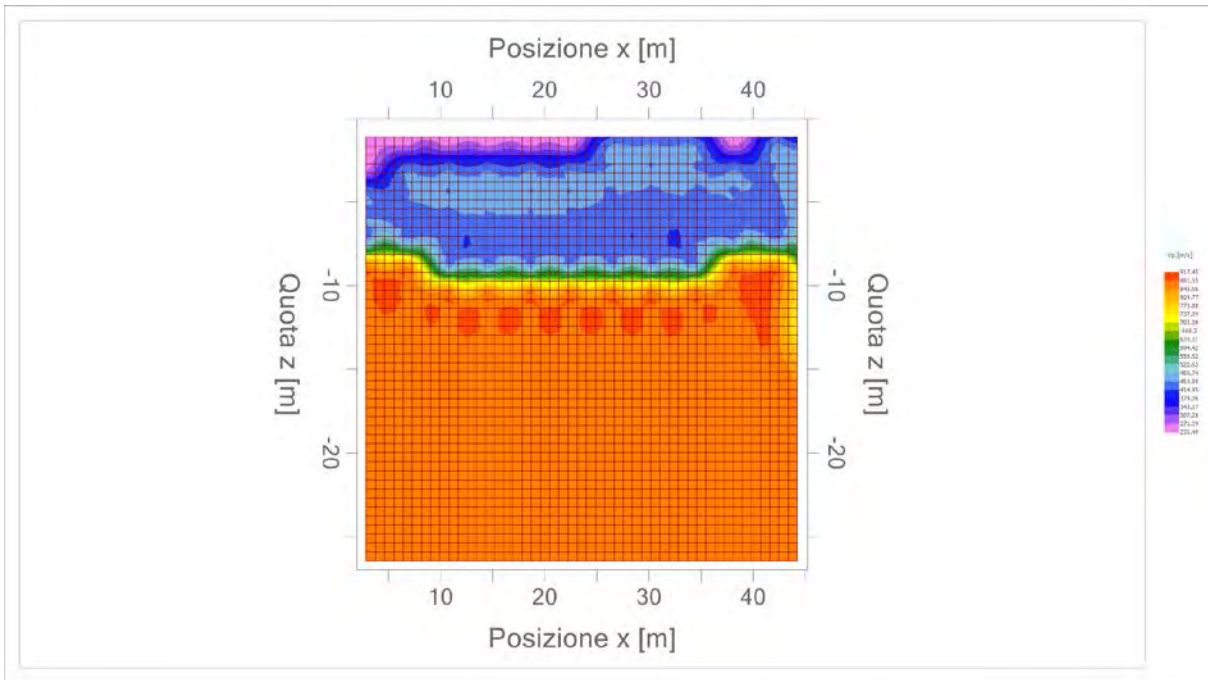
Ed: Modulo edometrico;

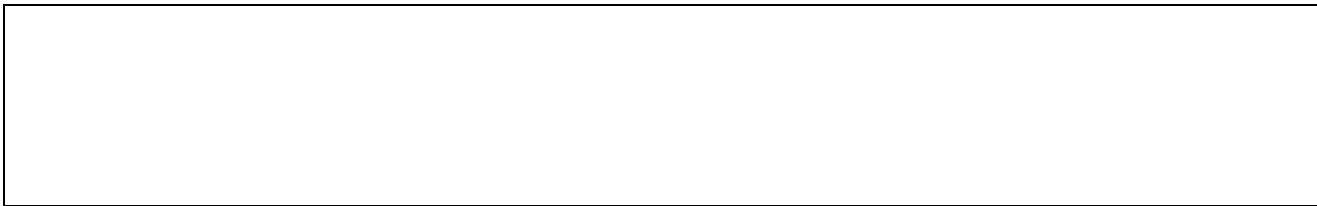
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;









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

**SIS 5**

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione</b>	

### 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

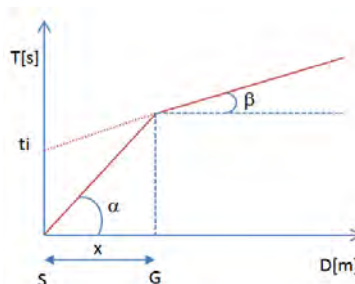
$$T = x_i / V_1$$

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

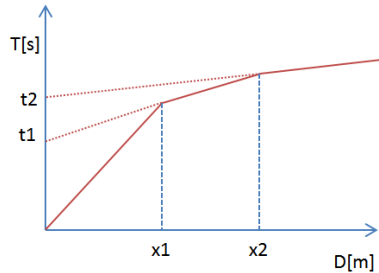
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

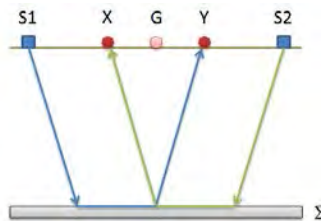


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

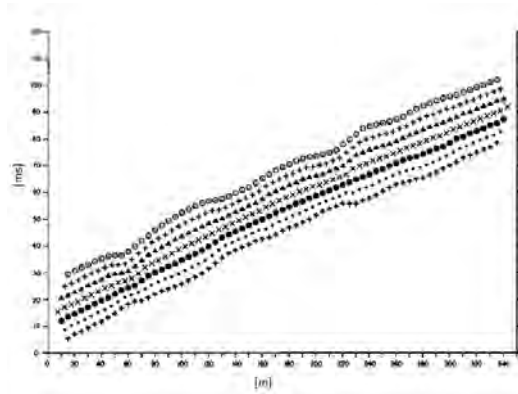
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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



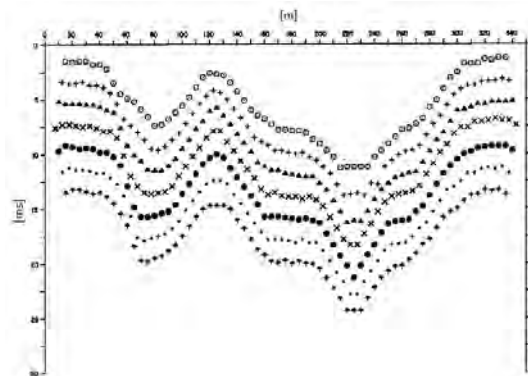
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è 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 5  
Committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Zona BORGO TAVERNOLA  
Operatore GEOL. DI LELLA NAZARIO  
Responsabile GEOL. DI LELLA NAZARIO  
Data 16/05/2021  
Via LOC. POSTA DA PIEDE - VIGNA CROCE  
Latitudine 15,648180[°]  
Longitudine 41,495789[°]  
Altitudine 42[m]

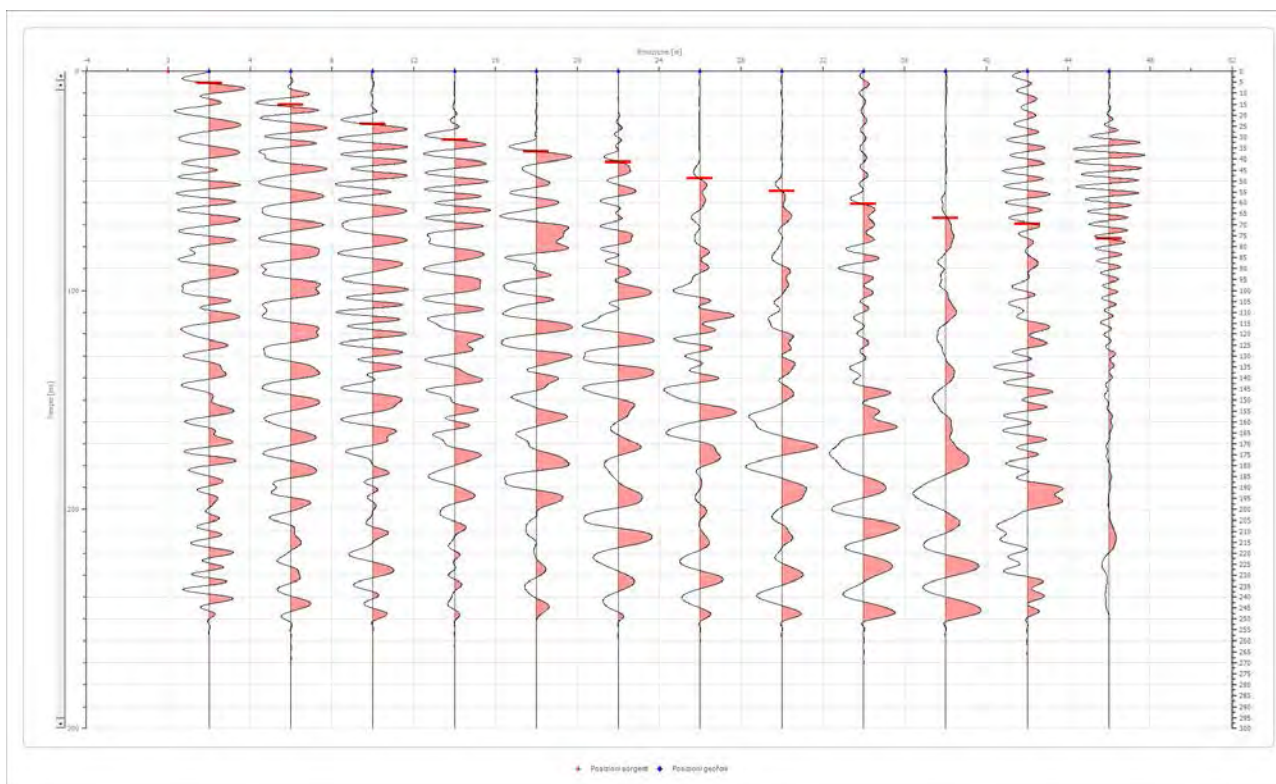
### Geometria geofoni

	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

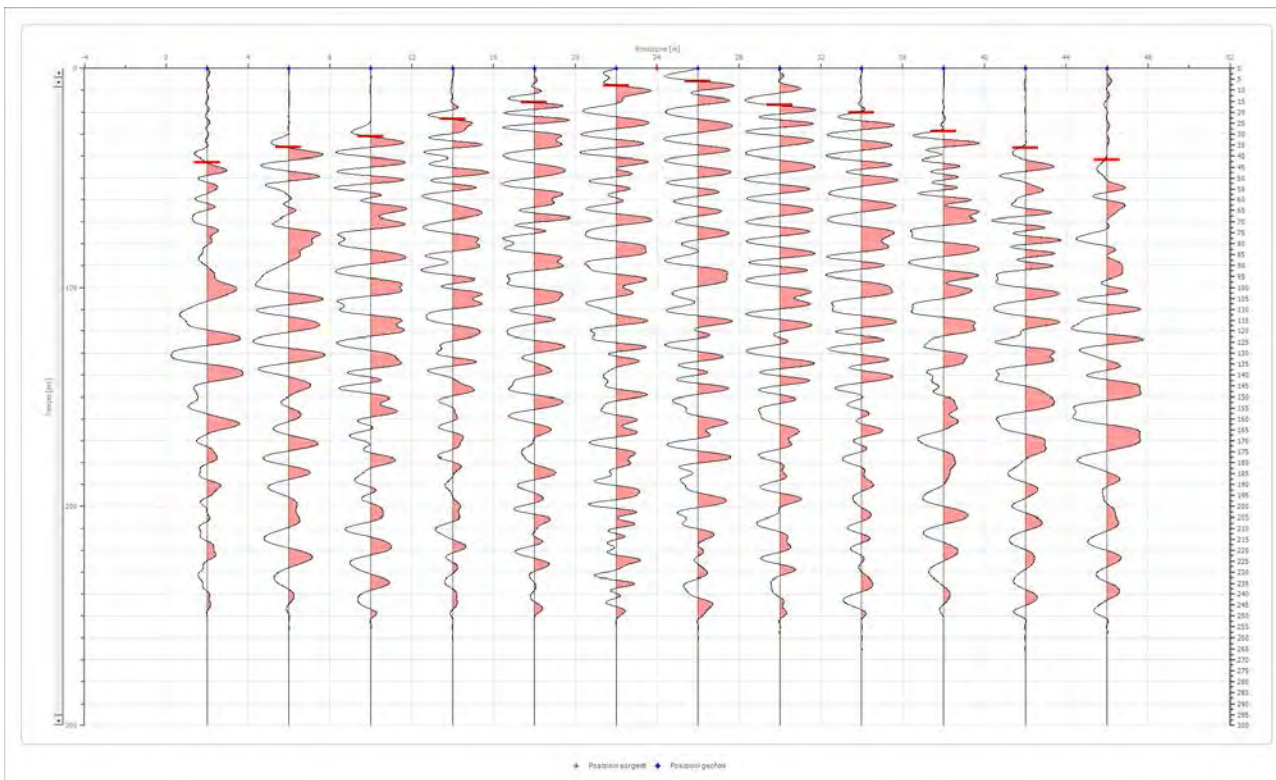
Posizione sorgente X            0 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.4201
6.0	15.0739
10.0	23.9409
14.0	31.3301
18.0	36.6502
22.0	41.3897
26.0	48.7807
30.0	54.6935
34.0	60.6063
38.0	67.0118
42.0	69.4755
46.0	76.3738

Battuta 2

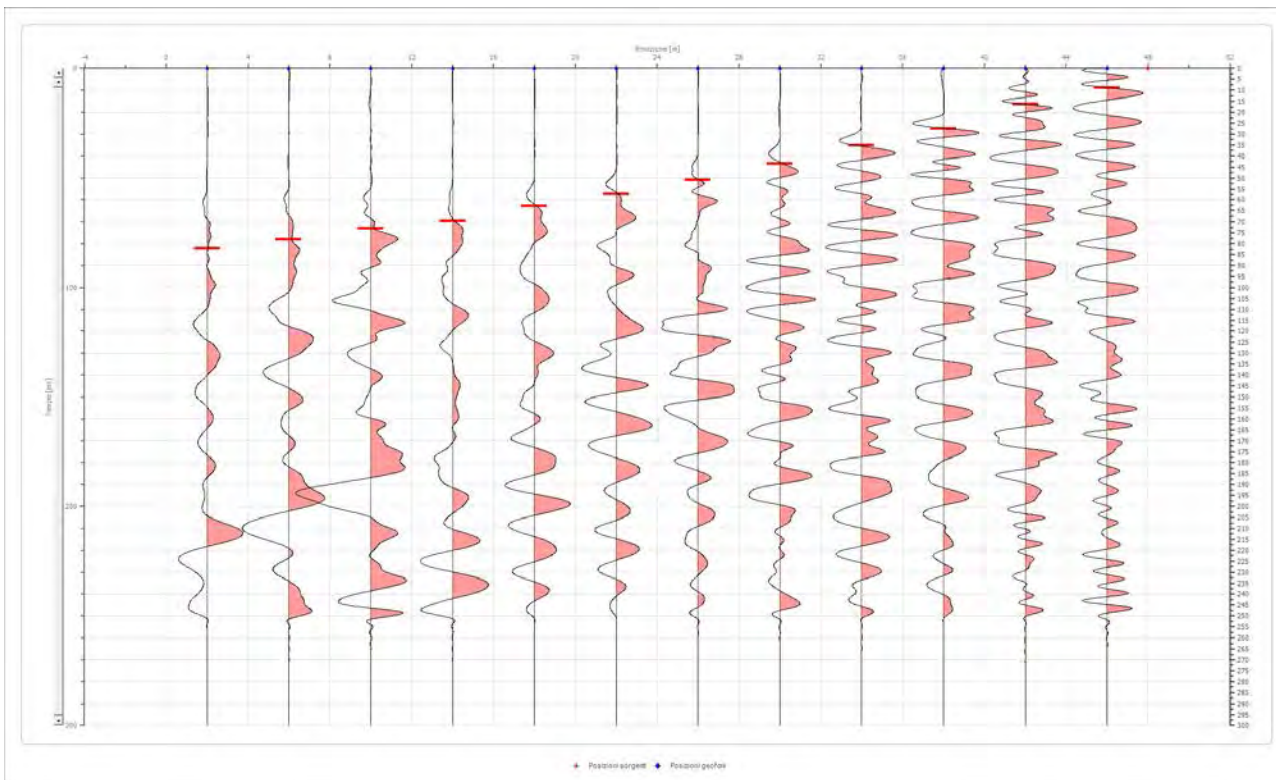
Posizione sorgente X            24 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	42.8571
6.0	36.0591
10.0	31.0345
14.0	23.0542
18.0	15.3695
22.0	7.8837
26.0	5.9113
30.0	16.5517
34.0	20.0985
38.0	28.6700
42.0	36.3547
46.0	41.6749

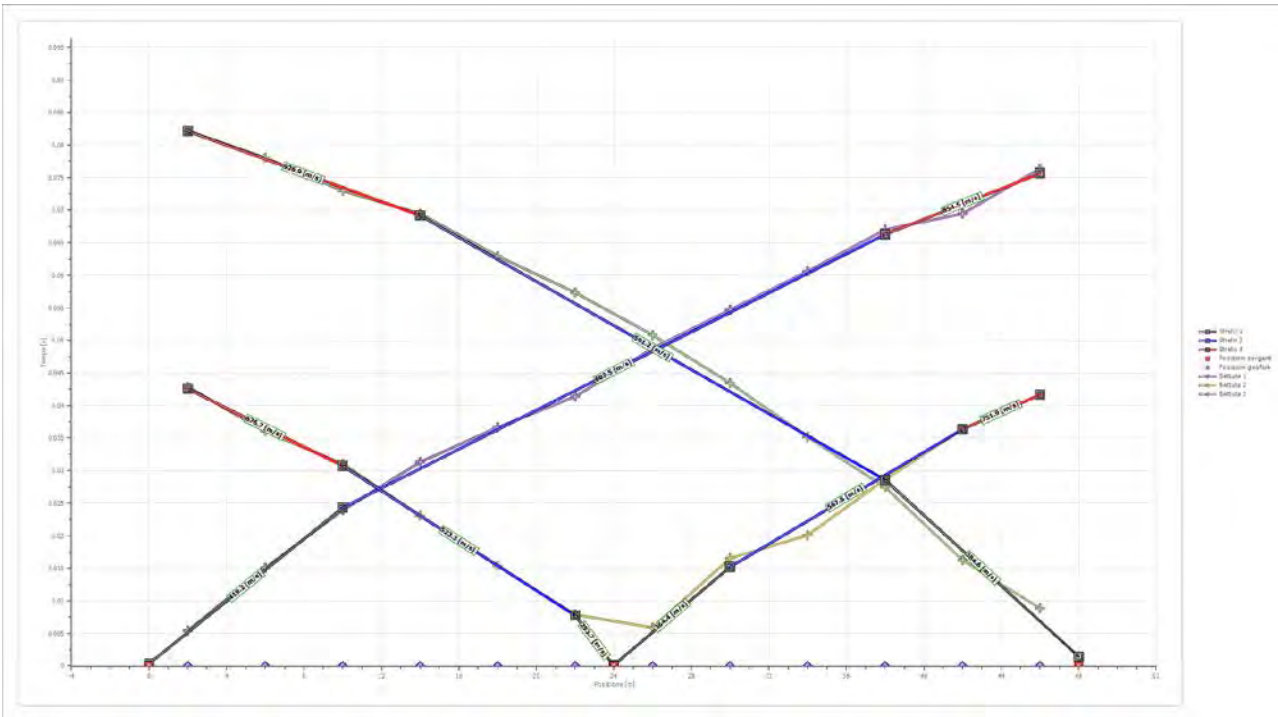
Battuta 3

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

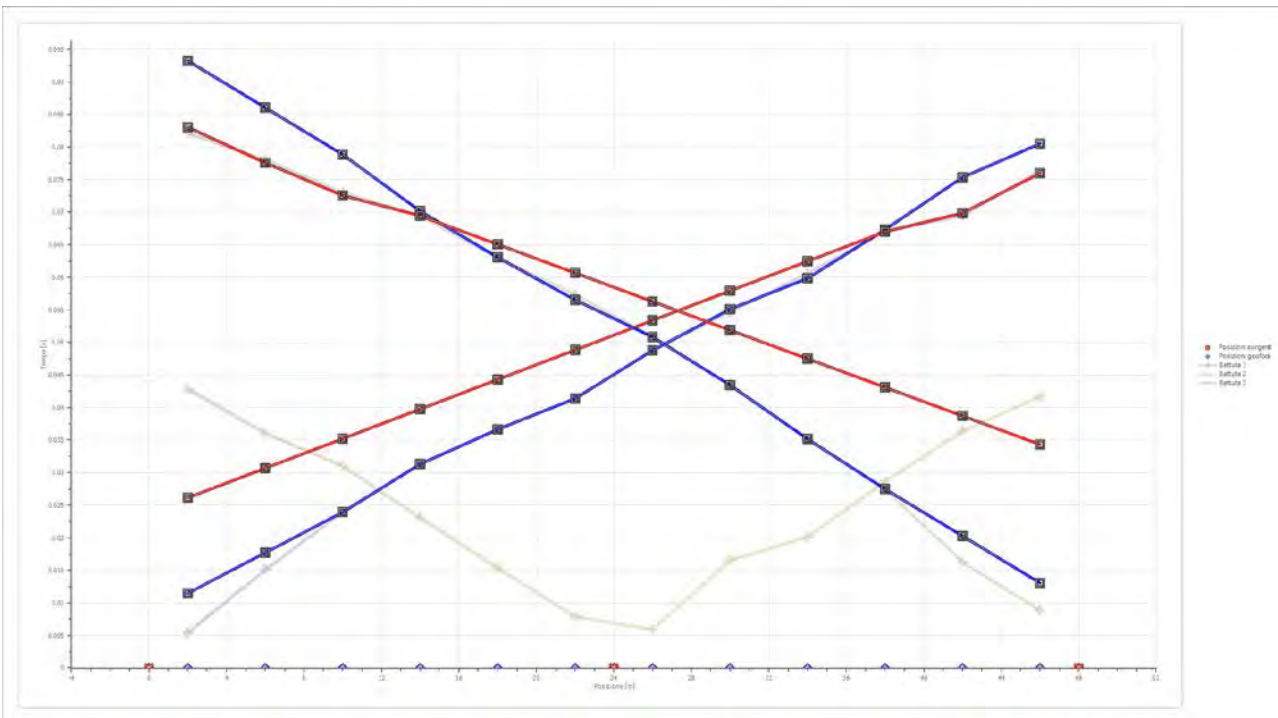


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	82.1675
6.0	78.0296
10.0	73.0049
14.0	69.4581
18.0	62.9557
22.0	57.3399
26.0	50.8374
30.0	43.4483
34.0	35.1724
38.0	27.4877
42.0	16.2562
46.0	8.8670

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	3.4	7.5	--
G= 6.0 [m]	3.2	7.3	--
G= 10.0 [m]	2.9	7.4	--
G= 14.0 [m]	2.7	8.2	--
G= 18.0 [m]	2.3	8.7	--
G= 22.0 [m]	1.9	9.2	--
G= 26.0 [m]	2.2	8.8	--
G= 30.0 [m]	2.0	9.1	--
G= 34.0 [m]	1.2	10.0	--
G= 38.0 [m]	1.2	10.1	--
G= 42.0 [m]	1.3	9.3	--
G= 46.0 [m]	0.9	10.5	--
Velocità [m/sec]	355.5	592.6	905.1
Descrizione			

### Altri parametri geotecnici

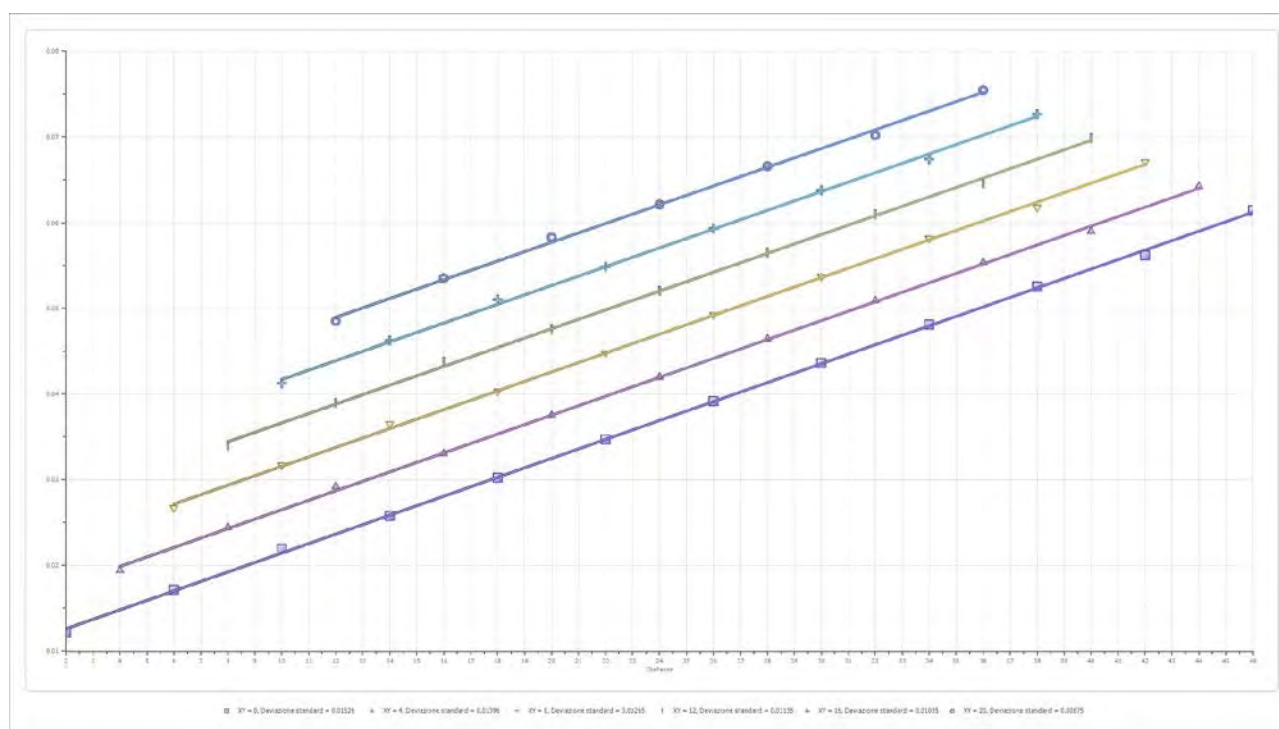
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.39	0.45	0.46
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	355.47	592.64	905.10
Vs [m/s]	150.95	178.69	246.34
G0 [MPa]	38.74	57.47	115.30
Ed [Mpa]	214.81	632.20	1556.49
M0 [MPa]	176.08	574.72	1441.19
Ey [Mpa]	107.69	166.67	336.66

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

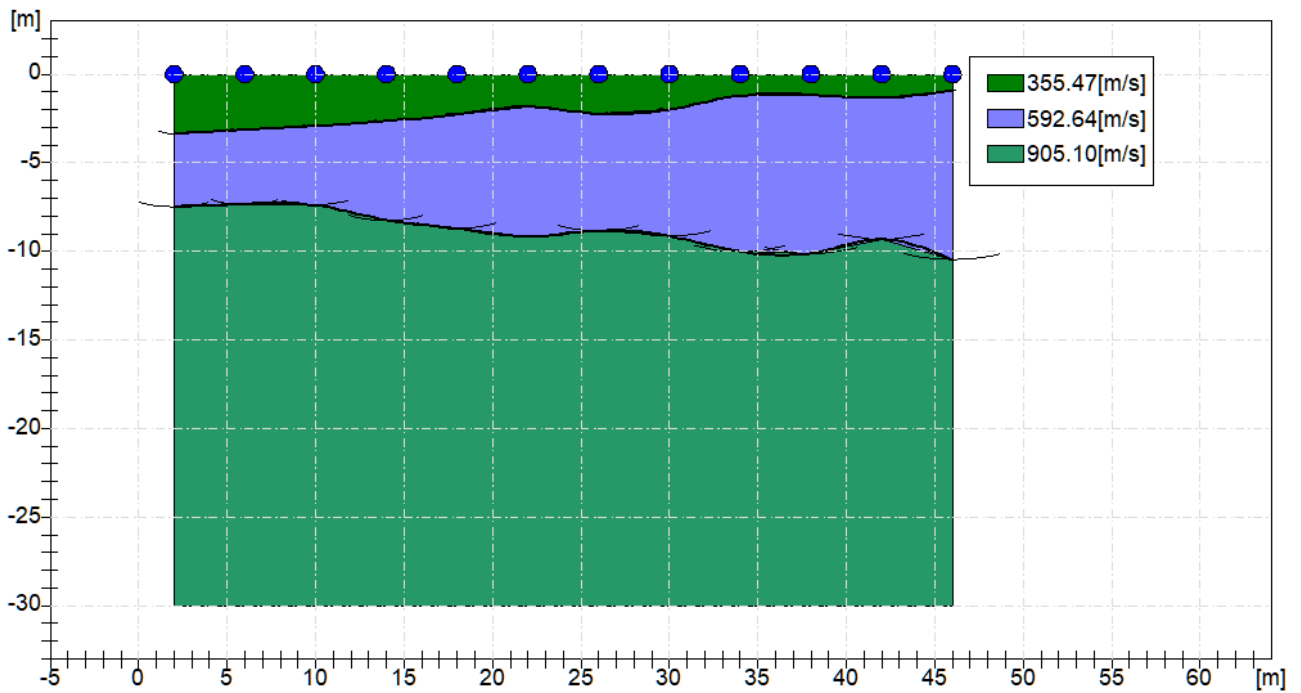
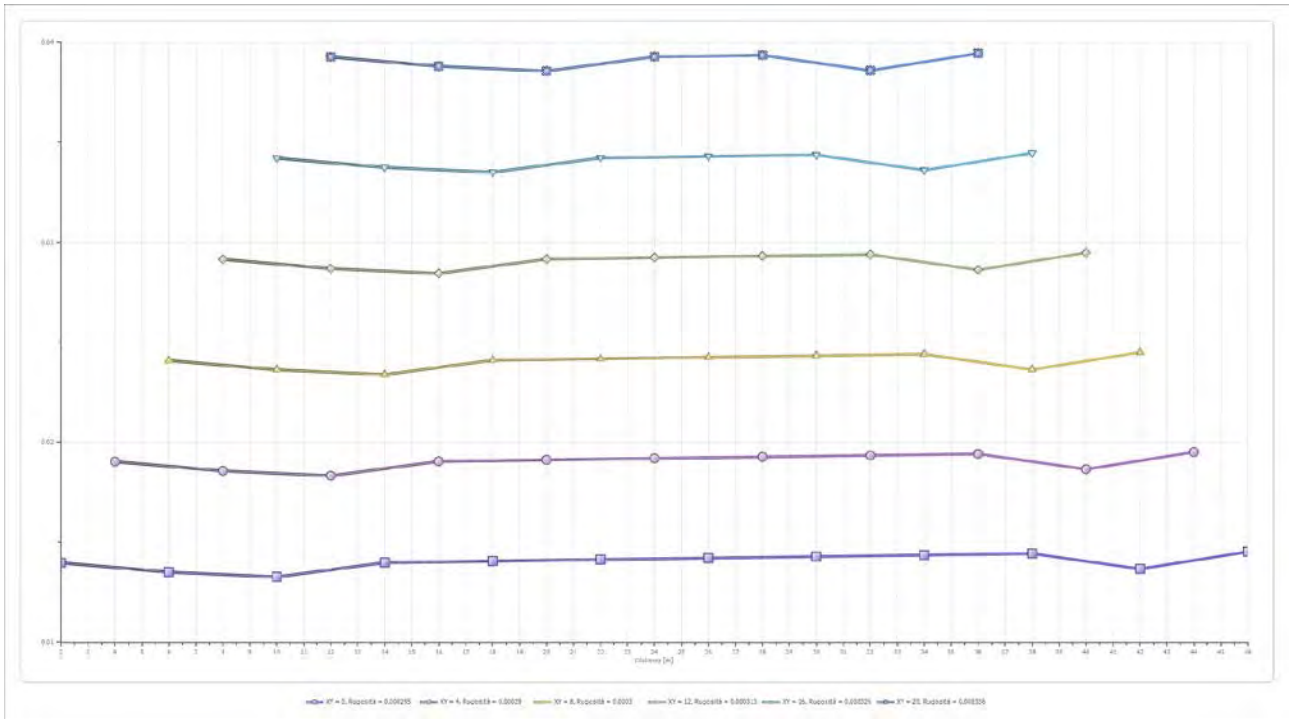
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

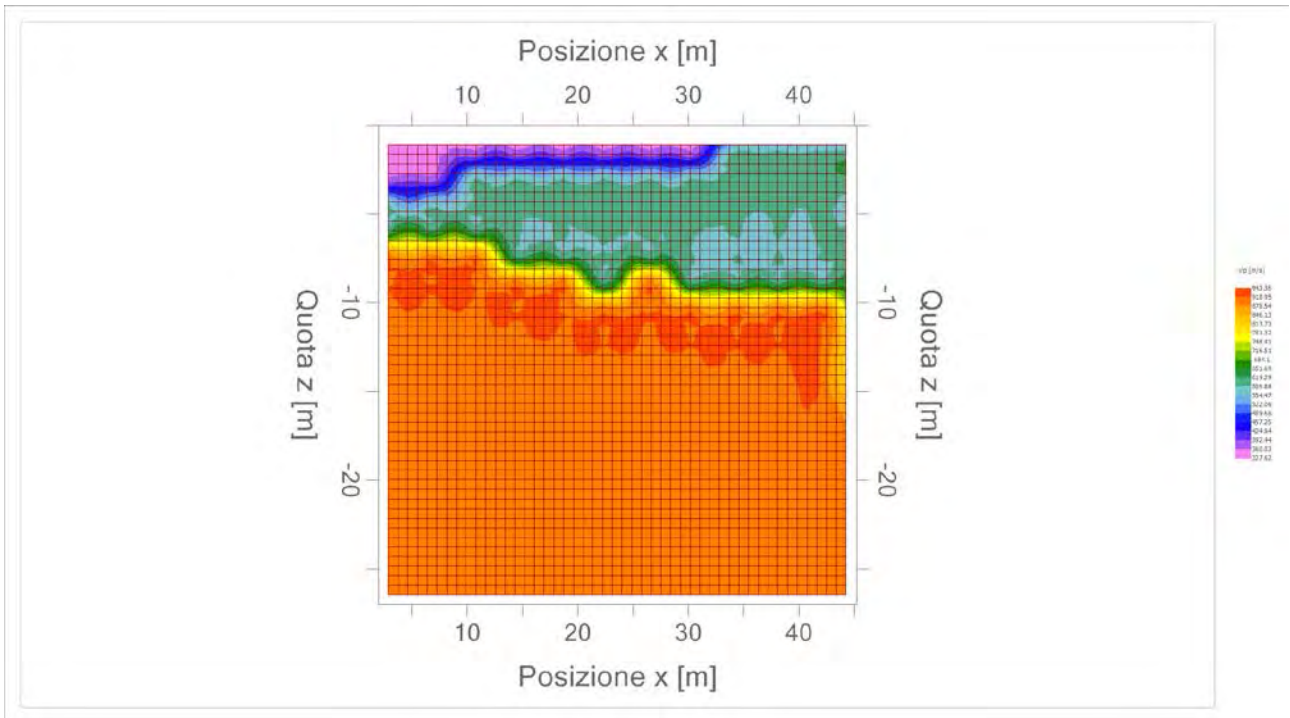
Ey: Modulo di Young;



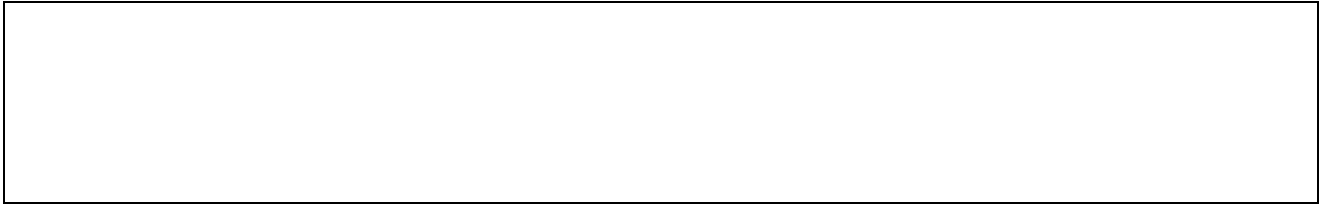
Geol. Nazario DI LELLA

STUDIO DI GEOLOGIA - via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
e-mail:geol.dilella@gmail.com, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711










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

**SIS 6**

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione</b>	

### 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

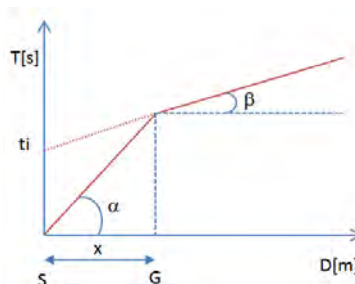
$$T = x_i / V_1$$

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

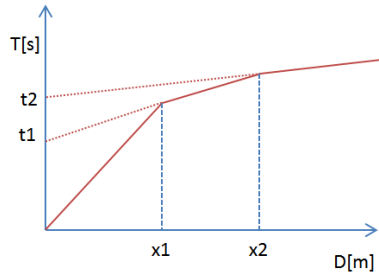
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

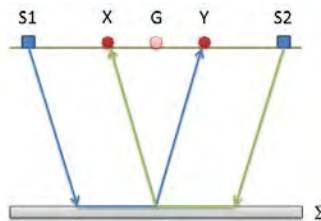


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

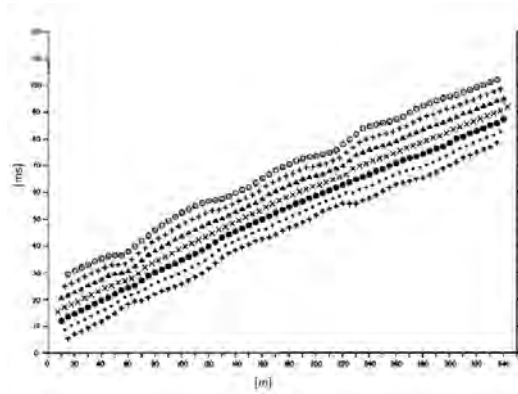
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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



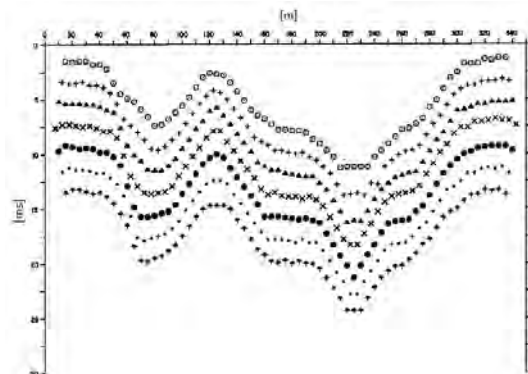
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è 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 6  
 Committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
 Zona BORGO TAVERNOLA  
 Operatore GEOL. DI LELLA NAZARIO  
 Responsabile GEOL. DI LELLA NAZARIO  
 Data 17/05/2021  
 Via LOC. POSTA DA PIEDE - VIGNA CROCE  
 Latitudine 15.64081[°]  
 Longitudine 41.50022[°]  
 Altitudine 41.5[m]

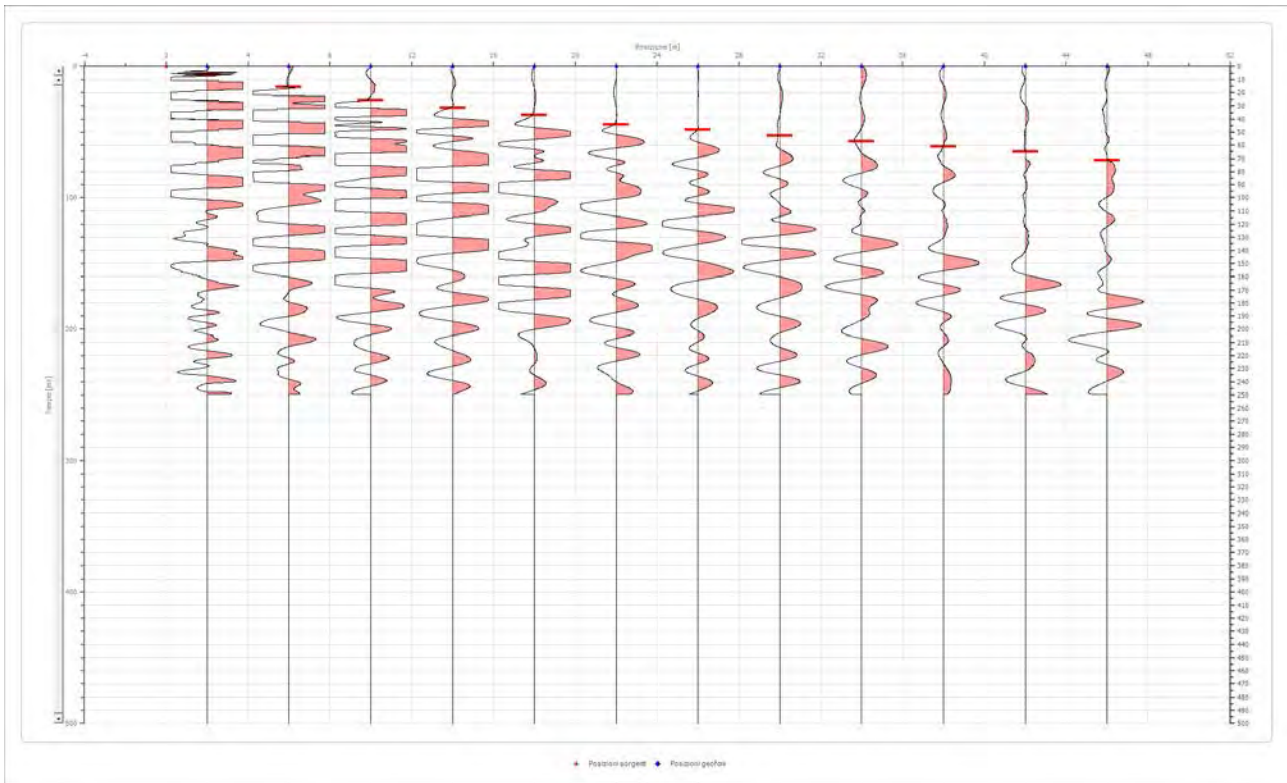
### Geometria geofoni

	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

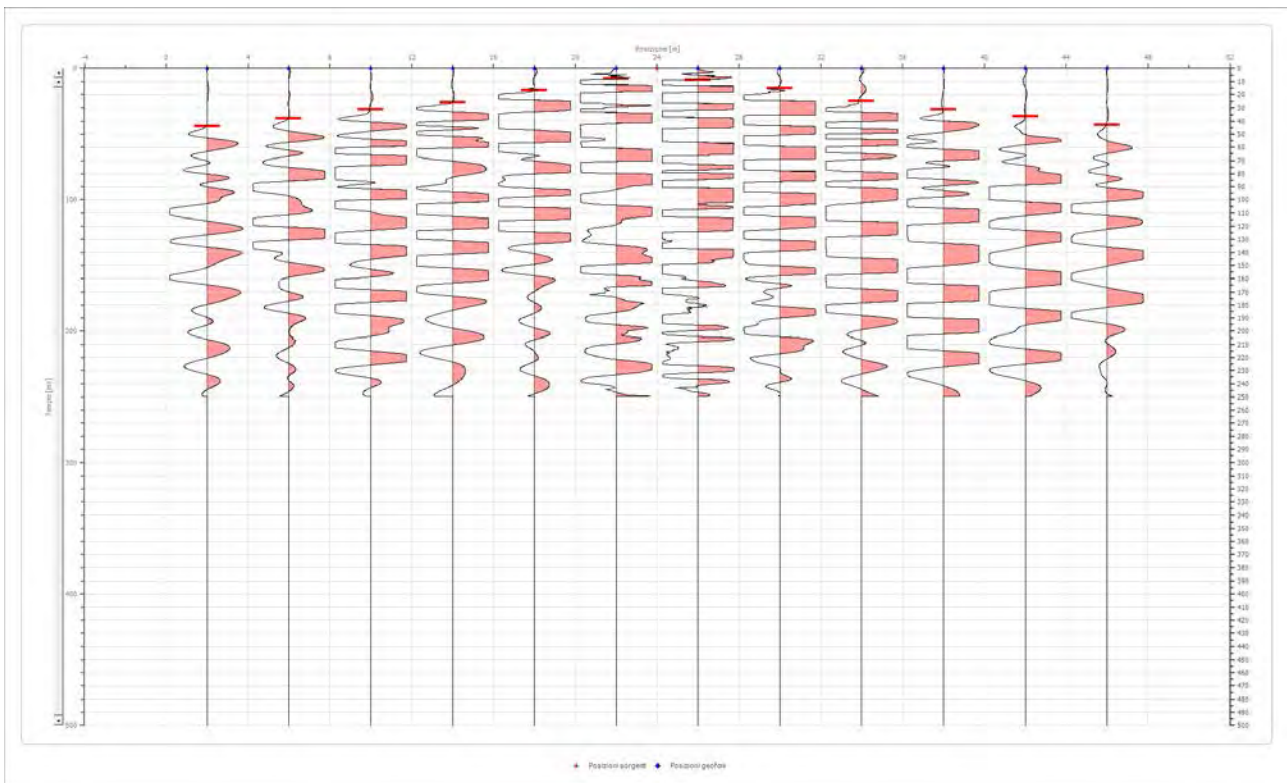
Posizione sorgente X            0 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	6.4055
6.0	15.7675
10.0	25.7500
14.0	31.5000
18.0	36.9551
22.0	44.2500
26.0	48.3750
30.0	52.7500
34.0	57.1571
38.0	61.0990
42.0	65.0409
46.0	71.3750

Battuta 2

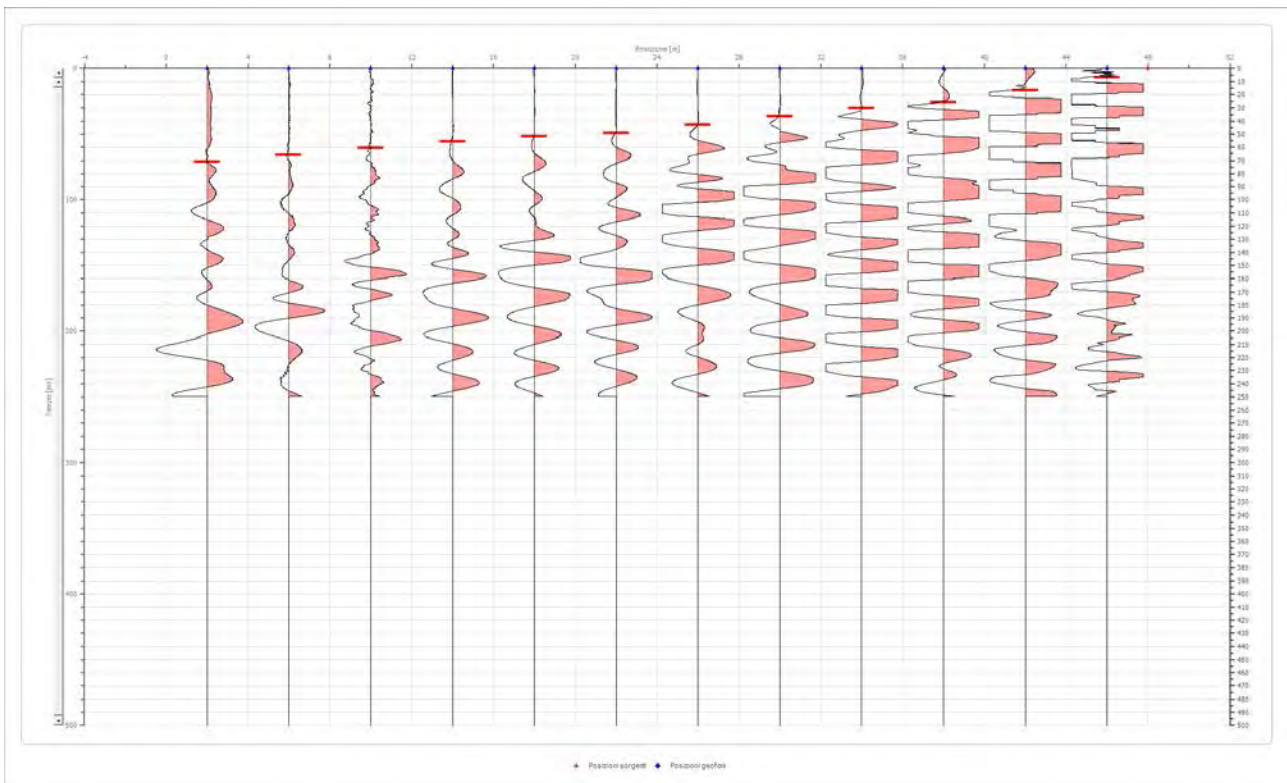
Posizione sorgente X            24 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	43.7500
6.0	38.1250
10.0	31.0422
14.0	25.6250
18.0	16.7530
22.0	7.8837
26.0	8.8692
30.0	15.2748
34.0	24.6367
38.0	31.0422
42.0	36.4623
46.0	43.0000

Battuta 3

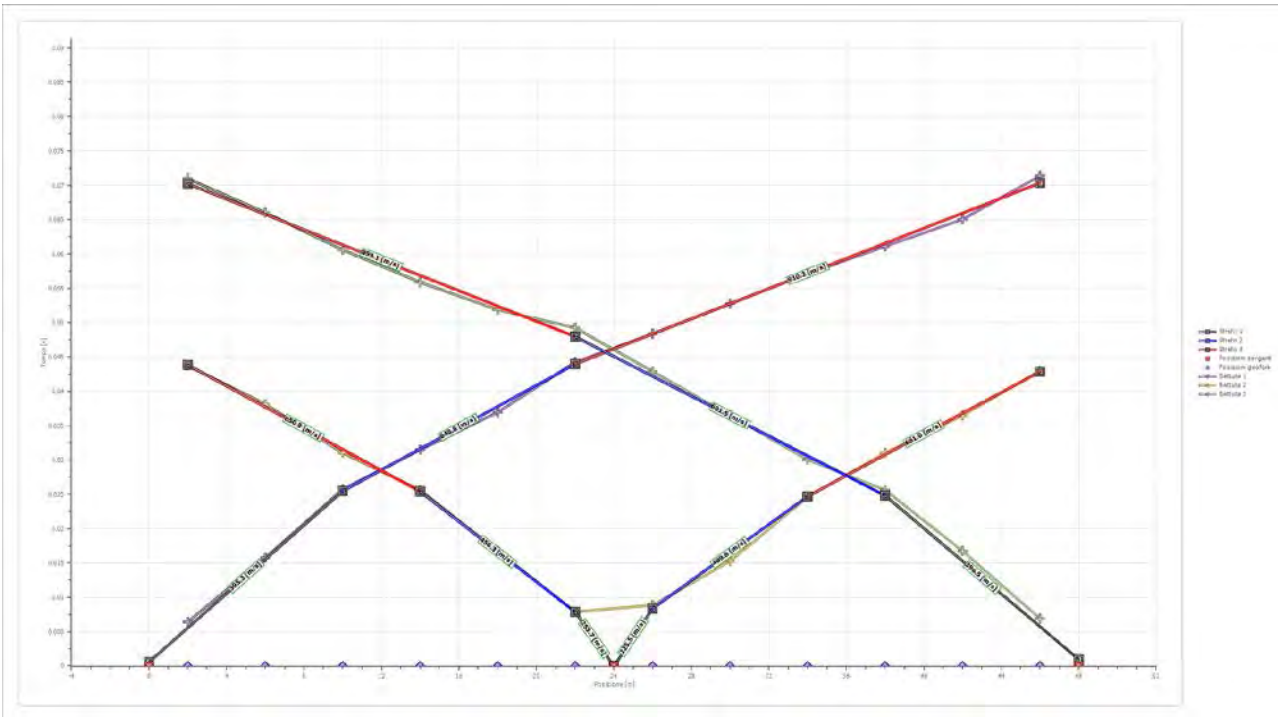
Posizione sorgente X            48 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



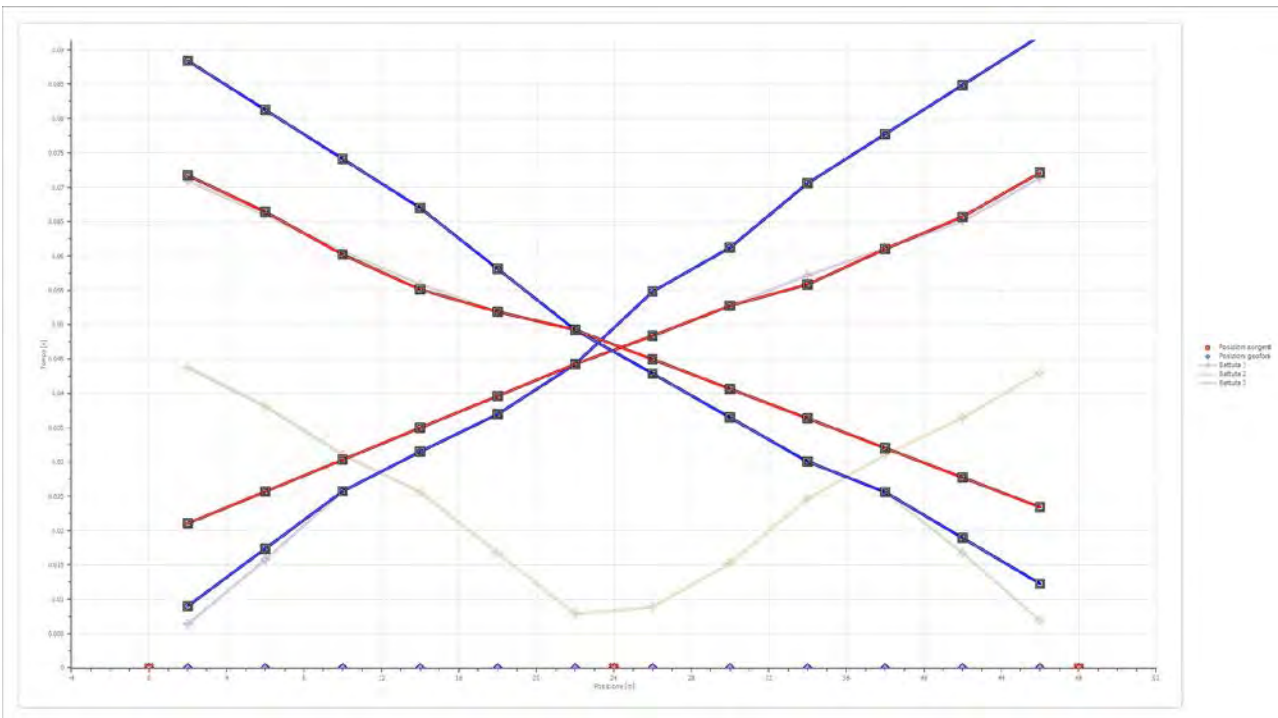
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	70.9537
6.0	66.0264
10.0	60.6063
14.0	55.8750
18.0	51.8750
22.0	49.2500
26.0	42.8750
30.0	36.4623
34.0	30.0568
38.0	25.6222
42.0	16.7530
46.0	6.8983



**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

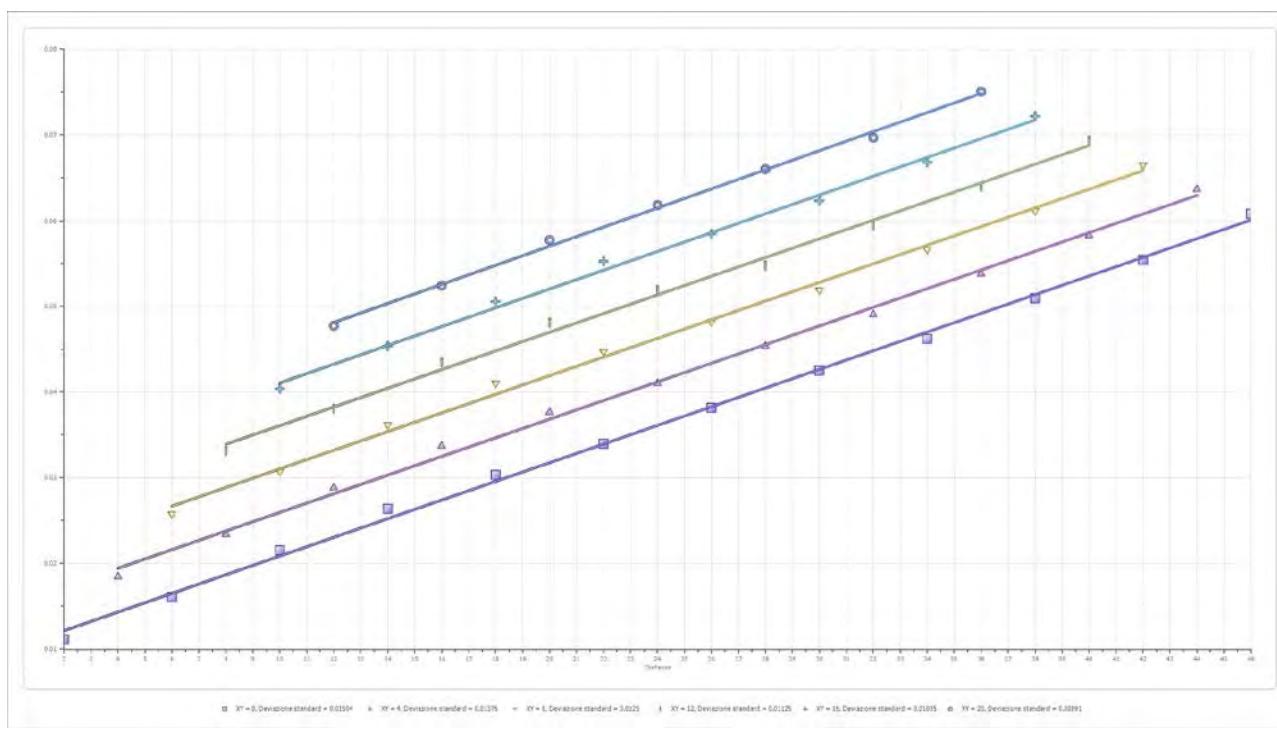
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	1.0	5.8	--
G= 6.0 [m]	1.2	5.3	--
G= 10.0 [m]	1.5	4.5	--
G= 14.0 [m]	1.2	4.7	--
G= 18.0 [m]	0.5	5.8	--
G= 22.0 [m]	0.2	6.8	--
G= 26.0 [m]	1.0	5.9	--
G= 30.0 [m]	1.0	6.0	--
G= 34.0 [m]	1.6	4.9	--
G= 38.0 [m]	2.1	4.7	--
G= 42.0 [m]	2.2	4.7	--
G= 46.0 [m]	2.3	5.4	--
Velocità [m/sec]	317.7	550.3	918.0
Descrizione			

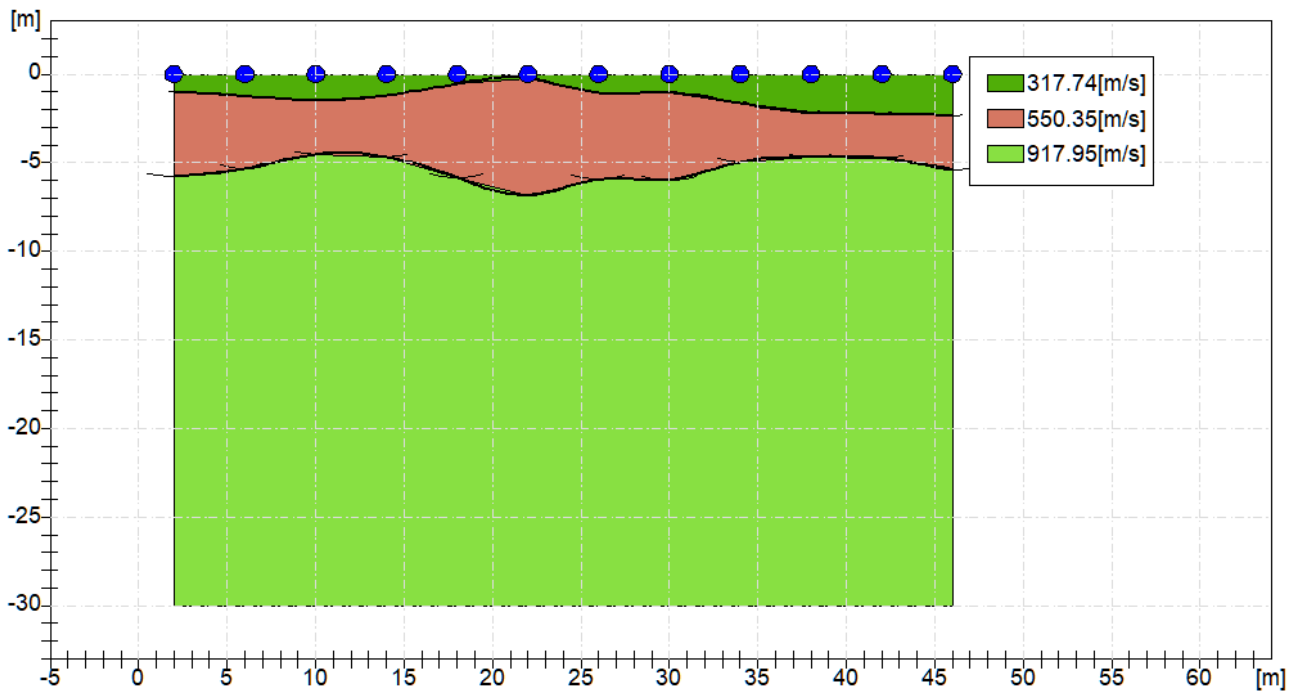
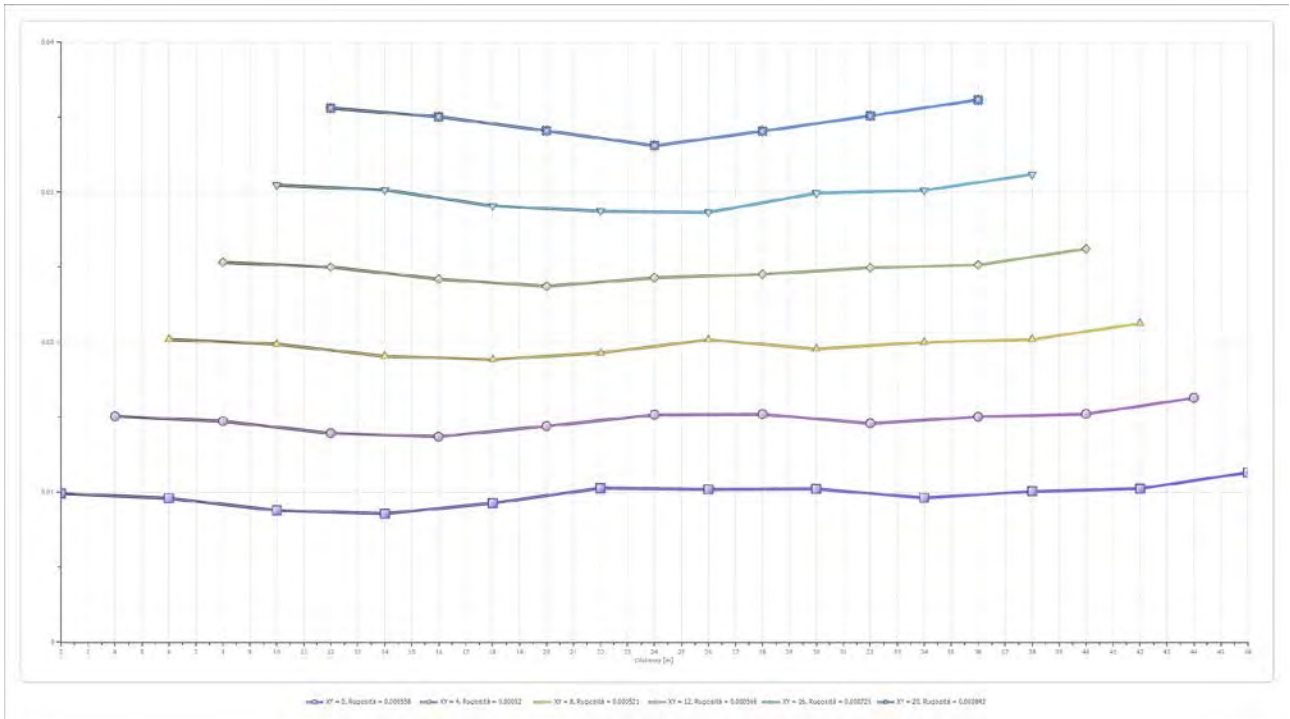
**Altri parametri geotecnici**

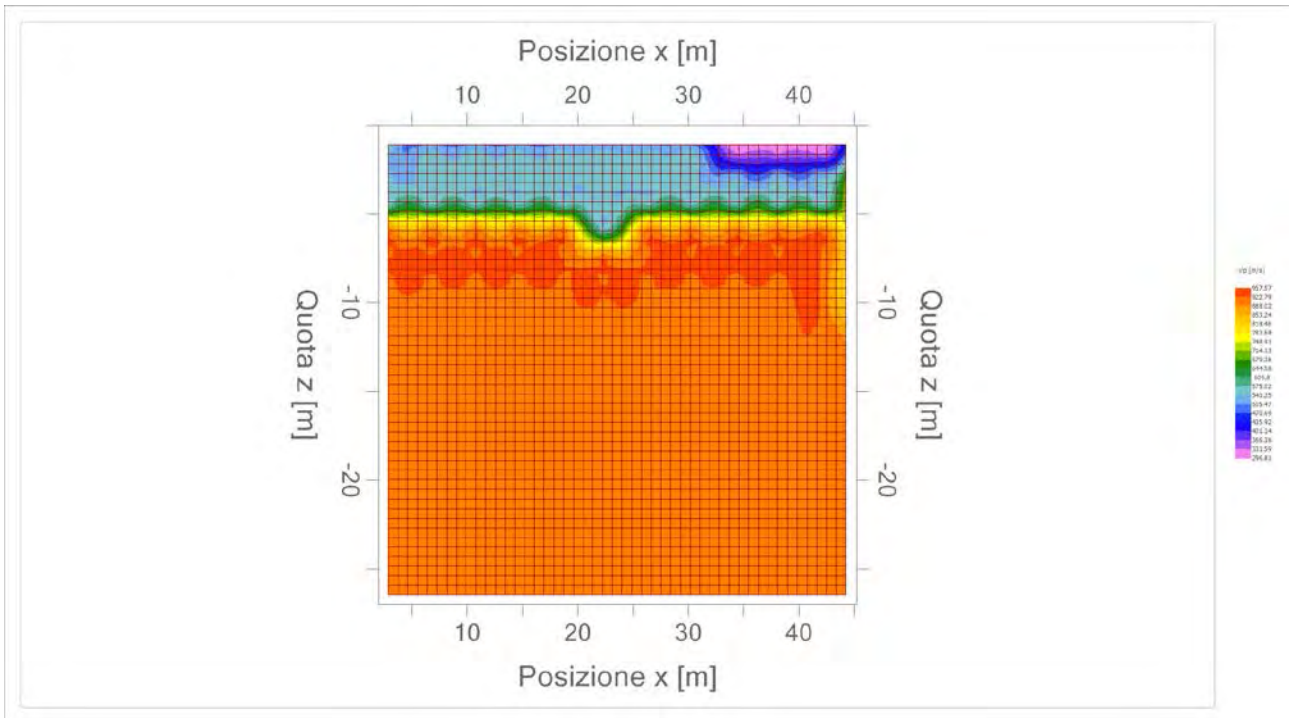
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.39	0.45	0.46
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	317.74	550.35	917.95
Vs [m/s]	134.93	165.94	249.83
G0 [MPa]	30.95	49.56	118.59
Ed [Mpa]	171.63	545.19	1601.01
M0 [MPa]	140.68	495.62	1482.41
Ey [Mpa]	86.04	143.73	346.29

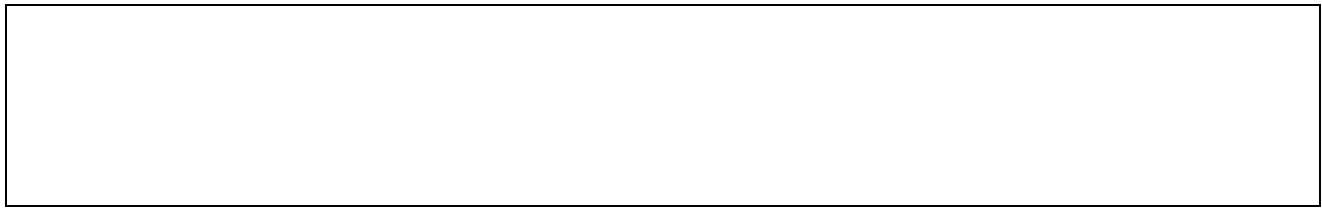
G0: Modulo di deformazione al taglio;  
 Ed: Modulo edometrico;  
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
 Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA  
 STUDIO DI GEOLOGIA - via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gmail.com, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711







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

**SIS 9**

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione</b>	

### 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

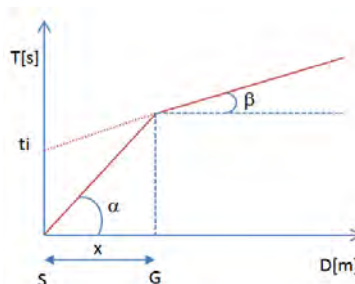
$$T = x_i / V_1$$

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

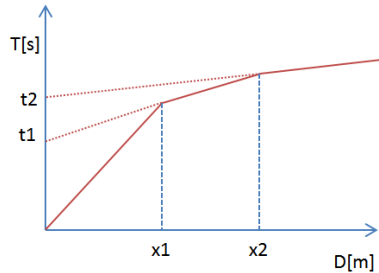
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

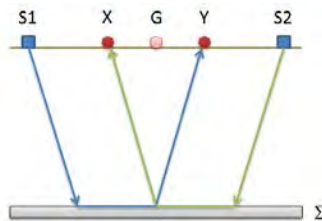


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

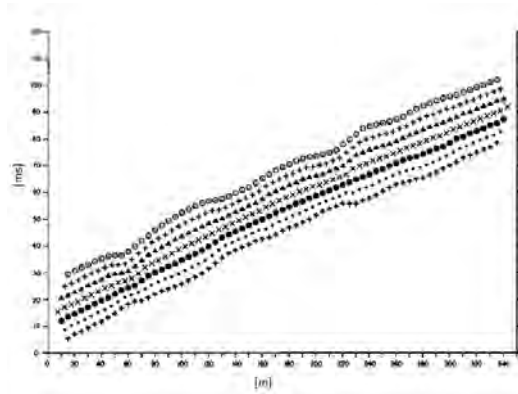
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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



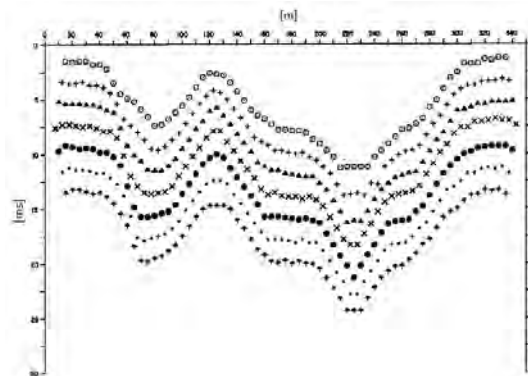
dove  $T_{S1Y}$  e  $T_{S2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S1S2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_V$  è il tempo 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:

$$T_G = \frac{T_{S1Y} + T_{S2X} - \left( T_{S1S2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

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 9  
Committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Zona BORGO TAVERNOLA  
Operatore GEOL. DI LELLA NAZARIO  
Responsabile GEOL. DI LELLA NAZARIO  
Data 17/05/2021  
Via LOC. POSTA DA PIEDE - VIGNA CROCE  
Latitudine 15,669623[°]  
Longitudine 41,495561[°]  
Altitudine 37[m]

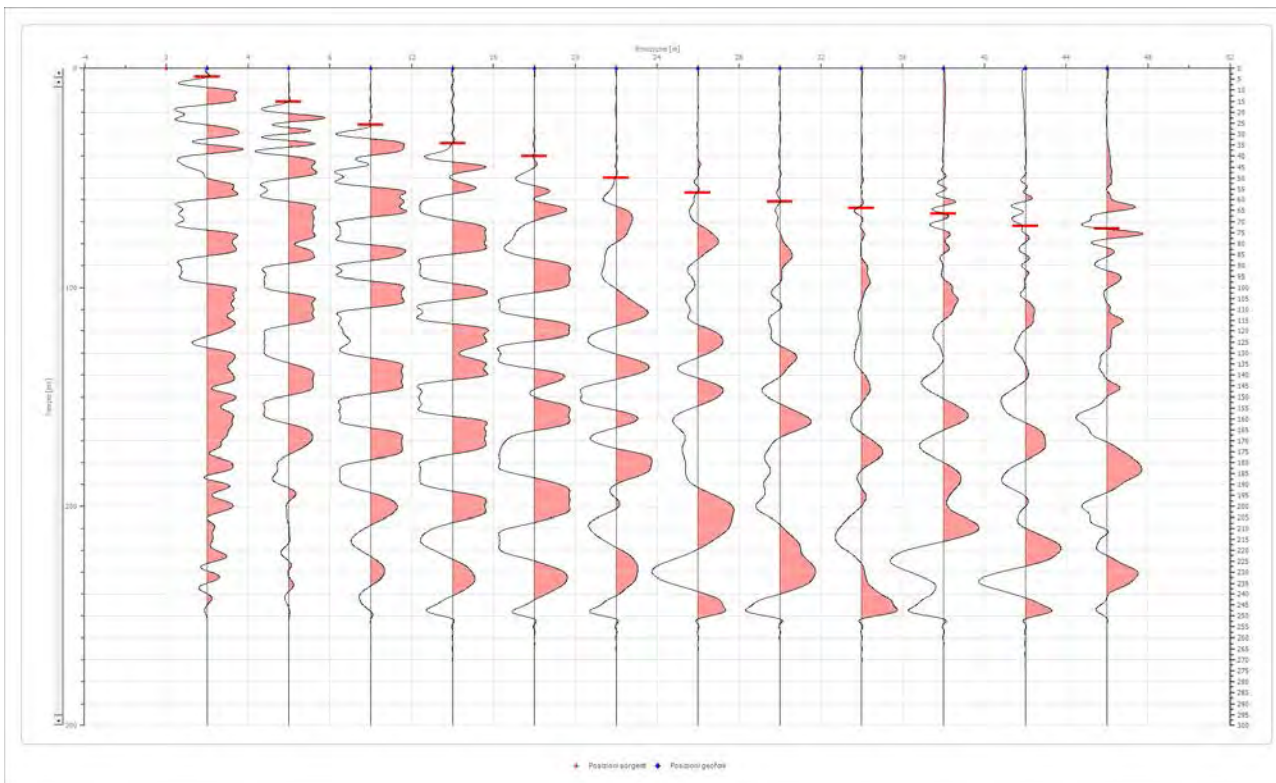
### Geometria geofoni

	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

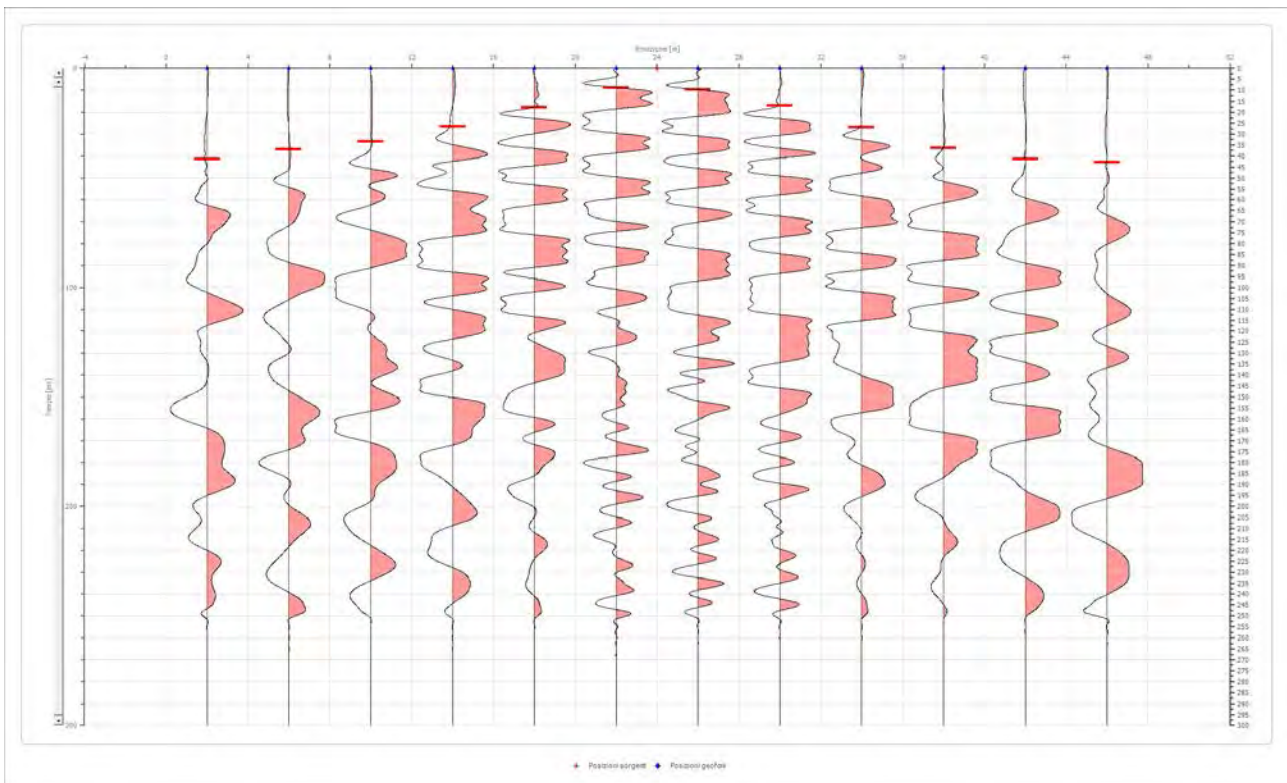
Posizione sorgente X            0 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	3.8424
6.0	15.0739
10.0	25.7143
14.0	34.2857
18.0	40.1970
22.0	49.8750
26.0	56.7488
30.0	60.8867
34.0	63.8424
38.0	66.5025
42.0	71.8227
46.0	73.0049

Battuta 2

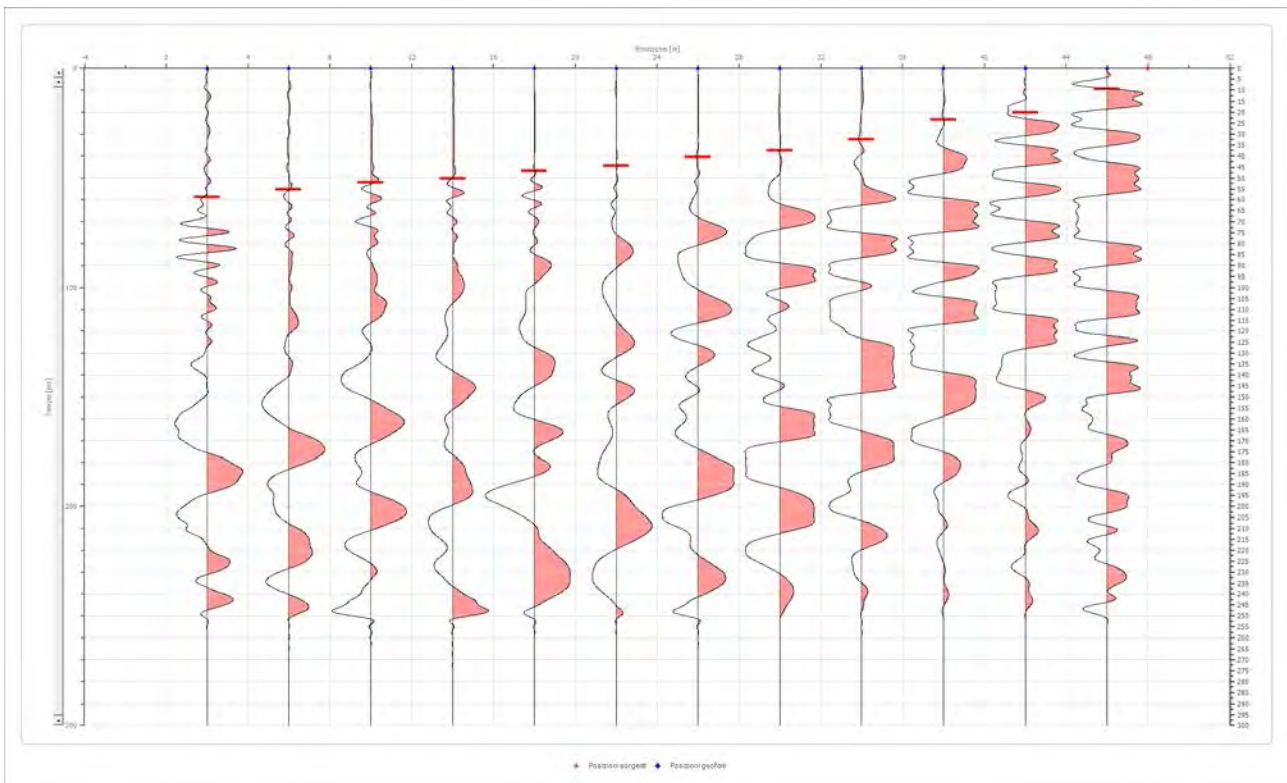
Posizione sorgente X            24 [m]  
 Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	41.3793
6.0	36.9458
10.0	33.3990
14.0	26.6010
18.0	17.7340
22.0	8.8670
26.0	9.7537
30.0	16.8473
34.0	27.0000
38.0	36.3547
42.0	41.3793
46.0	42.8571

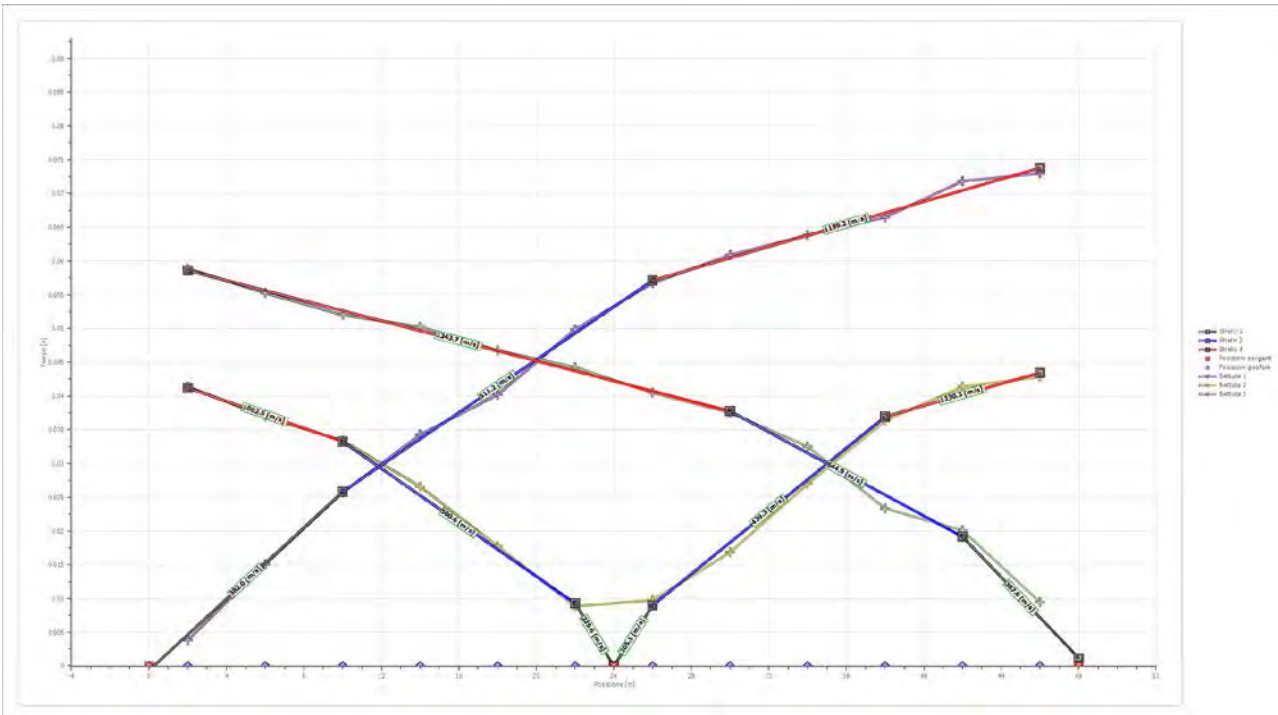
Battuta 3

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

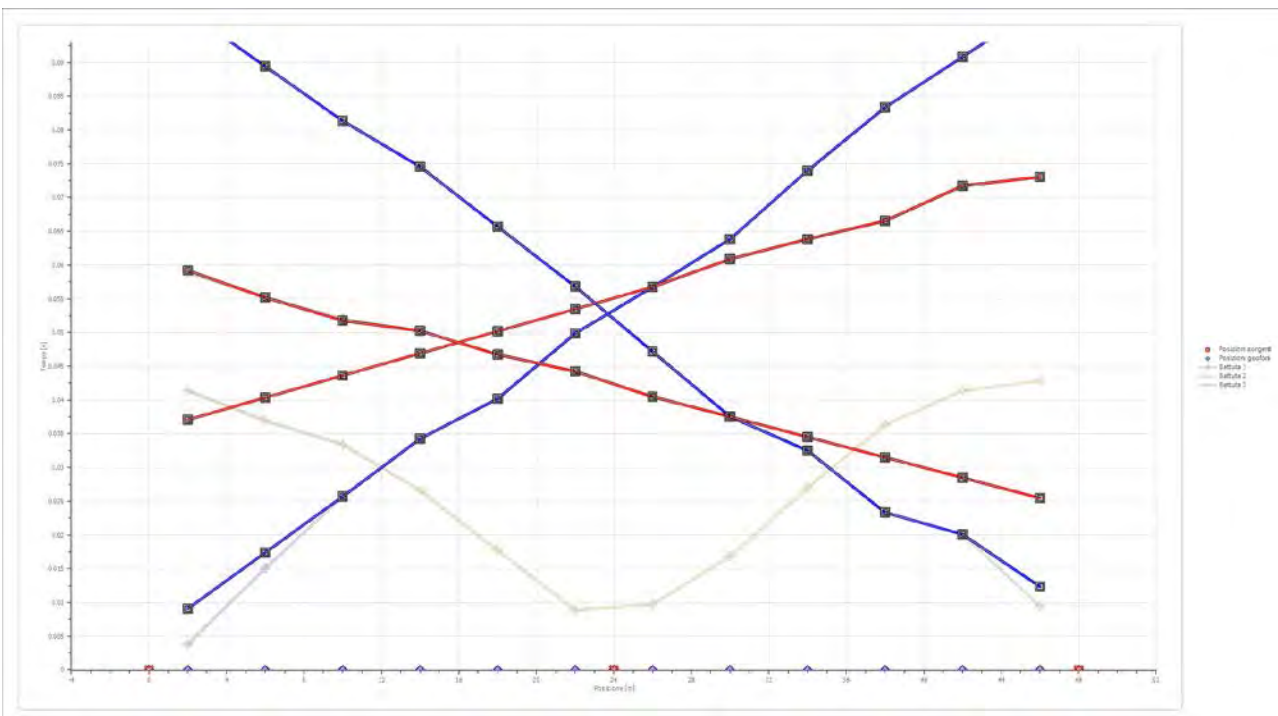


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	58.8750
6.0	55.2709
10.0	52.0197
14.0	50.2463
18.0	46.7500
22.0	44.2500
26.0	40.4926
30.0	37.5369
34.0	32.5123
38.0	23.3498
42.0	20.0985
46.0	9.4581

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

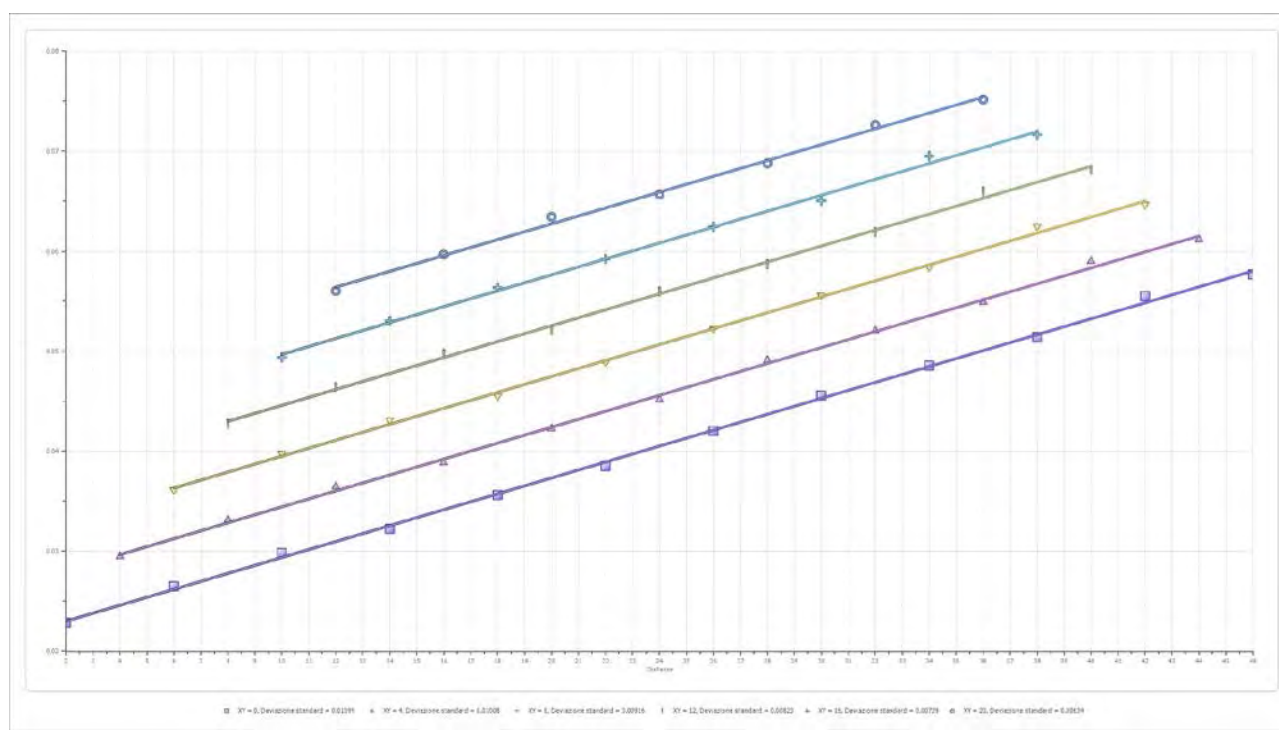
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	0.8	7.0	--
G= 6.0 [m]	0.9	6.8	--
G= 10.0 [m]	0.9	6.7	--
G= 14.0 [m]	1.2	6.9	--
G= 18.0 [m]	0.7	7.3	--
G= 22.0 [m]	0.8	7.4	--
G= 26.0 [m]	0.4	7.7	--
G= 30.0 [m]	0.0	8.3	--
G= 34.0 [m]	0.8	7.6	--
G= 38.0 [m]	0.8	7.5	--
G= 42.0 [m]	1.6	7.4	--
G= 46.0 [m]	1.5	7.0	--
Velocità [m/sec]	280.1	498.1	1256.2
Descrizione			

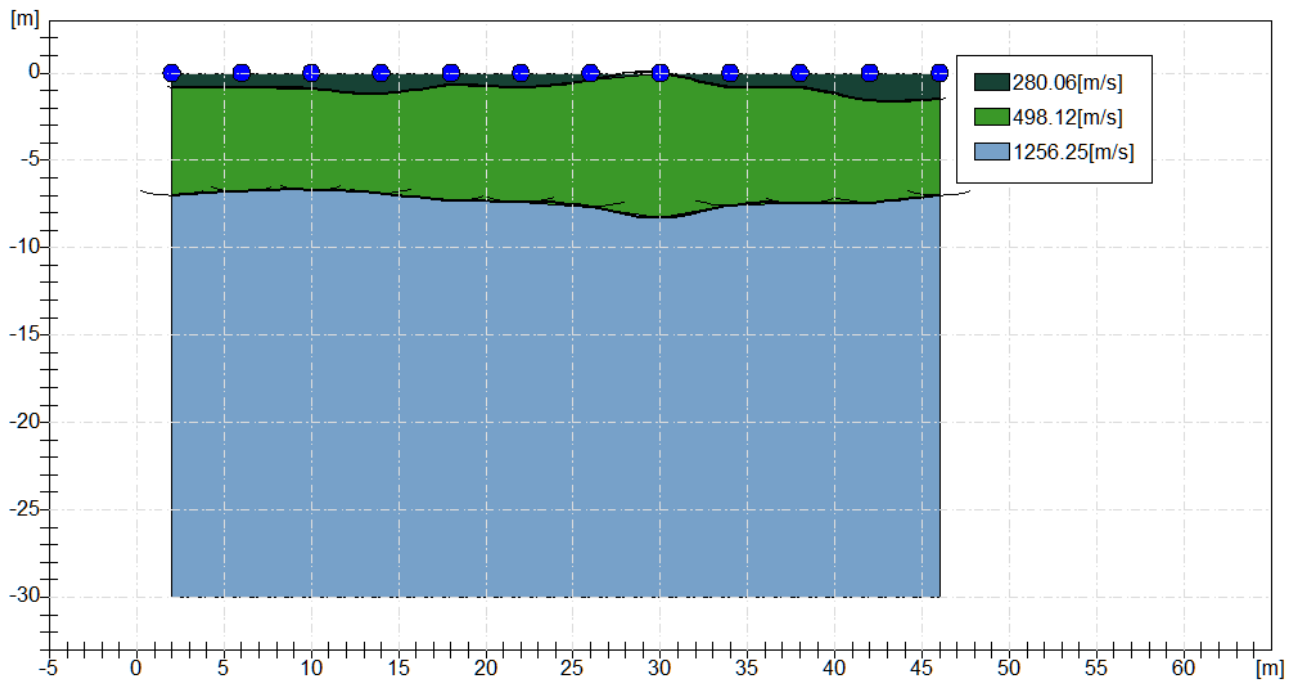
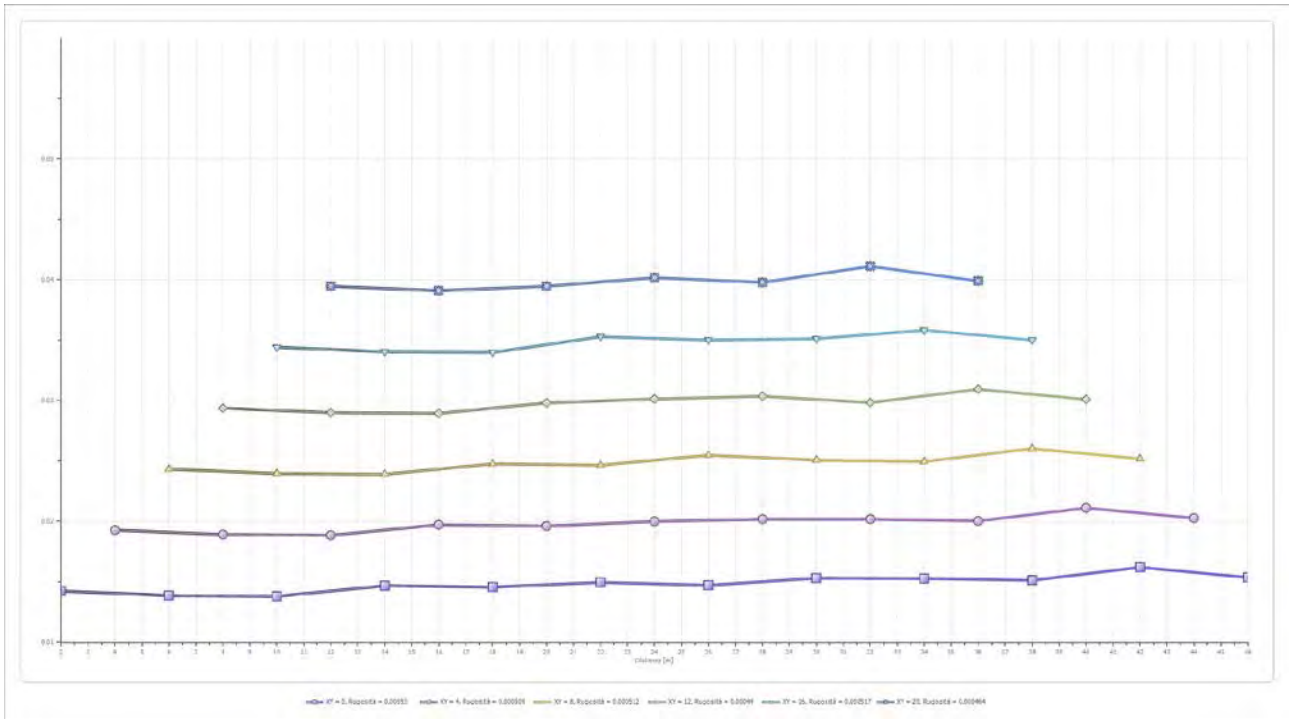
**Altri parametri geotecnici**

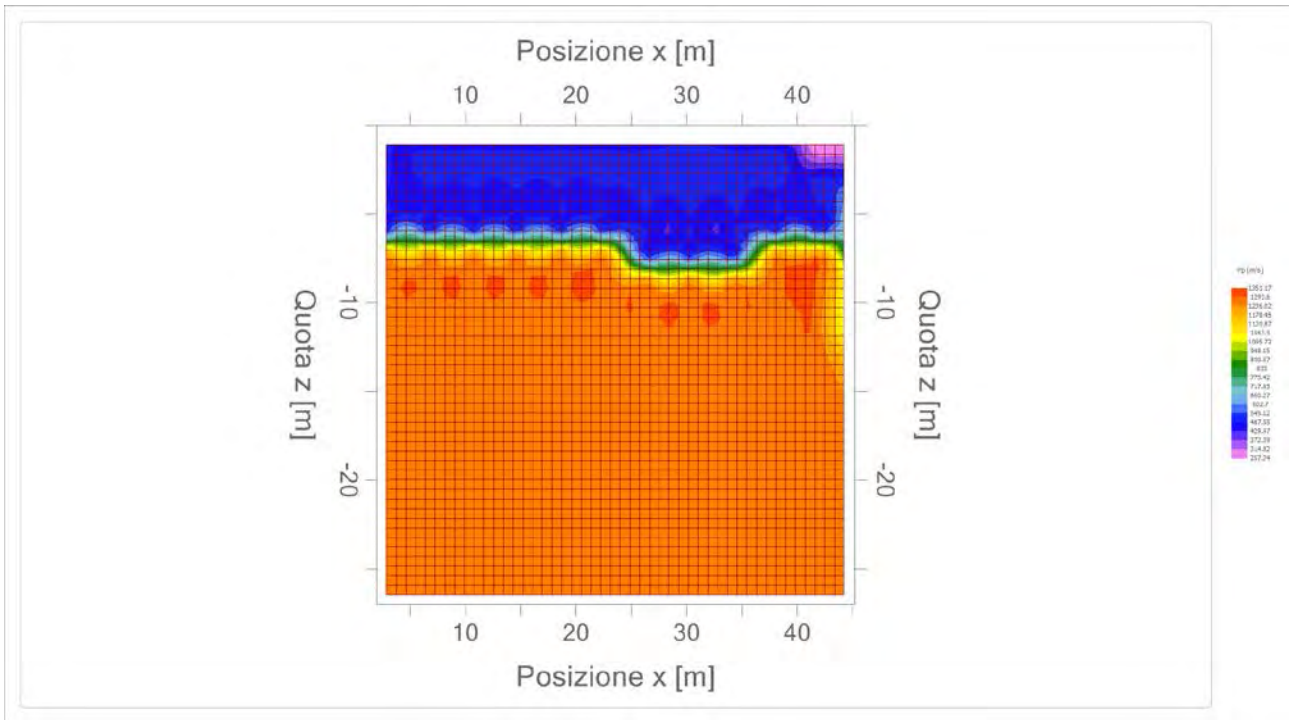
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.39	0.45	0.46
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	280.06	498.12	1256.25
Vs [m/s]	118.93	150.19	341.91
G0 [MPa]	24.04	40.60	222.11
Ed [Mpa]	133.33	446.63	2998.49
M0 [MPa]	109.29	406.03	2776.38
Ey [Mpa]	66.84	117.75	648.56

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

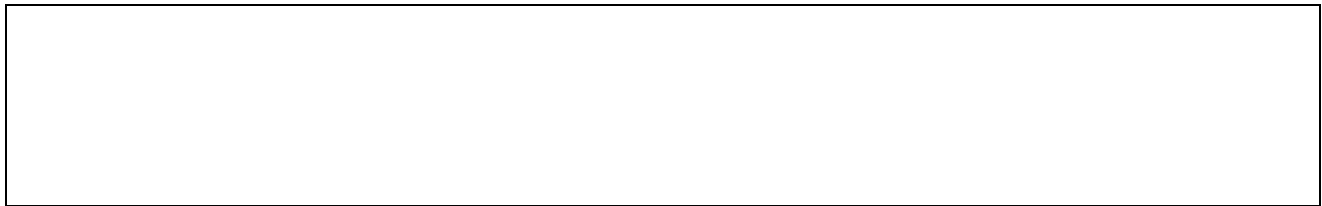


Geol. Nazario DI LELLA  
 STUDIO DI GEOLOGIA - via Ripalta 21/A, 71010, Lesina, (FG) - Tel.0882.218822, Tel.328.3250902, Fax:0882.218822,  
 e-mail:geol.dilella@gmail.com, - C.F.DLLNZR64L011054R, P.Iva.02101530711










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

MASW 1

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	

## 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:

$$v = \lambda \times \nu$$

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

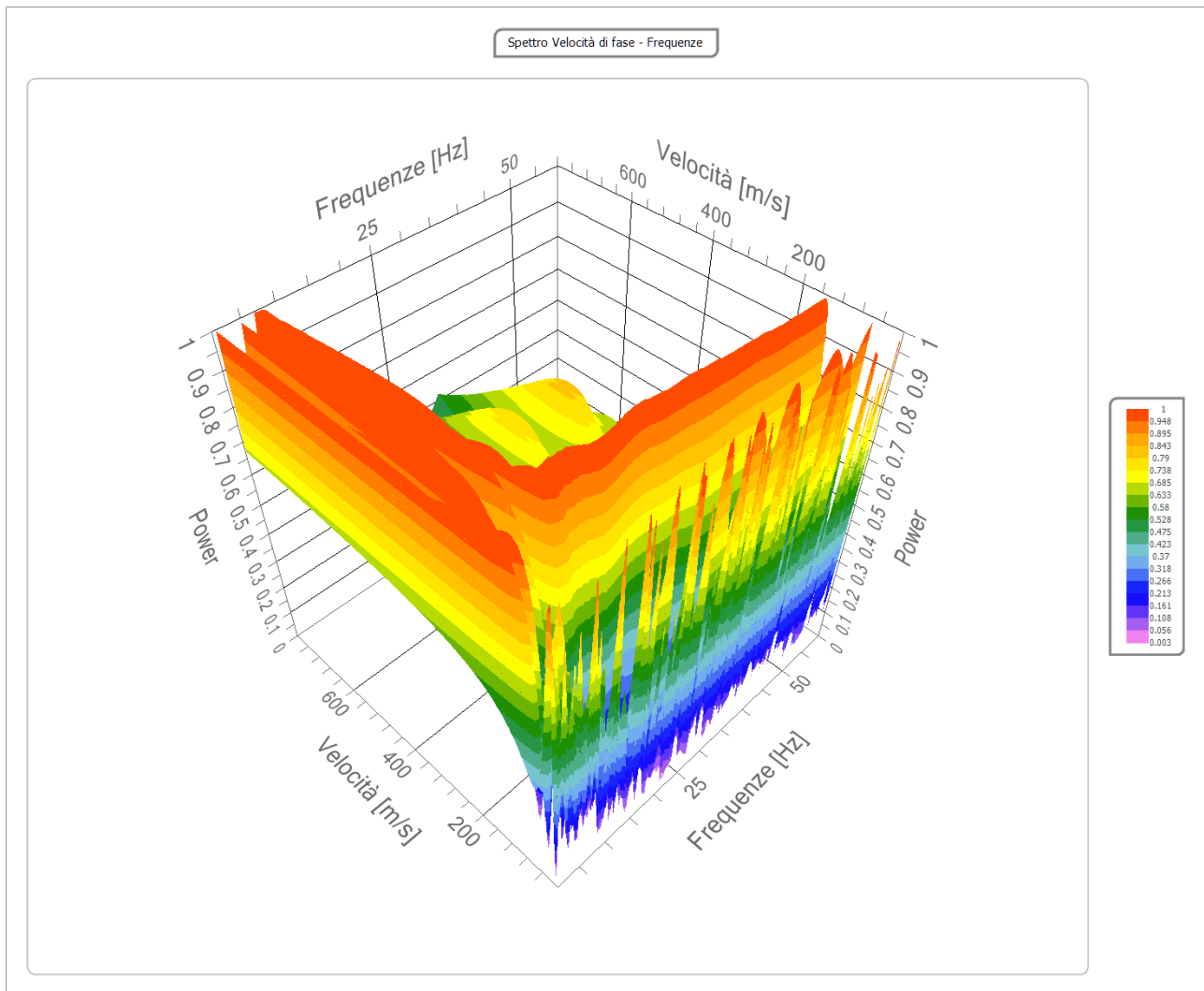
<b>Committente</b>	OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.
<b>Cantiere</b>	OPDE TAVOLIERE 2
<b>Località</b>	BORGO TAVERNOLA
<b>Operatore</b>	Dott.Nazario Di Lella
<b>Responsabile</b>	Dott. Nazario Di Lella
<b>Zona</b>	BORGO TAVERNOLA
<b>Data</b>	17/05/2021 10:34
<b>Latitudine</b>	15.6551
<b>Longitudine</b>	41.5007

## Tracce

<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1500.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

## Analisi spettrale

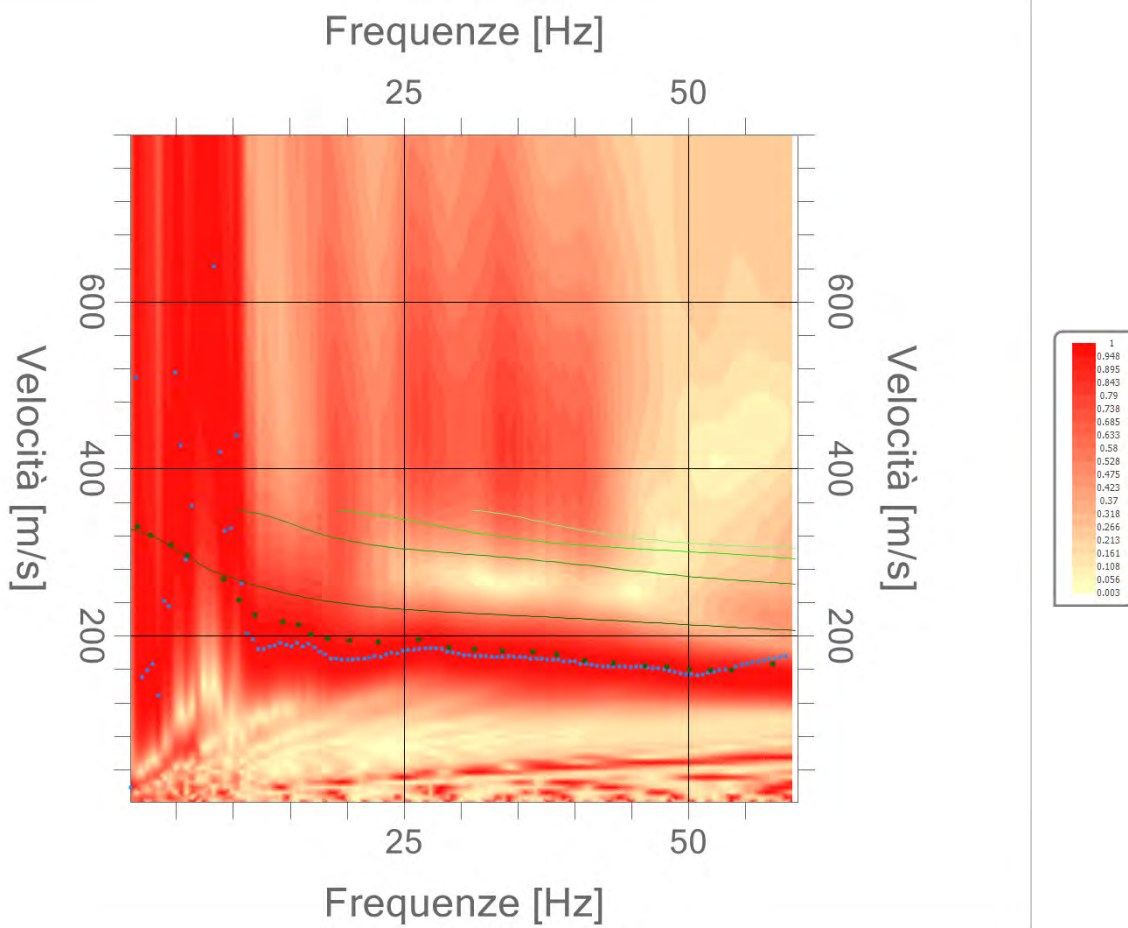
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	1.6	331.0	0
2	2.7	320.2	0
3	4.6	308.3	0
4	6.0	296.4	0
5	9.1	268.4	0
6	10.6	242.5	0
7	11.9	225.3	0
8	14.3	216.7	0
9	15.8	213.4	0
10	16.9	201.6	0
11	18.3	196.2	0
12	20.2	194.0	0
13	22.8	192.9	0
14	26.3	195.1	0
15	29.0	186.5	0
16	31.2	184.3	0
17	33.7	182.1	0
18	36.4	181.1	0
19	38.4	177.8	0
20	40.9	170.3	0
21	43.4	167.1	0
22	46.2	163.8	0
23	48.1	162.7	0
24	50.1	159.5	0
25	52.0	158.4	0
26	53.8	158.4	0
27	57.5	166.0	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



### Inversione

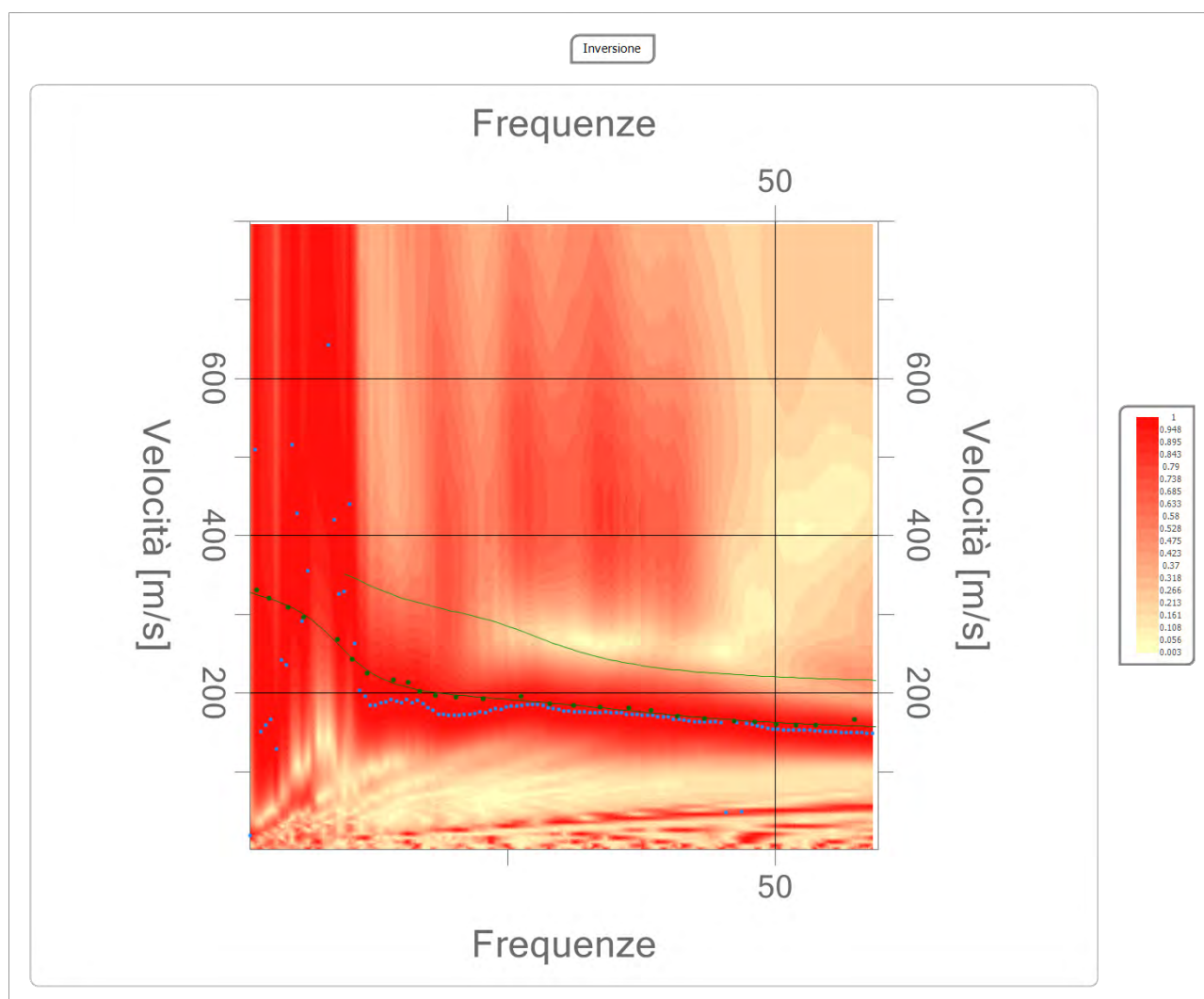
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.73	1.73	1750.0	0.4	No	377.2	160.2
2		8.84	7.11	1850.0	0.5	No	719.2	216.9
3		19.59	10.75	1900.0	0.5	No	1173.1	319.3
4		oo	oo	1950.0	0.5	No	1288.7	350.7

Percentuale di errore

0.028 %

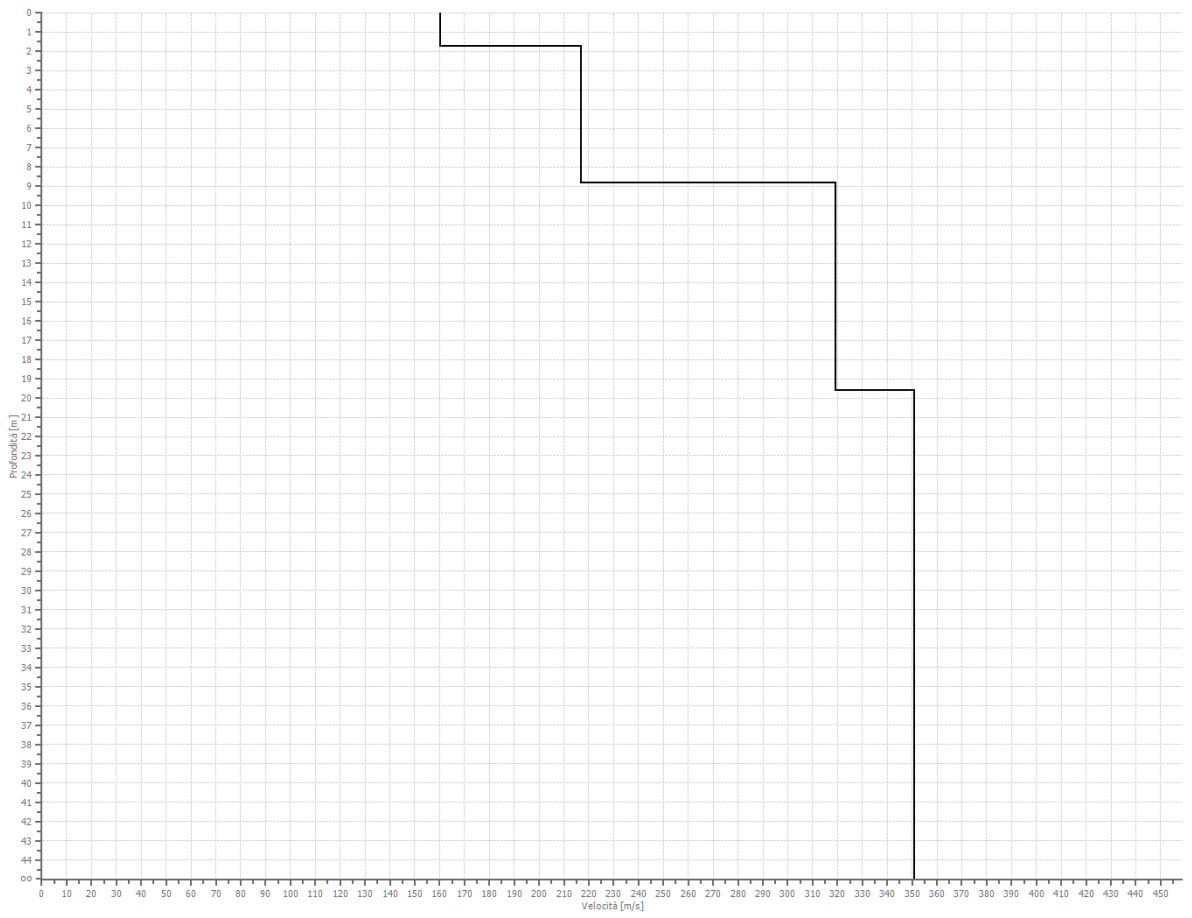
Fattore di disadattamento della soluzione

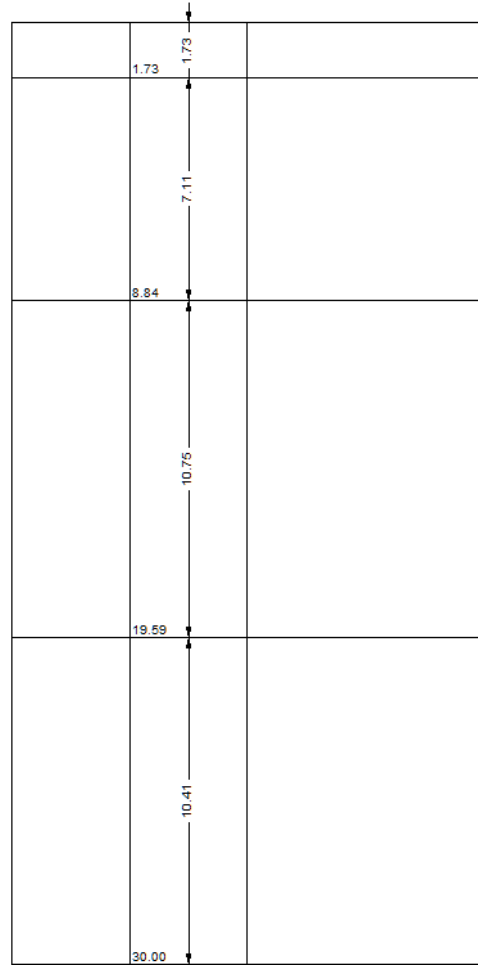
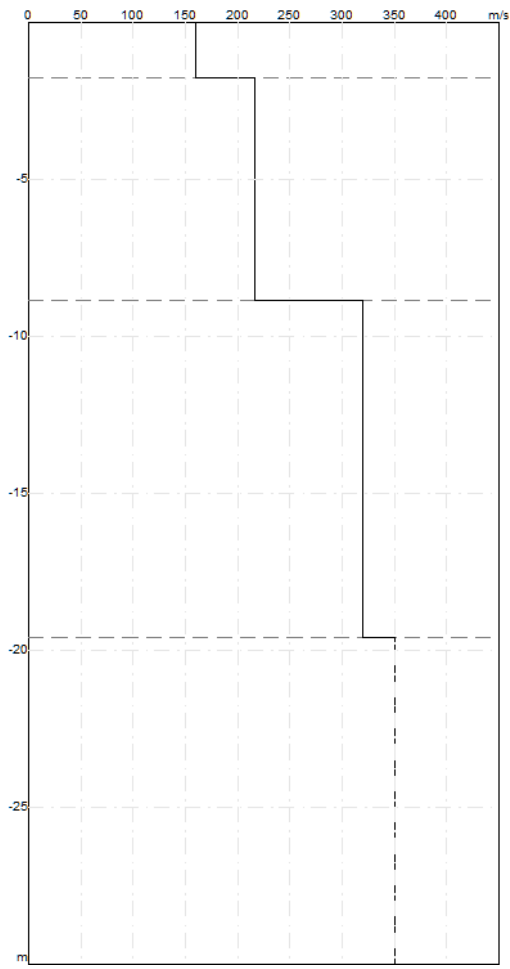
0.017





Profilo di velocità





## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	280.56
<b>Categoria del suolo</b>	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  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

## Altri parametri geotecnici

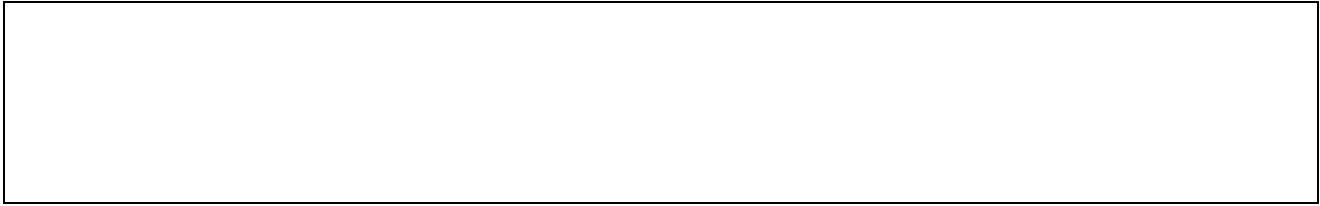
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.73	1.73	160.17	377.18	1700.00	0.39	43.61	241.85	183.70	121.24	N/A	249.12
2	8.84	7.11	216.86	719.24	1800.00	0.45	84.65	931.14	818.28	245.48	N/A	1142.08
3	19.59	10.75	319.28	1173.12	1850.00	0.46	188.59	2545.97	2294.52	550.68	N/A	N/A
4	oo	oo	350.74	1288.71	1900.00	0.46	233.74	3155.49	2843.84	682.52	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



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

MASW 2

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	

## 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:

$$v = \lambda \times \nu$$

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.

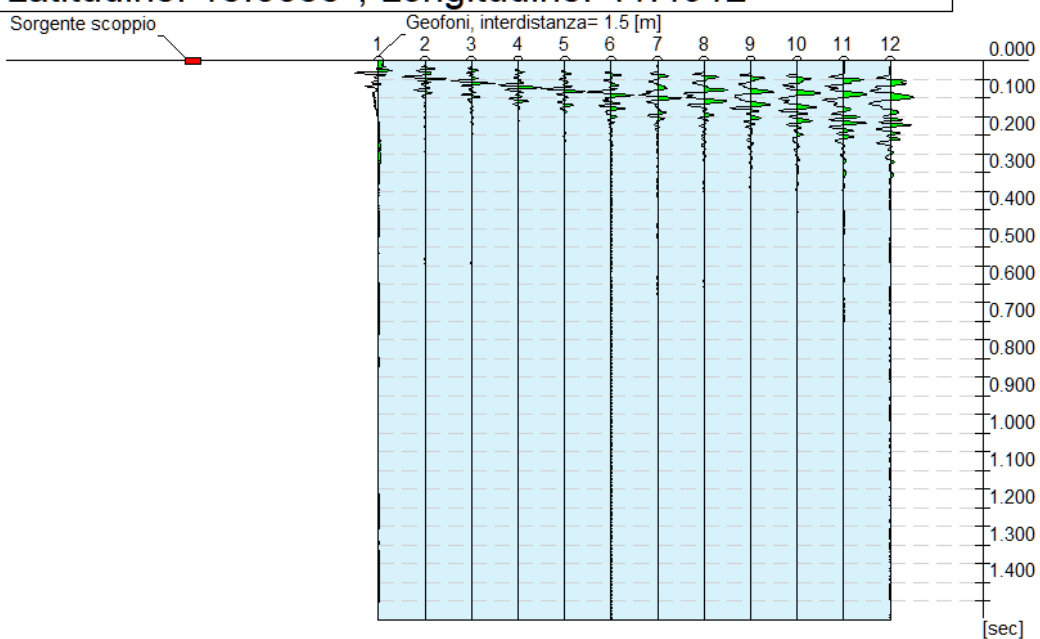
### Dati generali

<b>Committente</b>	OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.
<b>Cantiere</b>	OPDE TAVOLIERE 2
<b>Località</b>	BORGO TAVERNOLA
<b>Operatore</b>	Dott.Nazario Di Lella
<b>Responsabile</b>	Dott. Nazario Di Lella
<b>Zona</b>	BORGO TAVERNOLA
<b>Data</b>	17/05/2021 10:34
<b>Latitudine</b>	15.6655
<b>Longitudine</b>	41.4912

## Tracce

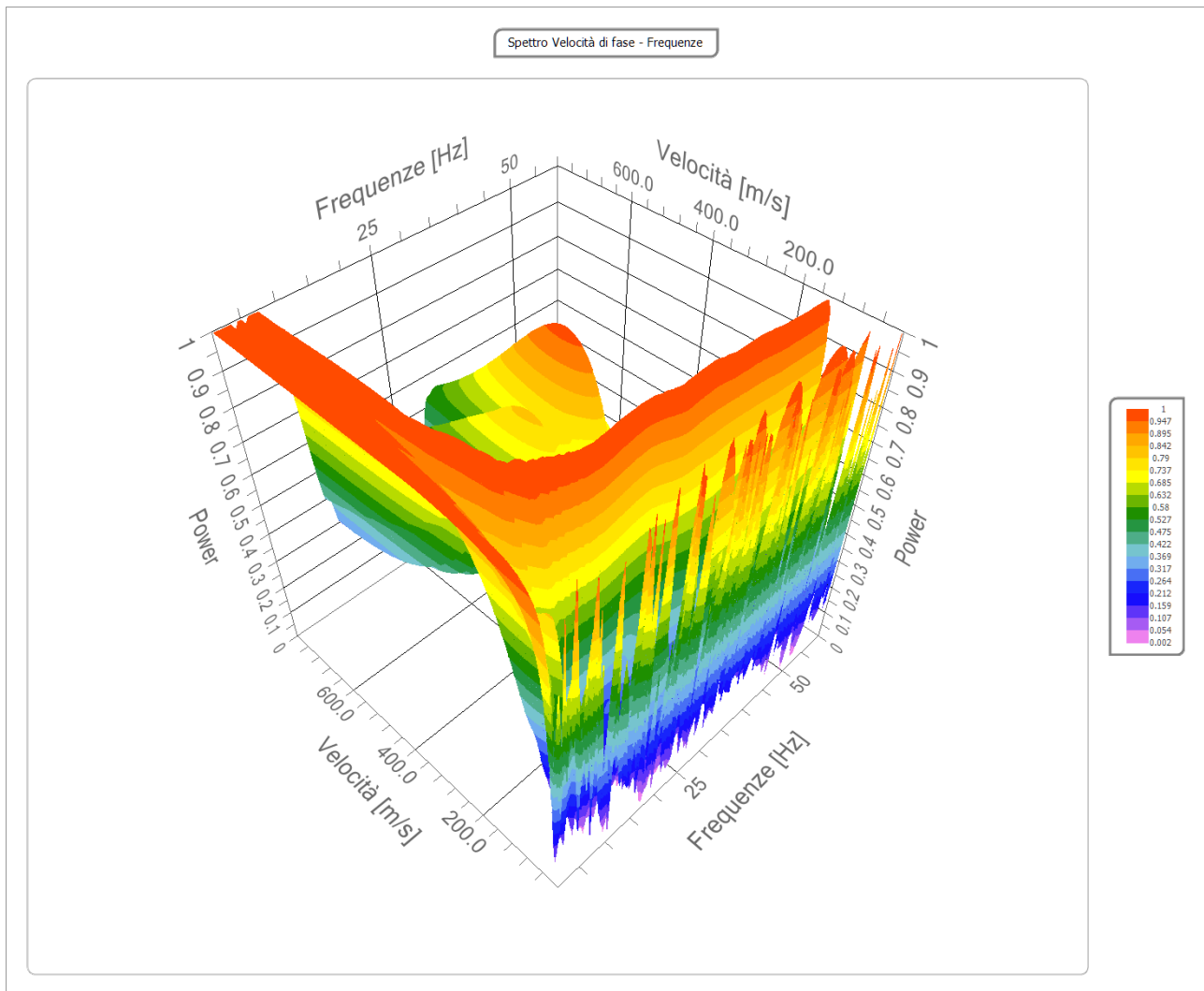
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1500.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

Committente: OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Cantiere: OPDE TAVOLIERE 2  
Località: BORGO TAVERNOLA  
Operatore: Dott. Nazario Di Lella  
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella  
Data: 17/05/2021  
Latitudine: 15.6655°, Longitudine: 41.4912°



## Analisi spettrale

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

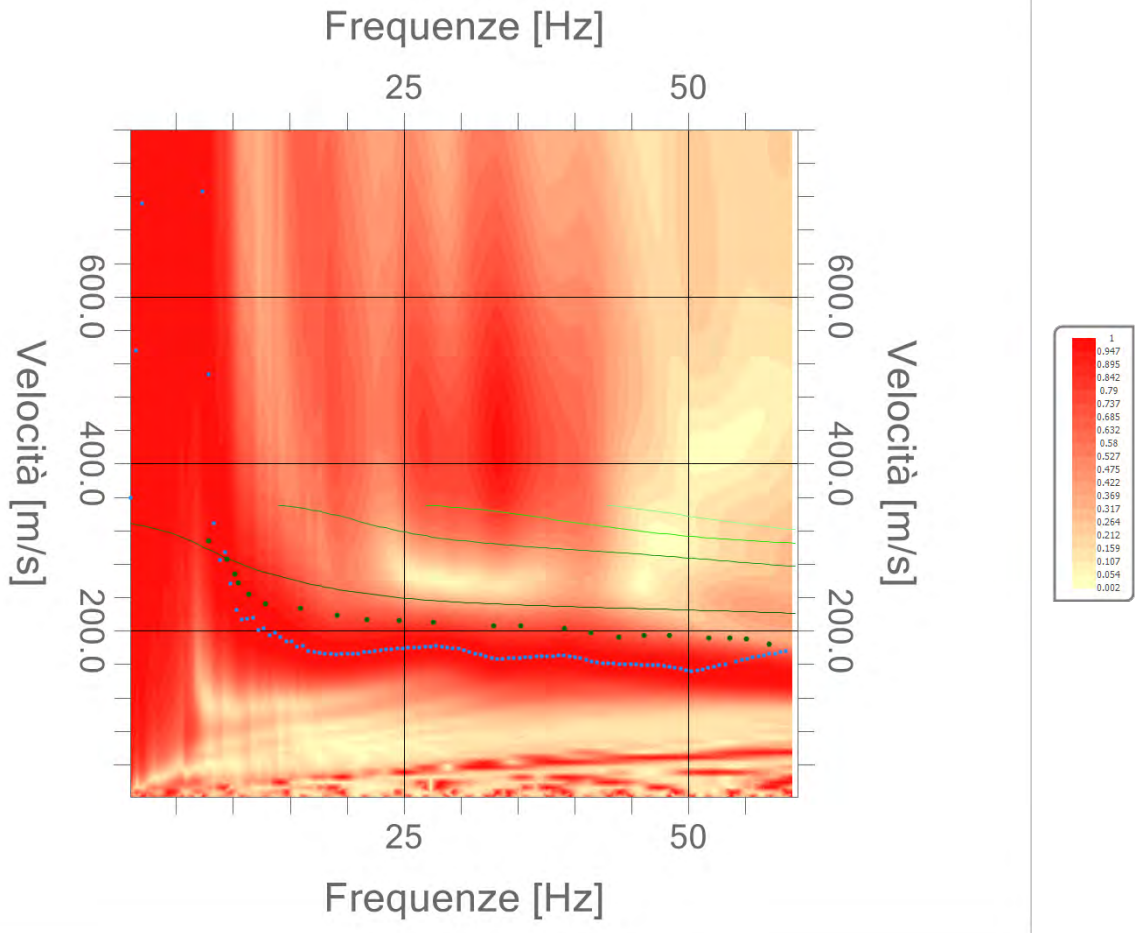




### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	7.9	307.2	0
2	9.4	285.7	0
3	10.2	268.4	0
4	10.5	257.6	0
5	11.4	243.6	0
6	12.8	231.8	0
7	15.9	227.4	0
8	19.2	218.8	0
9	21.8	213.4	0
10	24.6	212.3	0
11	27.6	210.2	0
12	32.9	205.9	0
13	35.3	205.9	0
14	39.1	202.6	0
15	41.4	197.2	0
16	43.9	192.9	0
17	46.2	194.0	0
18	48.4	194.0	0
19	51.9	191.9	0
20	53.7	191.9	0
21	55.1	190.8	0
22	57.1	184.3	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



## Inversione

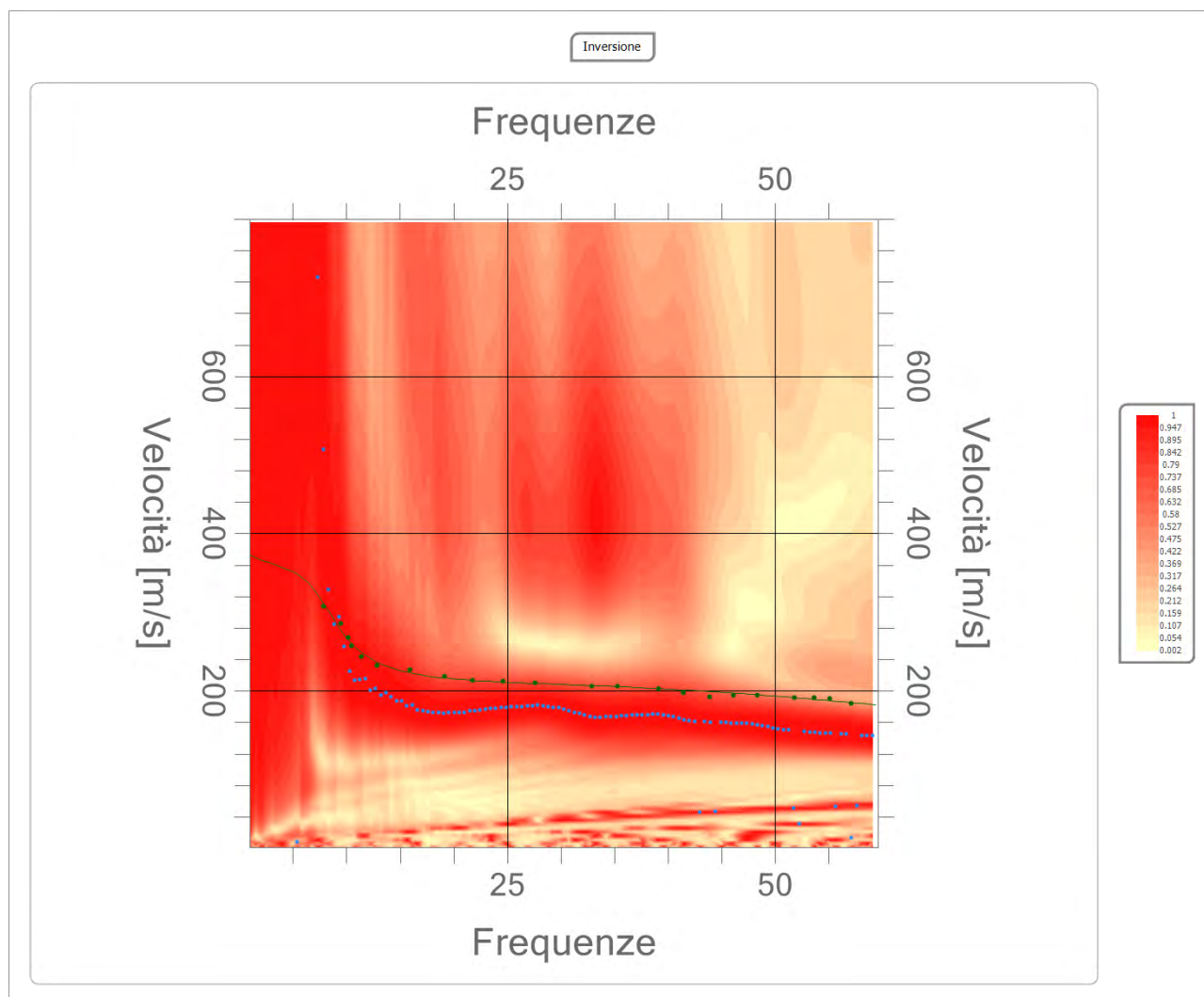
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.11	1.11	1750.0	0.4	No	379.6	161.2
2		8.78	7.67	1850.0	0.5	No	768.7	231.8
3		15.05	6.27	1900.0	0.5	No	1104.8	300.7
4		oo	oo	1950.0	0.5	No	1466.2	399.1

Percentuale di errore

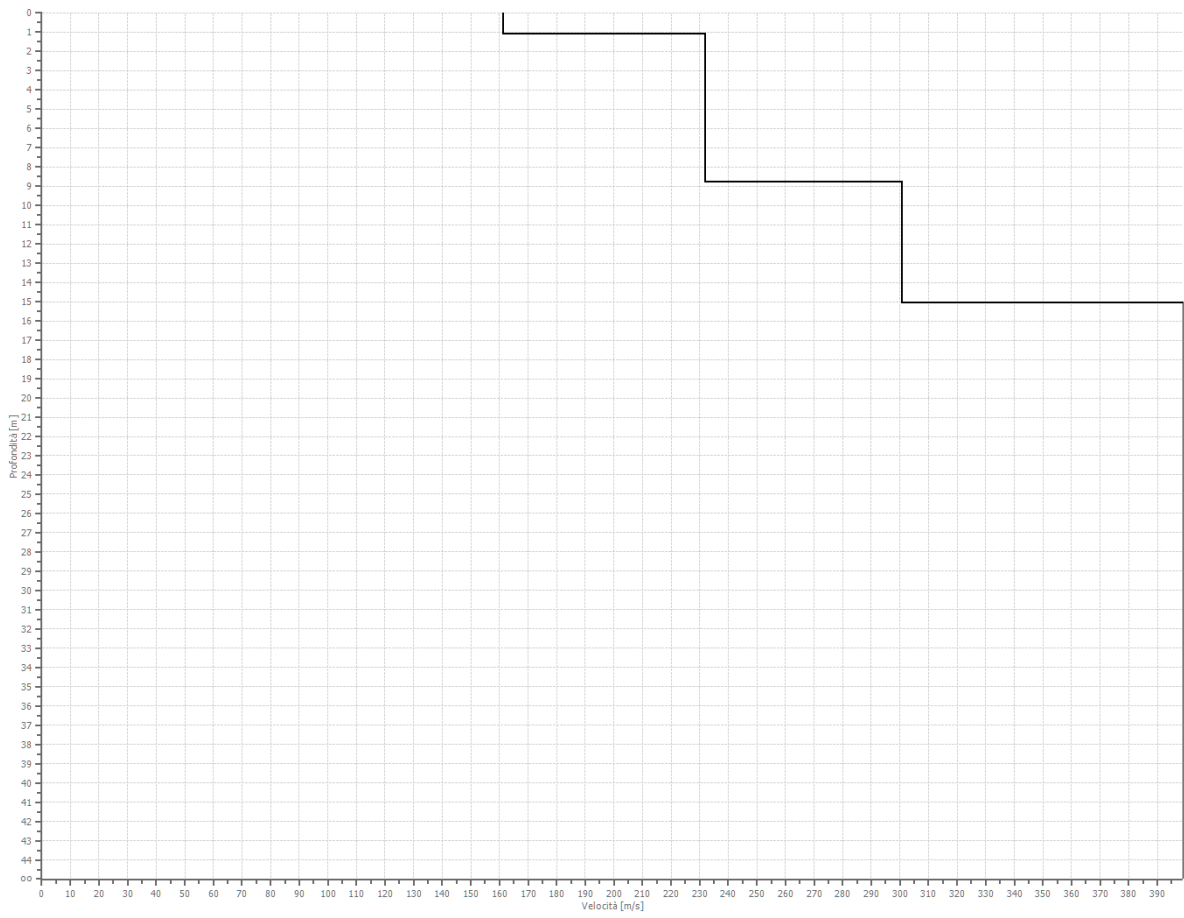
0.024 %

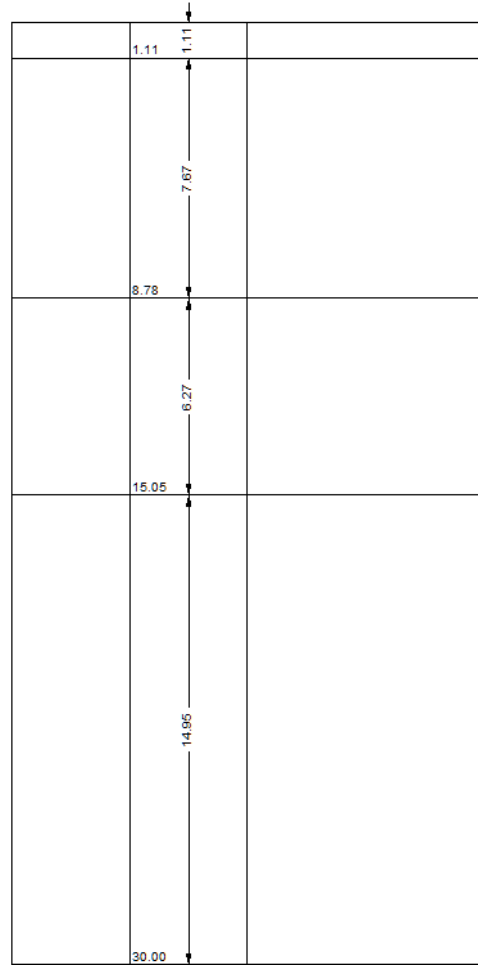
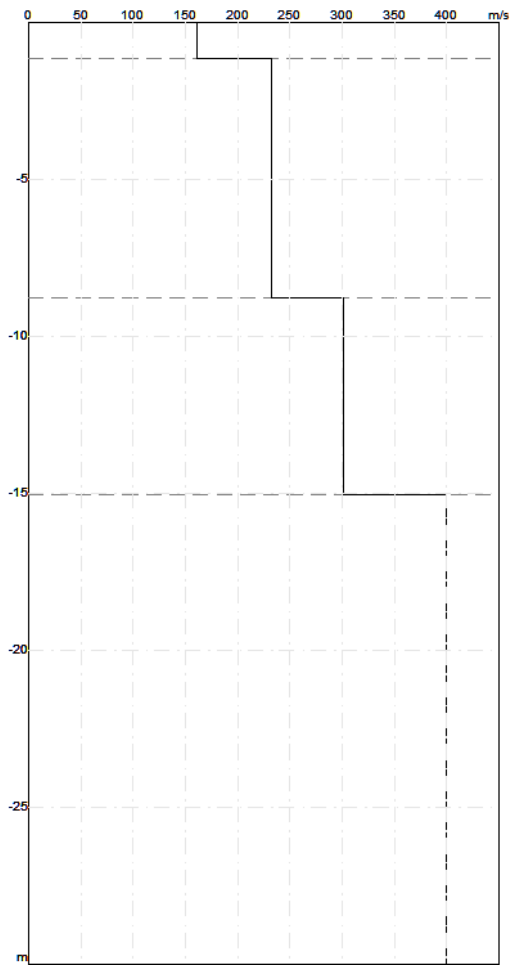
Fattore di disadattamento della soluzione

0.015



Profilo di velocità





## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	305.22
<b>Categoria del suolo</b>	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  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

## Altri parametri geotecnici

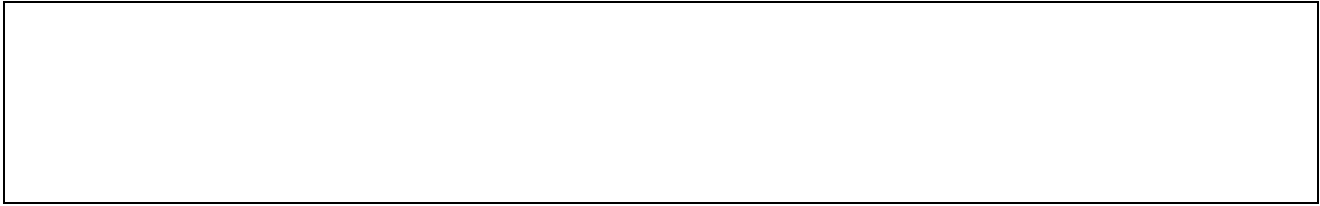
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.11	1.11	161.19	379.58	1700.00	0.39	44.17	244.94	186.04	122.79	N/A	257.18
2	8.78	7.67	231.77	768.69	1800.00	0.45	96.69	1063.60	934.68	280.40	N/A	1595.24
3	15.05	6.27	300.69	1104.79	1850.00	0.46	167.26	2258.04	2035.02	488.41	N/A	N/A
4	oo	oo	399.05	1466.22	1900.00	0.46	302.56	4084.60	3681.18	883.48	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;


M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



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

MASW 4

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	

### 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.



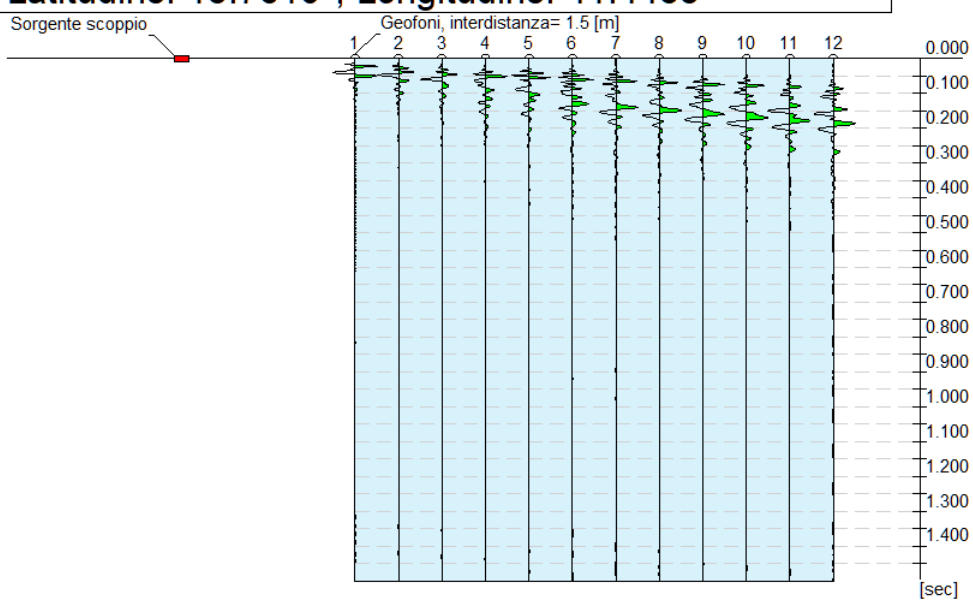
### Dati generali

<b>Committente</b>	OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.
<b>Cantiere</b>	OPDE TAVOLIERE 1-2
<b>Località</b>	PANETTERIA DEL CONTE
<b>Operatore</b>	Dott.Nazario Di Lella
<b>Responsabile</b>	Dott. Nazario Di Lella
<b>Zona</b>	LOC. PANETTERIA DEL CONTE
<b>Data</b>	17/05/2021 12:34
<b>Latitudine</b>	15.7610
<b>Longitudine</b>	41.4485

## Tracce

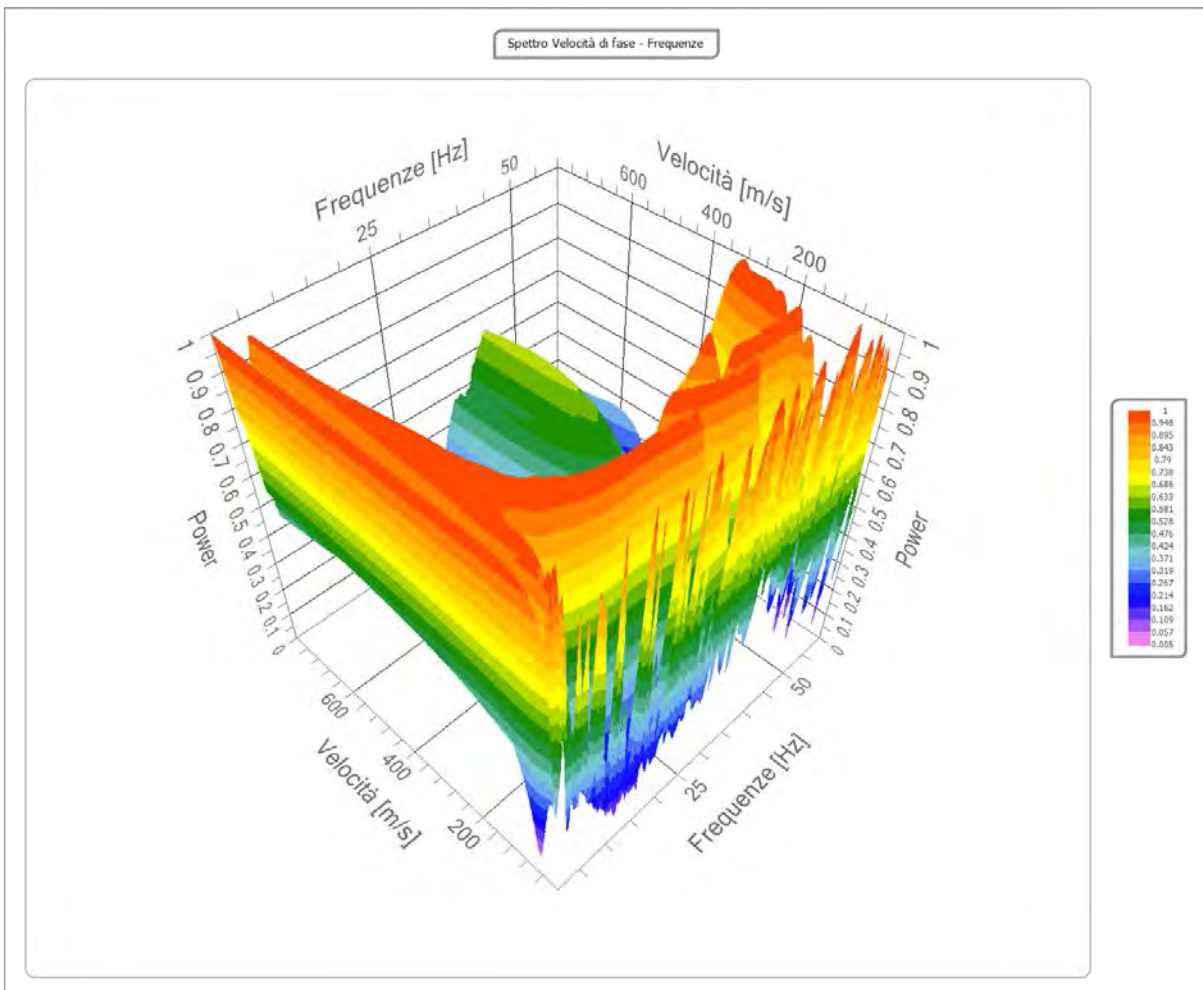
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1500.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

Committente: OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Cantiere: OPDE TAVOLIERE 1-2  
Località: PANETTERIA DEL CONTE  
Operatore: Dott. Nazario Di Lella  
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella  
Data: 17/05/2021  
Latitudine: 15.7610°, Longitudine: 41.4485°



## Analisi spettrale

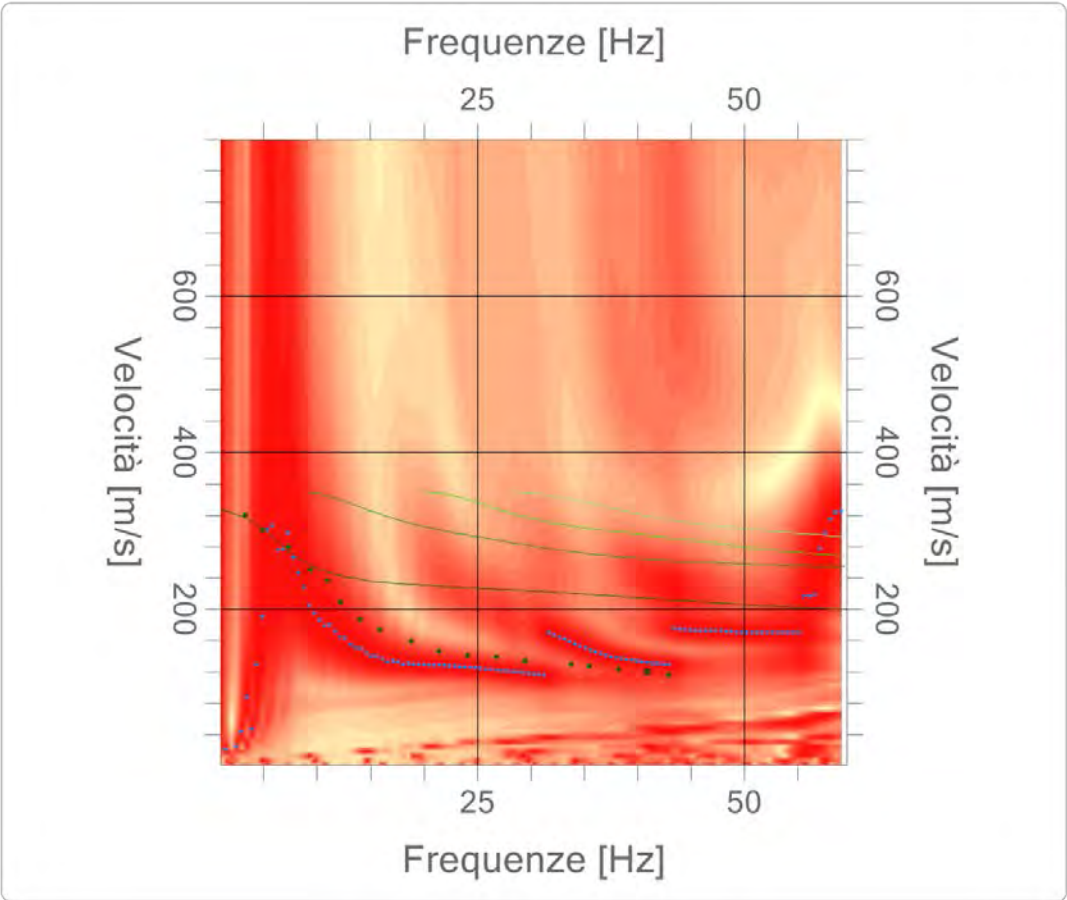
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.3	320.2	0
2	4.9	301.8	0
3	7.4	279.2	0
4	9.4	250.1	0
5	11.0	236.1	0
6	12.2	209.1	0
7	14.1	187.5	0
8	15.9	173.5	0
9	18.8	158.4	0
10	21.5	146.6	0
11	24.1	141.2	0
12	26.8	139.0	0
13	29.5	133.6	0
14	33.9	129.3	0
15	35.5	127.2	0
16	38.3	122.8	0
17	41.0	119.6	0
18	43.0	116.4	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



## Inversione

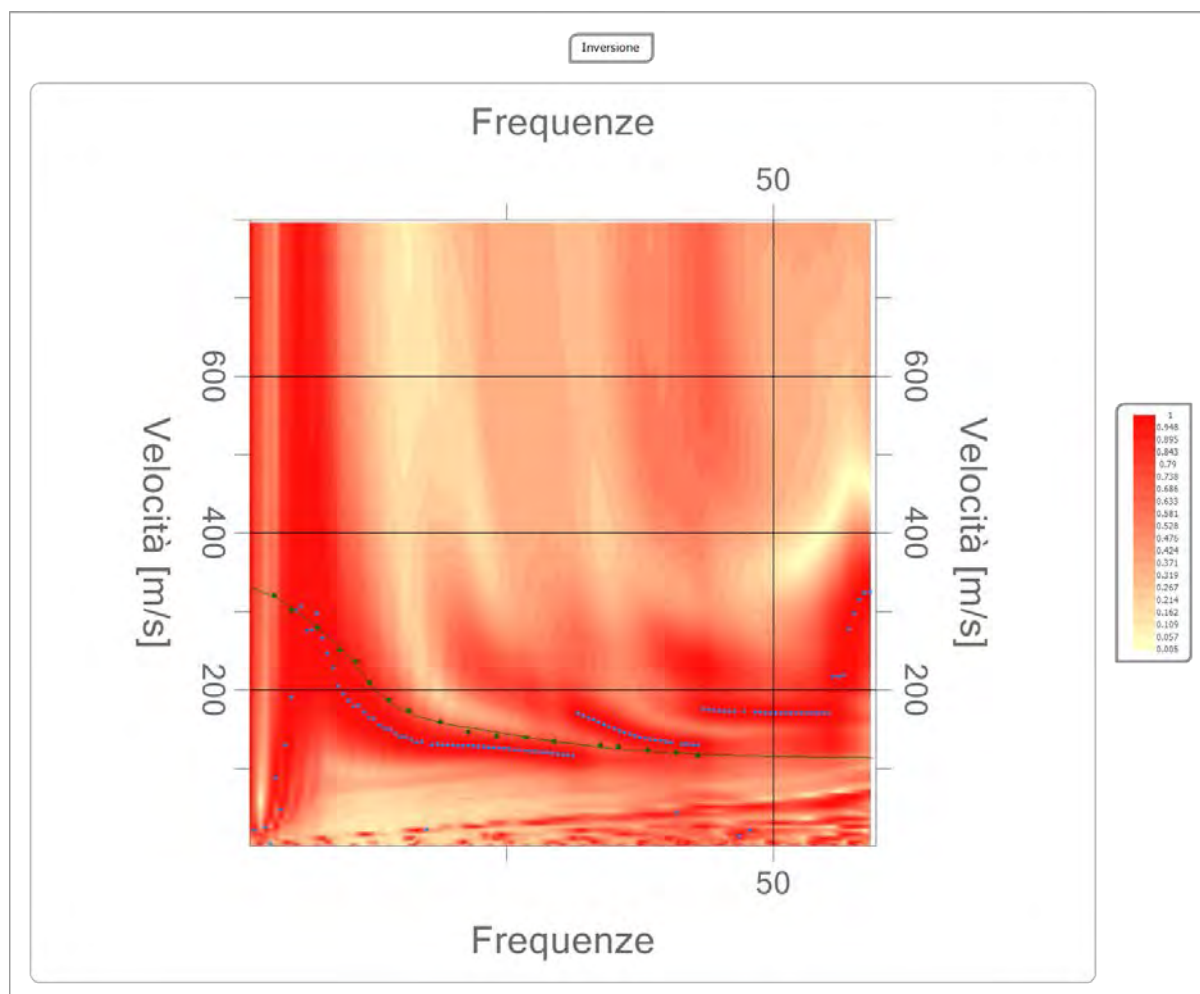
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.71	1.71	1750.0	0.4	No	279.4	118.6
2		6.43	4.72	1850.0	0.5	No	583.3	175.9
3		19.38	12.96	1900.0	0.5	No	1114.4	303.3
4		oo	oo	1950.0	0.5	No	1305.9	355.4

Percentuale di errore

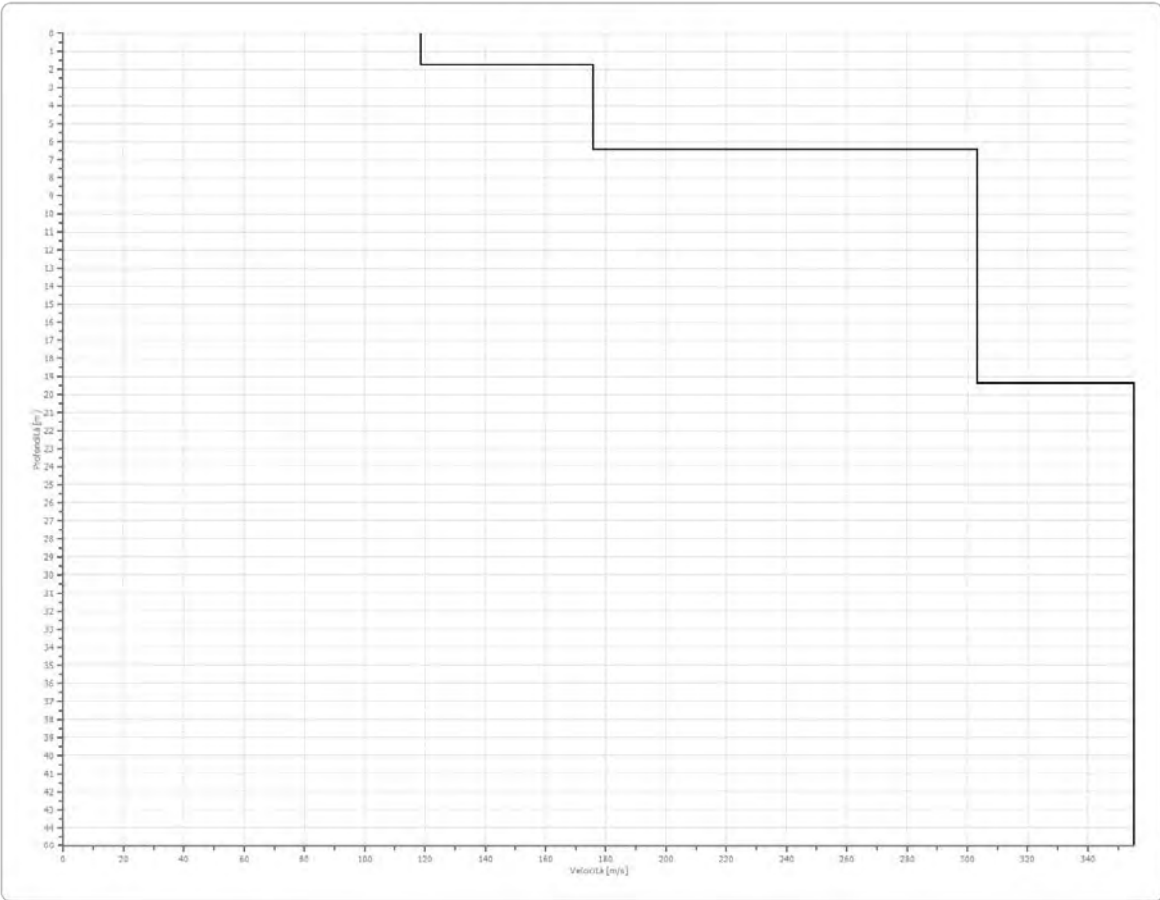
0.023 %

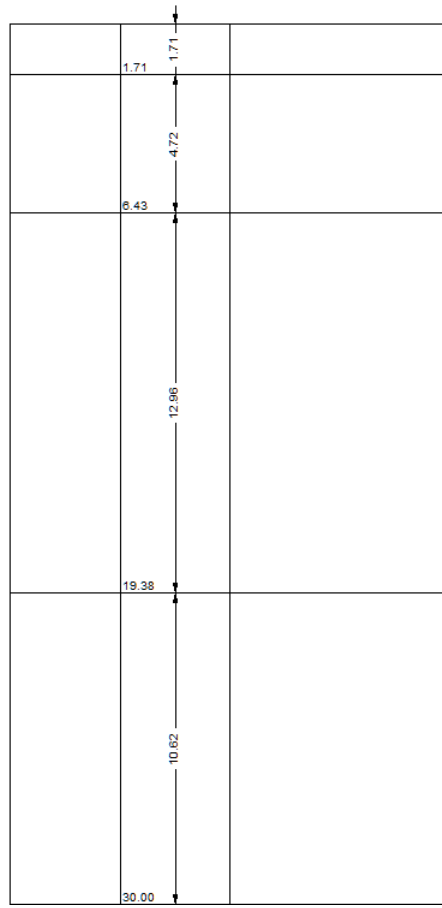
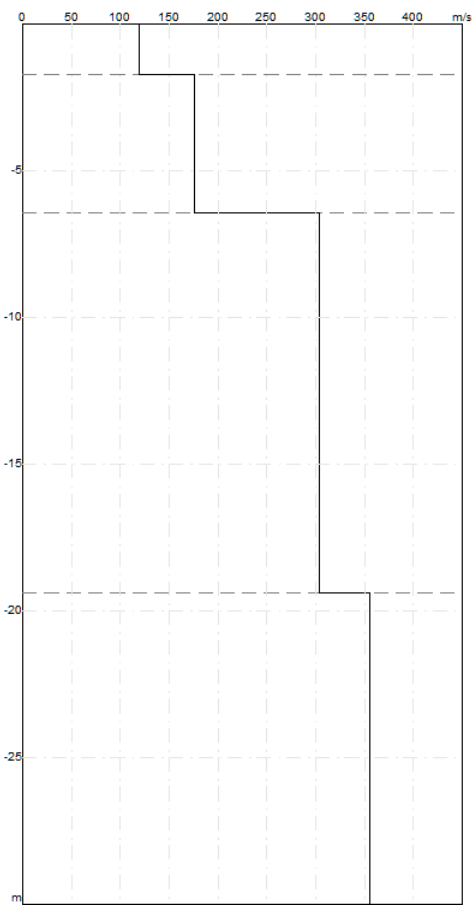
Fattore di disadattamento della soluzione

0.017



Profilo di velocità







## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	263.56
<b>Categoria del suolo</b>	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  $15 < NSPT,30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu,30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

## Altri parametri geotecnici

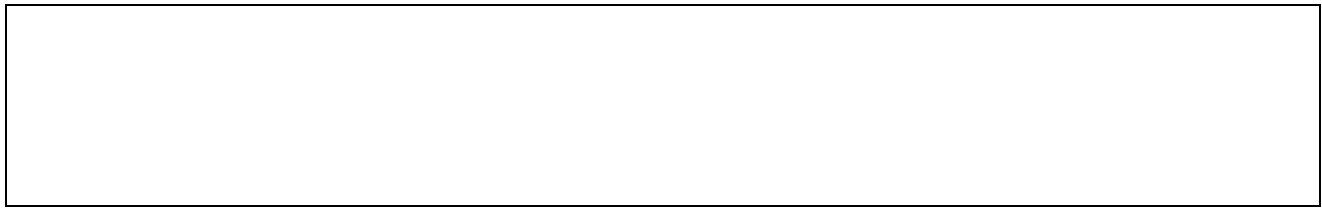
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.71	1.71	118.63	279.36	1700.00	0.39	23.92	132.67	100.77	66.51	29	55.11
2	6.43	4.72	175.88	583.33	1800.00	0.45	55.68	612.48	538.24	161.47	49	398.66
3	19.38	12.96	303.31	1114.43	1850.00	0.46	170.19	2297.60	2070.68	496.96	N/A	N/A
4	oo	oo	355.42	1305.88	1900.00	0.46	240.01	3240.11	2920.10	700.82	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



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

SIS 6

	<b>Data: maggio 2021</b>
	<b>Il committente OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	

### 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:

$$v = \lambda \times \nu$$

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.

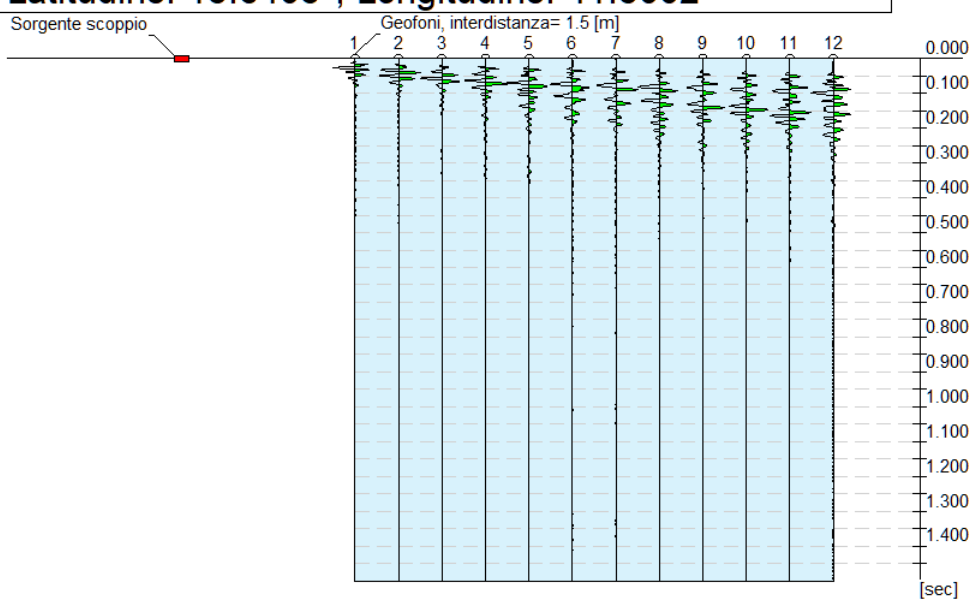
## Dati generali

<b>Committente</b>	OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.
<b>Cantiere</b>	OPDE TAVOLIERE 2
<b>Località</b>	BORGO TAVERNOLA
<b>Operatore</b>	Dott.Nazario Di Lella
<b>Responsabile</b>	Dott. Nazario Di Lella
<b>Zona</b>	BORGO TAVERNOLA
<b>Data</b>	17/05/2021 11:30
<b>Latitudine</b>	15.6408
<b>Longitudine</b>	41.5002

## Tracce

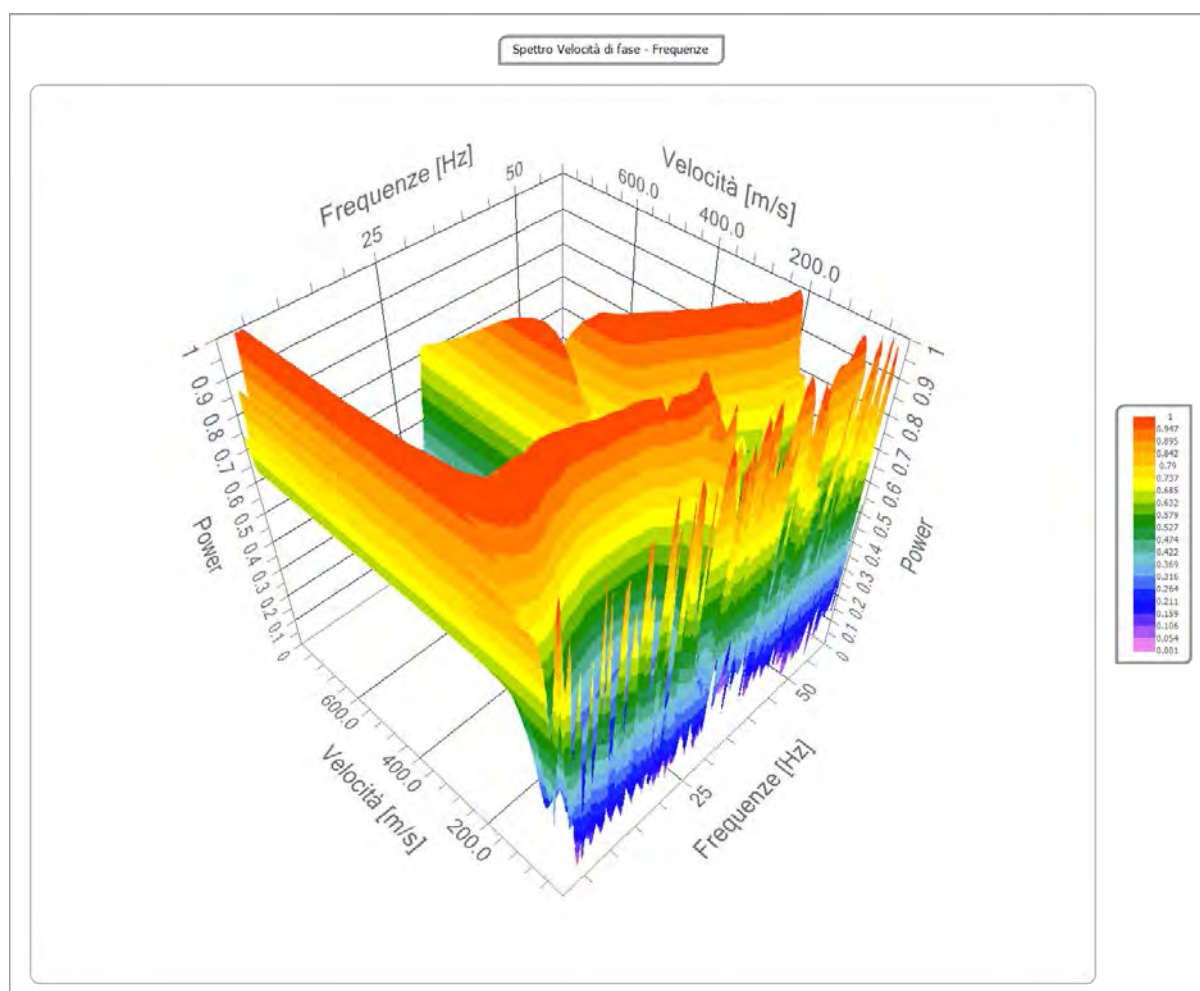
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1500.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

Committente: OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.  
Cantiere: OPDE TAVOLIERE 2  
Località: BORGO TAVERNOLA  
Operatore: Dott. Nazario Di Lella  
Responsabile: Dott. Nazario Di Lella  
Data: 17/05/2021  
Latitudine: 15.6408°, Longitudine: 41.5002°



## Analisi spettrale

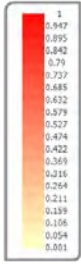
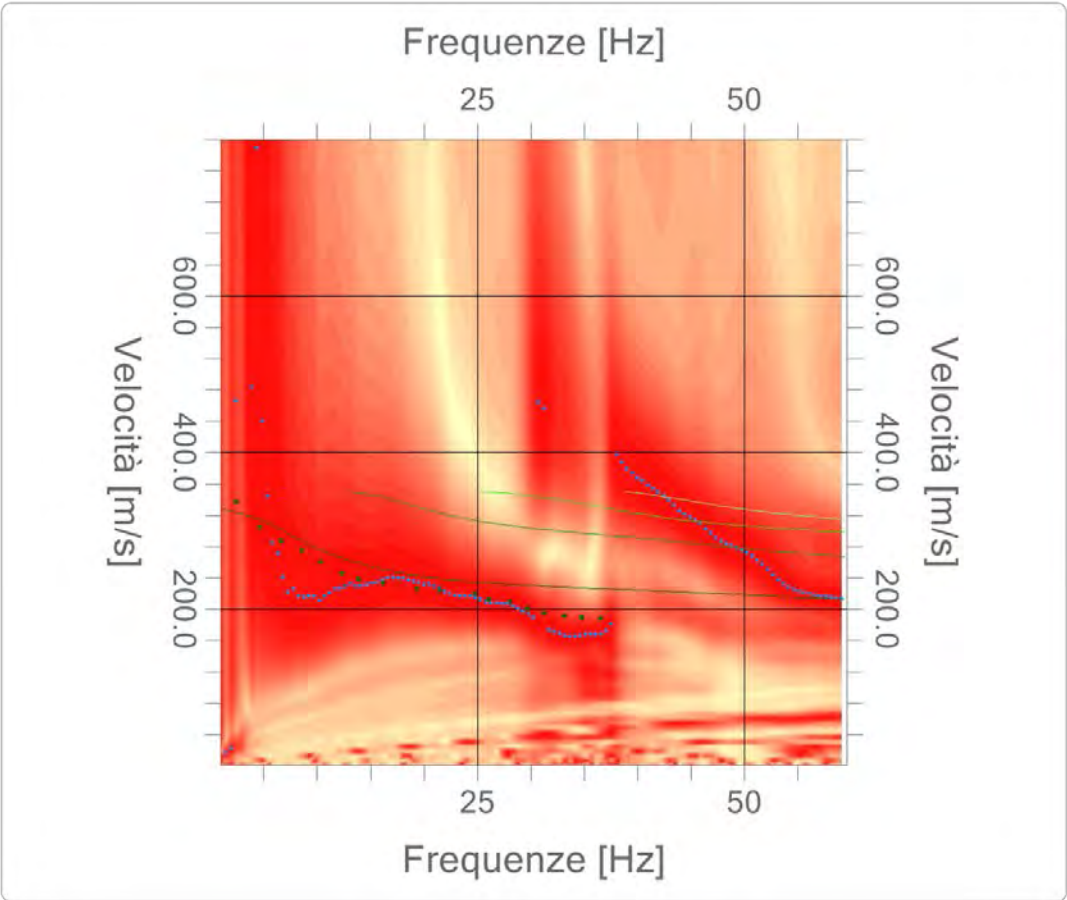
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.5	337.4	0
2	4.7	305.1	0
3	6.7	286.7	0
4	8.6	274.9	0
5	10.4	260.9	0
6	12.4	245.8	0
7	14.0	238.2	0
8	16.2	232.8	0
9	19.4	226.4	0
10	24.8	219.9	0
11	21.5	224.2	0
12	26.1	212.3	0
13	28.2	210.2	0
14	29.7	200.5	0
15	31.3	194.0	0
16	33.2	191.9	0
17	34.8	189.7	0
18	36.6	188.6	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze





### Inversione

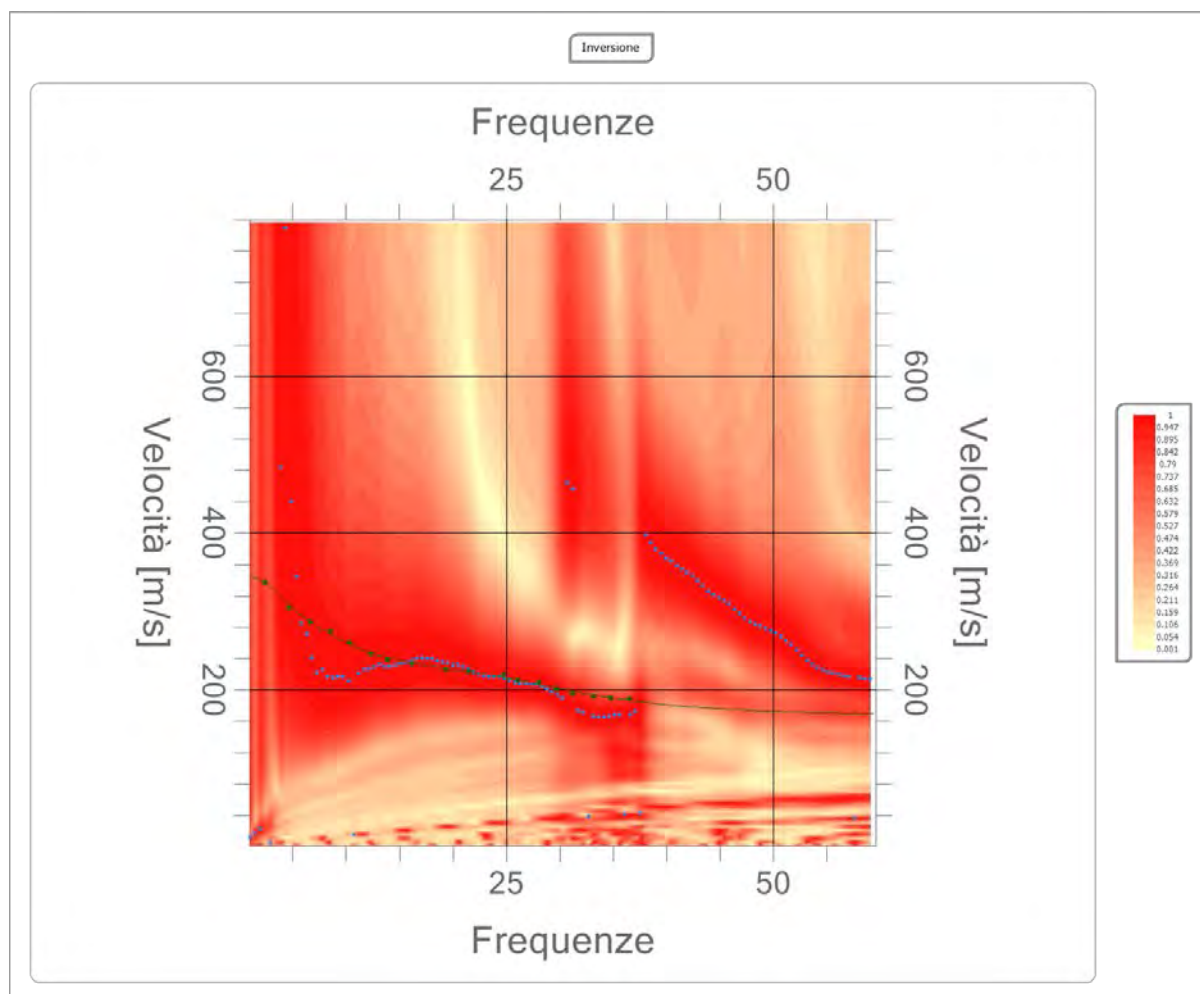
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.39	2.39	1750.0	0.4	No	415.1	176.3
2		10.98	8.59	1850.0	0.5	No	854.6	257.7
3		30.60	19.62	1900.0	0.5	No	1174.9	319.8
4		∞	∞	1950.0	0.5	No	1365.9	371.7

Percentuale di errore

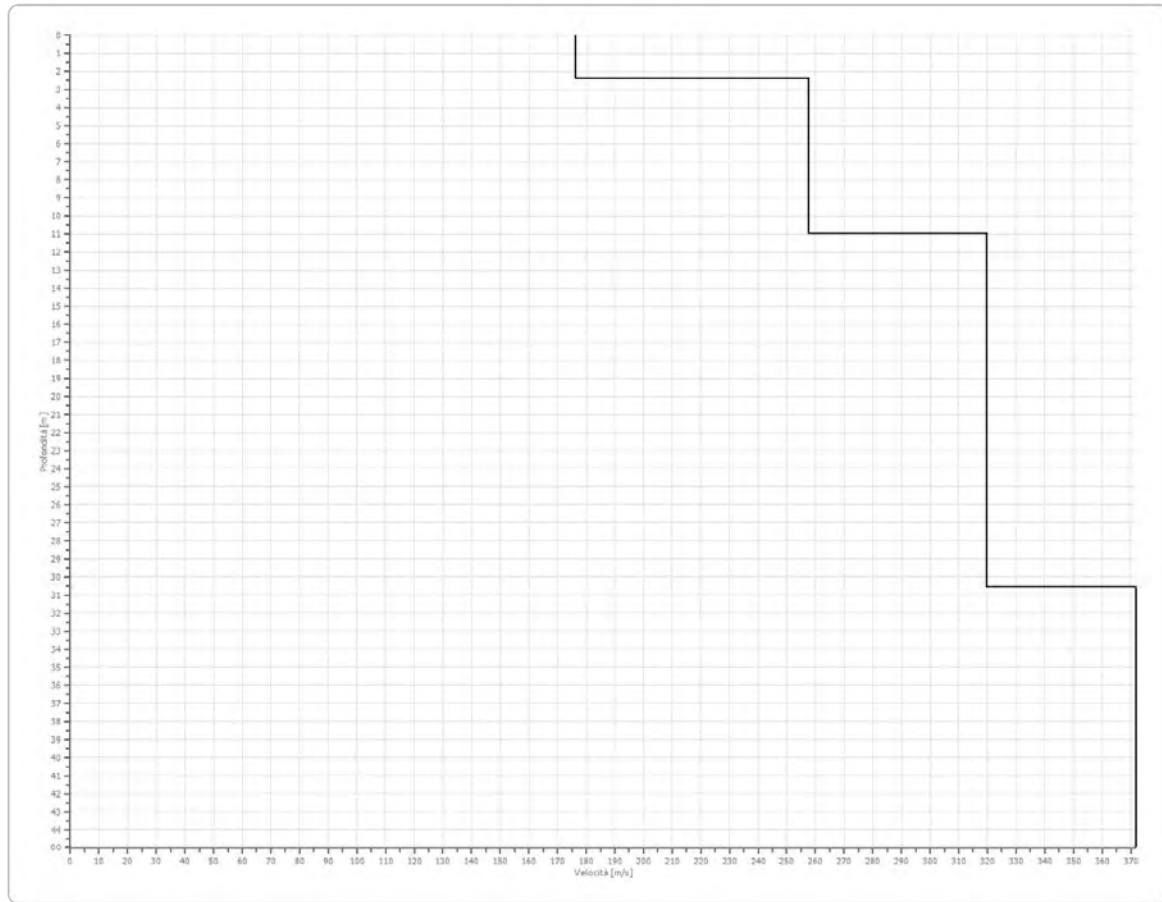
0.011 %

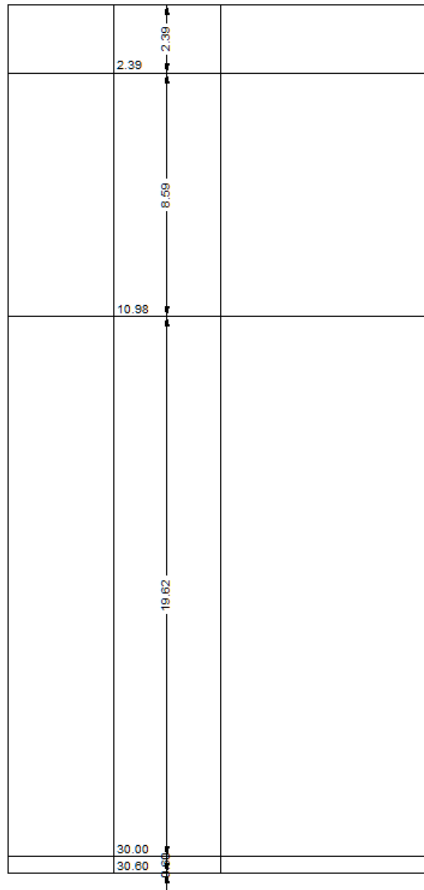
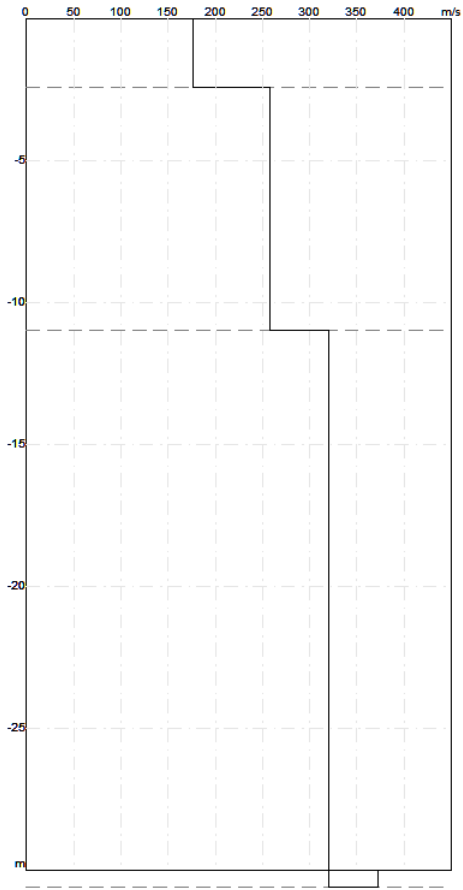
Fattore di disadattamento della soluzione

0.011



Profilo di velocità





## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	282.04
<b>Categoria del suolo</b>	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  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  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	2.39	2.39	176.28	415.13	1700.00	0.39	52.83	292.96	222.52	146.87	N/A	403.30
2	10.98	8.59	257.68	854.63	1800.00	0.45	119.52	1314.71	1155.36	346.61	N/A	2717.17
3	30.60	19.62	319.76	1174.89	1850.00	0.46	189.16	2553.67	2301.46	552.35	N/A	N/A
4	oo	oo	371.74	1365.87	1900.00	0.46	262.56	3544.62	3194.54	766.69	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;