

TAV.

03.0

REVISIONI						
	R.00	20/11/2021	PRIMA EMISSIONE	Ognibene	S.C.M. INGEGNERIA	GUARRATO S.R.L.
	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

NOME FILE	CODIFICA DELL'ELABORATO
DOCUMENTO N°	TITOLO
FV222324-PD_A_0.3.0_REL_r00	COMUNE DI MISILISCEMI - c.da Costa Guardia Impianto Agrovoltaiico di 48,23 MWp denominato Guarrato
SCALA CAD	FORMATO
SCALA	FOGLIO
SCALA	1:10.000
	RELAZIONE GEOLOGICA (redatta ai sensi della 3/DRA del 20/06/2014)

COMMITTENTE



Guarrato SRL

Questo documento contiene informazioni di proprietà Guarrato s.r.l. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Guarrato s.r.l.

This document contains information proprietary to Guarrato s.r.l. and it will have to be used exclusively for the purposes for which it has been furnished. Whichever shape of spreading or reproduction without the written permission of Guarrato s.r.l is prohibit.

PROJECT EXECUTION

I TECNICI



Via C. del Croix, 55

72022 Latiano BR

Mail: info@scmingegneria.it

Tel : +39 0831 728955

Dott. Geol. Michele Ognibene

INDICE

1. PREMESSA	1
2. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	4
2.1 Inquadramento Geografico e Territoriale	4
3. GEOLOGIA GENERALE	7
3.1 Geologia del sito di intervento	9
3.1.1 Modello geologico area impianto Fv 22	9
3.1.2 Modello geologico area impianto Fv 23	10
3.1.3 Modello geologico area impianto Fv 24	11
4. GEOMORFOLOGIA	12
5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA	14
6. CLASSIFICAZIONE SISMICA	15
6.1 Risultati dell'Indagine di Sismica Masw	15
7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA E GEOTECNICA	20
8. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI	23

1. PREMESSA

La Società Guarrato srl, con sede legale sede legale in Milano, Via Buonarroti n.39, intende realizzare un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia agrovoltaica denominato "GUARRATO", ad inseguimento monoassiale nel Comune di **Misiliscemi**. L'impianto avrà una potenza complessiva installata di 48.23 MWp e l'energia prodotta sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

Lo studio è stato condotto dallo scrivente Dott. Geol. Michele Ognibene regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 3003 Sez. A, al fine di determinare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei terreni su cui insiste l'area in oggetto, attenzionando, in particolare, la presenza di eventuali pericolosità geomorfologiche e la compatibilità tra l'assetto geologico l.s. del sottosuolo e le opere da realizzare.

Il seguente studio geologico è stato redatto ai sensi della circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014 e del D.M. 17/01/2018 con i seguenti scopi:

- ✓ Fornire un quadro conoscitivo sufficiente per illustrare le caratteristiche geologiche del territorio in esame e identificare le eventuali situazioni locali che presentino livelli di pericolosità geologica tali da poter influenzare, in modo significativo, le scelte progettuali;
- ✓ Indicare le eventuali prescrizioni e gli eventuali accorgimenti tecnici affinché le condizioni di pericolosità non si aggravino o si manifestino nella zona in progetto.

Nello specifico, lo scopo del seguente lavoro è stato il seguente:

- Specificare le condizioni geologiche e idrogeologiche, con particolare riguardo all'accertamento delle condizioni di stabilità della zona e all'individuazione di eventuali processi morfodinamici in atto e la loro tendenza evolutiva;
- Delineare gli aspetti geologici e tettonici del territorio e definirne natura e composizione dei litotipi affioranti, nonché la loro geometria e il loro assetto strutturale;
- Ricostruire la locale successione stratigrafica;
 - Identificare le situazioni locali che presentino livelli di pericolosità sismica.

Saranno, pertanto, illustrati gli aspetti morfologici, geologici, idrografici e sismici dell'area, inquadrati nella più vasta geologia regionale, con riferimento anche alle condizioni di stabilità.

Per assolvere all'incarico conferitogli, lo scrivente ha eseguito:

- ✓ Il sopralluogo preliminare, al fine di accertare la reale situazione dei luoghi e lo stato delle strutture ivi insediate.

- ✓ La ricerca bibliografica, allo scopo di ricostruire, sulla base degli studi svolti da numerosi autori italiani e stranieri, il quadro generale della storia geologica e strutturale della zona.
- ✓ Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, in una zona estesa al contorno, in modo da avere un quadro d'insieme indicativo e, quindi, inquadrare il sito nell'ambito di un contesto geolitologico e geomorfologico più ampio.
- ✓ L'analisi di n.3 indagini di sismica a rifrazione (identificate con le sigle RZ1 RZ2 e RZ3,) che ha consentito di individuare le principali discontinuità grazie alla velocità delle onde P e di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo in esame.
- ✓ L'analisi di n.2 acquisizioni di sismica MASW (identificate con le sigle MW1 e MW2) eseguita entro l'area oggetto di studio, ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20/03/2003 (GU n.252 del 29/10/2003) e dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018.

La caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica dei terreni di fondazione è stata ottenuta da un rilevamento geologico - strutturale di dettaglio sia dell'area che andrà ad essere occupata dalle strutture in progetto e sia quella dell'immediato intorno oltre alla realizzazione di n°5 prove penetrometriche dinamiche medie effettuate dallo scrivente all'interno del sito in progetto ed in aree prossimali al sito. Il lavoro ha inoltre portato alla redazione di allegati cartografici che ne costituiscono parte integrante.

2. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

2.1 Inquadramento Geografico e Territoriale

L'area in cui sorgerà l'impianto in progetto denominato "Guarrato", ricade nel territorio provinciale di Trapani (TP), in particolare nel Comune di Misiliscemi (TP), in località "Costa Guardia", frazioni Guarrato e Rilievo. Essa si trova ad una distanza media di circa 18 Km a Nord-Est dal centro abitato Marsala, 5 km in direzione Sud-Sud-Est rispetto al nucleo urbano di Paceco, a 8 km in direzione Sud-Sud-Est rispetto al centro abitato di Trapani e a 23 km in direzione Nord-Ovest rispetto al centro abitato del comune di Salemi.

I dati geografici di riferimento dell'impianto sono:

Latitudine = 37°55'50.23"

Longitudine = 12°34'45.59"E

Altitudine media = 90 m s.l.m.

Dal punto di vista cartografico l'area si localizza all'interno delle seguenti cartografie:

- ✓ I.G.M. n° 257 IV NO alla scala 1:25000 denominata "PACECO";
- ✓ Carta Tecnica Regionale CTR, della Sicilia in scala 1:10.000; si estende in un'area a cavallo tra le sezioni n° 605070 -"Marausa" e n° 605080 "Baglio Borromia";



Fig.2.1: Inquadramento Generale cerchiato in blu l'area in progetto.



Fig.2.2: Inquadramento Generale su C.T.R.

Dal punto di vista planimetrico, in linea generale si raggiungono quote massime di circa 130 metri s.l.m. ad est rispetto l'impianto FV24 e quote minime di circa 70 metri s.l.m. lungo i confini orientali dell'impianto FV 23.

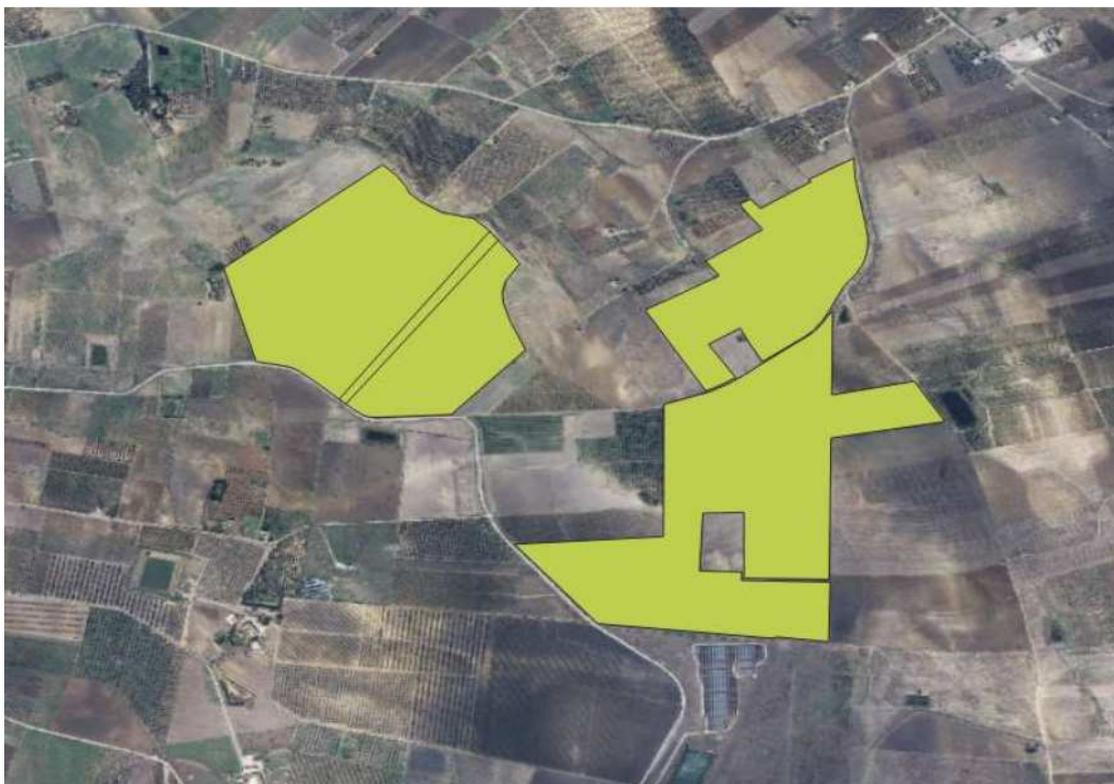


Fig.2.3: Inquadramento Generale su Ortofoto.

Il progetto di connessione prevede che la centrale FV "Guarrato" venga collegata in antenna a 220 kV con una nuova stazione elettrica di smistamento (SE) a 220 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV "Fulgatore - Partanna", previa:

- realizzazione del nuovo elettrodotto RTN 220 kV "Fulgatore – Partinico", di cui al Piano di Sviluppo Terna;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

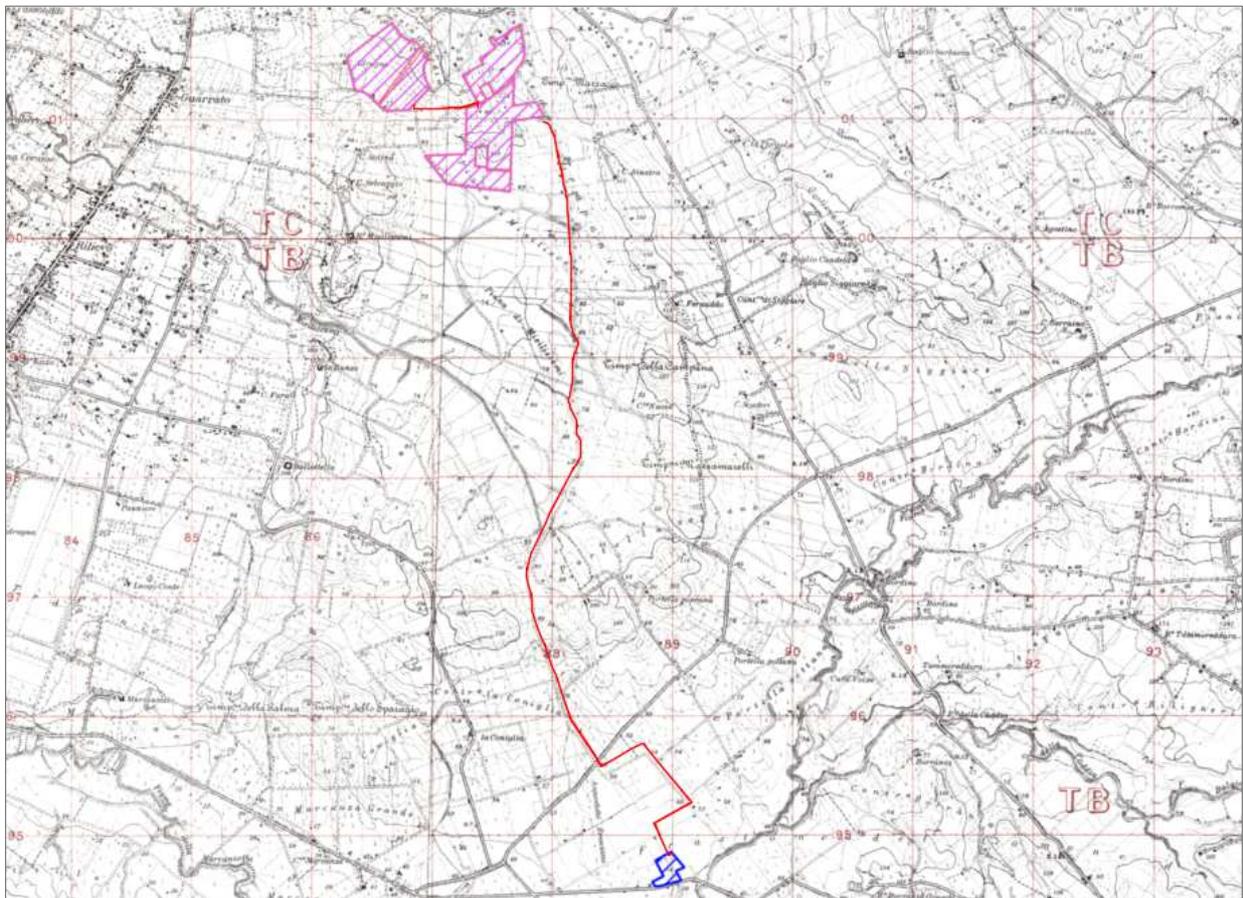


Fig.2.4: Inquadramento opere di connessione su I.G.M.

L'elettrodotto in antenna a 220 kV per il collegamento dell'impianto alla citata stazione di smistamento costituisce **impianto di utenza** per la connessione, mentre lo stallo arrivo a 220 kV nella medesima stazione costituisce **impianto di rete** per la connessione.

3. GEOLOGIA GENERALE

Dal punto di vista geologico-strutturale il comprensorio Dell'area oggetto del presente lavoro è inquadrabile nel contesto geologico noto nella letteratura specifica come "I monti di Trapani", i quali rappresentano l'estrema porzione nord-occidentale della catena Appennino – Magrebidica che costituisce tutta la dorsale montuosa della Sicilia settentrionale; tale dorsale rappresenta il risultato dalla sovrapposizione tettonica, in falda, di unità carbonatiche e terrigeno-carbonatiche di età Mesozoica–Terziaria, derivanti dalle deformazioni mioceniche dei domini paleogeografici noti come Dominio Sicilide, Bacino Imerese e Bacino Numidico.

A partire dal Miocene inferiore, attraverso una tettonica compressivo-traslativa, tali domini sono stati deformati verso l'esterno seguendo una direzione nord-sud, dando così origine a dei corpi geologici che sebbene con geometrie alquanto complesse presentano omogeneità di facies e di comportamento strutturale.

In seguito al sollevamento progressivo della catena montuosa nel tardo Tortoniano iniziò la deposizione di un Complesso Postorogeno con la formazione dei vasti depositi terrigeni della Fm. Terravecchia, ai quali seguirono i depositi della serie evaporitica messiniana ed infine le deposizioni argilloso-sabbiose e calcarenitiche di copertura recenti plio-pleistoceniche, di natura detritica a ridosso dei principali rilievi (Monte Erice) e di natura alluvionale-marina nelle aree di fondovalle.

A partire dal pleistocene, infatti, le oscillazioni del livello marino hanno dato luogo alla formazione dell'ampia piana costiera, che interessa tutto l'abitato di Paceco, con la formazione del cosiddetto Complesso calcarenitico-sabbioso quaternario.

Tale Complesso comprende i depositi quaternari marini che caratterizzano le piane costiere di Trapani e Paceco, addentrandosi per svariati chilometri verso l'interno, e risulta costituito da calcareniti organogene e sabbie in generale di colore bianco-giallastro o rossastro, impostate sulle argille mioceniche con spessori variabili da pochi metri nelle zone più interne fino ad oltre 20 metri in prossimità delle linee di costa.

Il lavoro di rilevamento geologico, supportato dai numerosi dati della letteratura tecnica, ha permesso di ricostruire un'attendibile geologia dell'area interessata dal progetto; in particolare per la stesura del modello geologico di base si è fatto riferimento a quanto pubblicato nelle cartografie del progetto denominato "GARG" e altri lavori effettuati nell'area. (S. Bommarito, U. D'Angelo, S. Vernuccio – Univ. Degli Studi di Palermo – Dip. Geologia e Geodesia).

Le litologie affioranti nell'area rilevata sono tipiche facies di depositi tardorogeni di ambiente di transizione. I termini riportati nella cartografia geologica allegata e presenti nella sequenza stratigrafica sono:

- **Arenarie Glauconitiche**: Arenarie e Argille sabbiose, arenarie fini passanti a sabbie argillose con grandi molluschi (A); Verso l'alto esse diventano ricche in glauconite, e si nota la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi. (B)

Oligogene Sup. - Miocene Medio

- **Fm. Castellana Sicula**: Peliti sabbiose e marne argillose con a luoghi lenti di arenarie marnose. Langhiano - Tortoniano Inferiore

- **Sintema di Paceco**: sabbie cementate e conglomerati con una matrice carbonatica giallo - biancastra. Eluvio colluvio di colore rosso di varia taglia e ricco di ossidi ferrosi, presenza a luoghi di calcarenite giallastra; Pleistocene Medio;

- **Sintema di Borromia**: Depositi di natura alluvionale con presenza di ciottoli arrotondati in matrice sabbioso ghiaiosa rossastra, argille sabbiose con ciottoli.

Pleistocene Medio

Sintema di Capo Plaia:

- Limi sabbiosi di origine fluviale di colore grigio (A)

- Ghiaie sabbie e limi eluviali e colluviali frammisti a spesso pedogenizzati.(B)

- Depositi Lacustri sabbie finissime e paleosuoli (C)

Pleistocene Sup. - Olocene

Dall'esame dei dati ricavati dalle prove di riferimento unite alle correlazioni con le indagini geofisiche effettuate si è potuta ricostruire una dettagliata stratigrafia dell'area e potuto valutare i parametri necessari per potere opportunamente dimensionare le opere che serviranno a sostenere le strutture in acciaio dove verranno collocati i moduli FW, tali dati saranno commentati nel paragrafo dedicato alla geotecnica.

3.1 GEOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto al sito in oggetto, ha permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata.

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili, ed infine, una campagna di rilievi effettuati direttamente in area prossimale a quella interessata dallo studio, ha permesso di redigere la carta geologica.

In particolare sono state eseguite n°5 prove penetrometriche dinamiche medie e n°2 indagini di sismica a rifrazione in corrispondenza di ciascun lotto in progetto. Sulla scorta delle interpretazioni e correlazioni delle prove effettuate è possibile ricavare la seguente successione litostratigrafica.

3.1.1 MODELLO GEOLOGICO AREA IMPIANTO FV 22

Livello superficiale di natura eluvio-colluviale (spessore è valutabile in circa 3,0 – 3,2 metri dal p.c.) a prevalente matrice limosa di colore rossastro; Si riconosce del terreno vegetale fino ad una profondità di circa 1,0 m dal p.c. per poi passare ad un orizzonte eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso.

Depositi di natura alluvionale costituiti da argille limose-sabbiose con presenza di ciottoli arrotondati e con grado di consistenza che migliora con la profondità oltre i 4,20 metri dal p.c. In corrispondenza delle aree morfologicamente più elevate si riscontrano la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi.

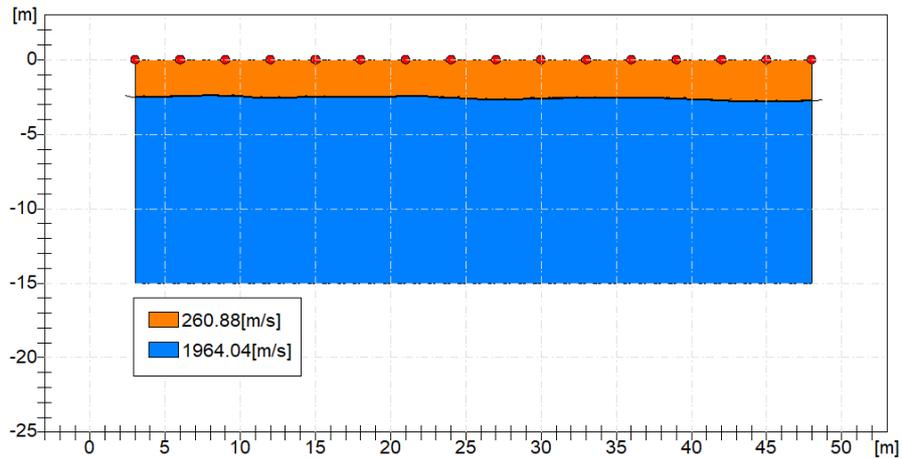


Fig. 3.1.1.1: Sezione sismo-stratigrafica dell'Impianto FV 22.

3.1.2 MODELLO GEOLOGICO AREA IMPIANTO FV 23

Livello superficiale di natura eluvio-colluviale (spessore è valutabile in circa 3,0 – 3,1 metri dal p.c.) a prevalente matrice limosa di colore rossastro; Si riconosce del terreno vegetale fino ad una profondità di circa 0,8 m dal p.c. per poi passare ad un orizzonte eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso.

Argille debolmente sabbiose con presenza di ciottoli arrotondati e con grado di consistenza che migliora con la profondità oltre i 4,90 metri dal p.c. In corrispondenza delle aree morfologicamente più elevate si riscontrano la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi.

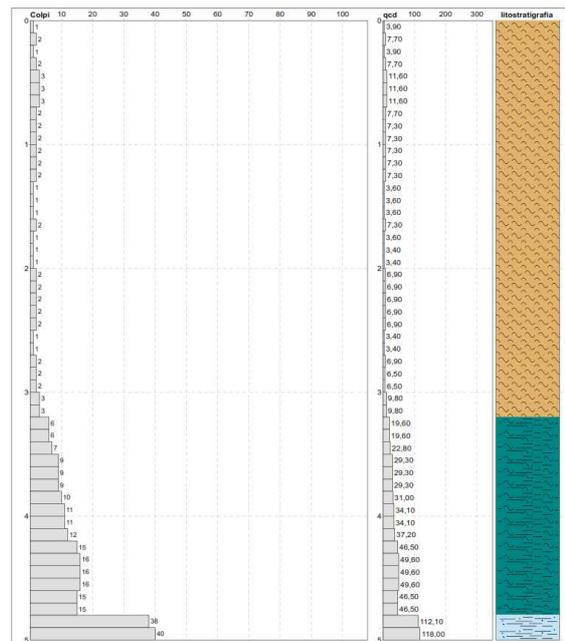


Fig. 3.1.2.1: Sezione sismo-stratigrafica dell'Impianto FV 23.

3.1.3 MODELLO GEOLOGICO AREA IMPIANTO FV 24

Livello superficiale di natura eluvio-colluviale (spessore è valutabile in circa 2,5 – 2,7 metri dal p.c.) a prevalente matrice limosa di colore rossastro; Si riconosce del terreno vegetale fino ad una profondità di circa 0,7 m dal p.c. per poi passare ad un orizzonte eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso.

Argille debolmente sabbiose con presenza di ciottoli arrotondati e con grado di consistenza che migliora con la profondità oltre i 3,00 metri dal p.c. In corrispondenza delle aree morfologicamente più elevate si riscontrano la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi.

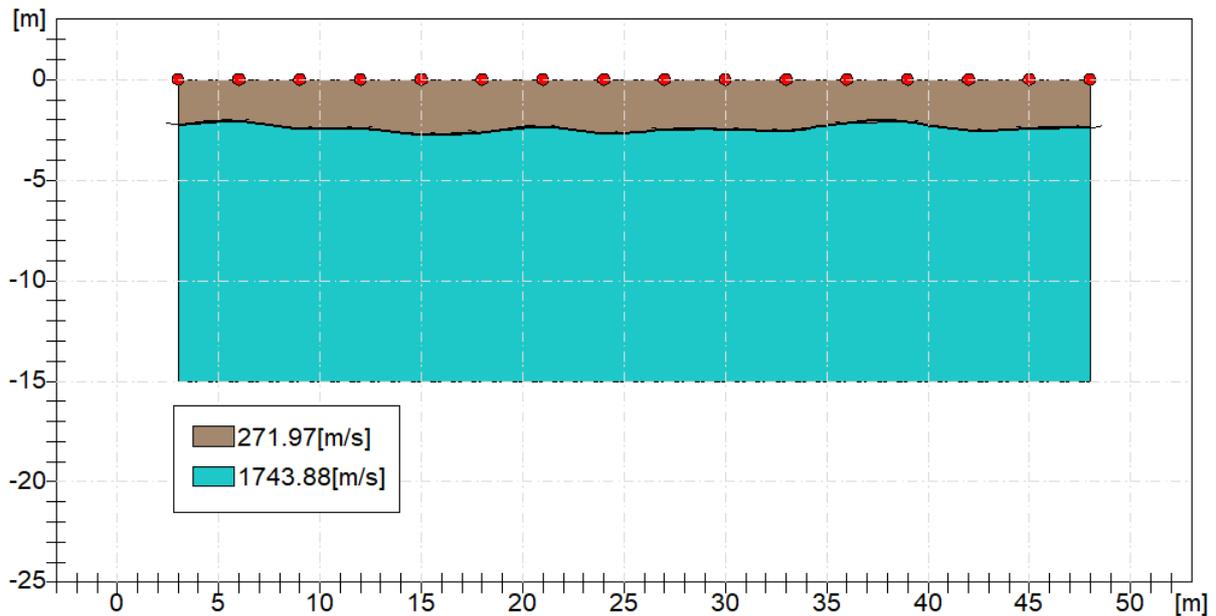


Fig. 3.1.3.1: Sezione sismo-stratigrafica dell'Impianto FV 24.

4. GEOMORFOLOGIA

La morfologia dell'area è il risultato delle azioni combinate di diversi processi sia *endogeni* che *esogeni*; I processi *endogeni* sono rappresentati in ordine cronologico, dalla tettonica, che ha determinato la giacitura degli strati rocciosi dei corpi carbonatici e la formazione di superfici di dislocazione con il conseguente controllo della morfologia.

L'aspetto dell'area in esame, classificata per quanto riguarda i fenomeni sismici di II categoria, è strettamente connesso agli effetti delle fasi orogenetiche che l'hanno interessata nelle varie età, a cui si è aggiunto il modellamento da parte degli agenti atmosferici, espletatosi ad opera delle acque corrive, della gravità, degli agenti chimici e condizionato peraltro dall'attività antropica.

L'assetto geostratigrafico e geostrutturale, ha infatti controllato e condizionato la morfogenesi dei rilievi a partire dalla loro emersione, caratterizzandone la conformazione del profilo topografico in forma di ripiani intermedi, sporadicamente interrotti da versanti regolarizzati relativamente brevi.

La configurazione attuale è stata infine assunta nel Quaternario, in dipendenza della sedimentazione di mare basso e dell'arretramento della linea di costa.

In generale, sotto il profilo della dinamica geomorfologica, il modellamento che maggiormente influenza e caratterizza un territorio è quello di tipo fluvio-denudazionale, intendendo quello dovuto all'azione delle acque meteoriche in tutti gli aspetti conseguenti allo scorrimento delle acque selvagge e delle acque incanalate e si differenzia a seconda dei litotipi su cui agisce in funzione del diverso grado di alterabilità fisica e chimica delle rocce e del loro diverso grado di erodibilità.

L'area oggetto del presente studio, per le sue caratteristiche morfologiche e litologico-strutturali, risulta però influenzata in maniera piuttosto blanda dal modellamento delle acque superficiali, sia a causa delle litologie, piuttosto resistenti all'azione erosiva delle acque e ancor più in relazione alle pendenze modeste che non consentono alle acque di acquistare l'energia necessaria per erodere e trasportare i materiali affioranti. L'area in progetto risulta mediamente pianeggiante e rientra prevalentemente nella classe 0-5° (**cf. carta delle pendenze**). Si raggiungono valori massimi di circa 15° in corrispondenza dei versanti occidentali di costa Guardia e del timpone Marracco.

Anche le caratteristiche di permeabilità dei litotipi affioranti favoriscono l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche rispetto al ruscellamento superficiale, come testimoniato dallo scarso sviluppo della rete idrografica superficiale.

Le acque superficiali, pertanto, esercitano una azione limitata sui versanti e infatti sono poco frequenti i fenomeni di erosione e di dissesto anche in corrispondenza dei versanti a prevalente componente argillosa e con pendenze più elevate, presenti nelle aree più interne del territorio in esame.

Anche l'azione della gravità non influisce in maniera particolare sul territorio a causa delle morfologie pianeggianti o poco acclivi ed i soli fenomeni che si osservano sono legati a crolli di porzioni rocciose in corrispondenza di fronti subverticali di notevole altezza, o a fenomeni di erosione e di soliflusso delle porzioni argillose alterate più superficiali.

Ai modellamenti naturali bisogna invece aggiungere il modellamento antropico dal quale non è possibile prescindere in quanto i suoi effetti morfogenetici, sia in senso negativo che positivo, sono spesso considerevoli.

In conclusione, da un punto di vista geomorfologico si può affermare che sia in un'intorno significativo dell'area, che all'interno della superficie individuata dal progetto di realizzazione dell'impianto Fotovoltaico, l'area individuata si presenta sostanzialmente stabile senza evidenti fenomeni morfogenetici di disturbo in atto o potenziali che possano interferire con la realizzazione dell'opera.

Dalla consultazione delle carte relativi al Rischio e al Dissesto Geomorfologico redatte dal P.A.I (Piano per l'Assetto Geomorfologico) **l'area non è classificata come area a rischio.**

5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

La caratterizzazione idrogeologica dei terreni indagati scaturisce da una serie di osservazioni qualitative riguardanti gli aspetti macroscopici che questi presentano ad un primo esame, quali: porosità, fatturazione grado di cementazione, discontinuità strutturali. In questo paragrafo si rappresenteranno in forma globale, le principali informazioni idrogeologiche esistenti nel territorio preso in considerazione. Si daranno informazioni sul tipo e grado di permeabilità relativa dei complessi idrogeologici e sulle caratteristiche della falda idrica sotterranea, parametri strettamente legati alle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in rapporto alla loro stabilità. La permeabilità dei complessi idrogeologici affioranti nell'areale oggetto di studio, è generalmente per porosità, con un bacino idrologico superficiale che fuoriesce dai limiti dell'intorno preso in esame ed a causa dell'elevata permeabilità e del conseguente scarso ruscellamento dei terreni in esso contenuti, contribuisce in minima quantità all'alimentazione dei principali corsi d'acqua, che si manifestano generalmente con portate modeste ed a carattere prettamente torrentizio. Di seguito si riportano le caratteristiche idrogeologiche dei terreni dell'intorno investigato, associati in funzione delle loro caratteristiche, in complessi idrogeologici (**cf. Carta idrogeologica allegata**), dalla conoscenza dei litotipi affioranti e dalla stesura dalla carta geologica si sono potuti raggruppare tutte le litologie presenti in un unico complesso idrogeologico denominato:

- Complesso terrigeno Miocenico

Tale complesso è contraddistinto dalla presenza di depositi terrigeni deltizi costituiti da argille sabbiose, sabbie e conglomerati variamente intercalati, permeabili nel complesso per porosità primaria. Laddove preponderante la componente limoso argillosa, come nel sito oggetto di studio, il grado di permeabilità è basso ($10^{-3} > k > 10^{-5}$ cm/s) ed è povero il drenaggio delle acque di infiltrazione, con possibilità, soprattutto in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, di fenomeni di ristagno. Nelle porzioni del complesso, dove è preminente la componente limo sabbiosa, si instaurano le condizioni per la formazione di falde idriche, il cui livello piezometrico risulta conforme al tetto del locale orizzonte eluvio colluviale.

- Complessi dei Depositi alluvionali e lacustri

A questa classe vanno iscritti i terreni dotati di porosità in cui la permeabilità è una caratteristica del litotipo e viene definita "permeabilità primaria". Nel caso in esame vi appartengono le alluvioni recenti ed i sedimenti lacustri costituiti da sabbie fini. Trattasi per lo più di depositi a permeabilità variabile. Infatti laddove la componente granulometrica risulta grossolana la permeabilità è medio alta. Ladove invece prevale la componente più fine come nel caso in esame la permeabilità si ricuce a media e medio bassa. Questi terreni presentano un coefficiente di permeabilità per porosità pari a $10^{-2} \leq K \leq 10^{-4}$ c m/sec.

6. CLASSIFICAZIONE SISMICA

6.1 RISULTATI DELL'INDAGINE DI SISMICA MASW

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 3 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 3 sismostrati. **I risultati delle inversioni hanno fornito valori di categoria suolo fondazione di tipo C per il sito in progetto.**

Le indagini geofisiche eseguite, hanno consentito, dunque, di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio al fine di valutare il valore del parametro V_{Seq} e quindi stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo come da D.M. 17/01/2018. Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato; successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, richiamata dal DM 17/01/2018, è stato possibile classificare tali terreni.

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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

con: h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo (in m);

V_s = Velocità dell'onda di taglio i -esimo strato;

N = Numero di strati;

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

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_{Seq} è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

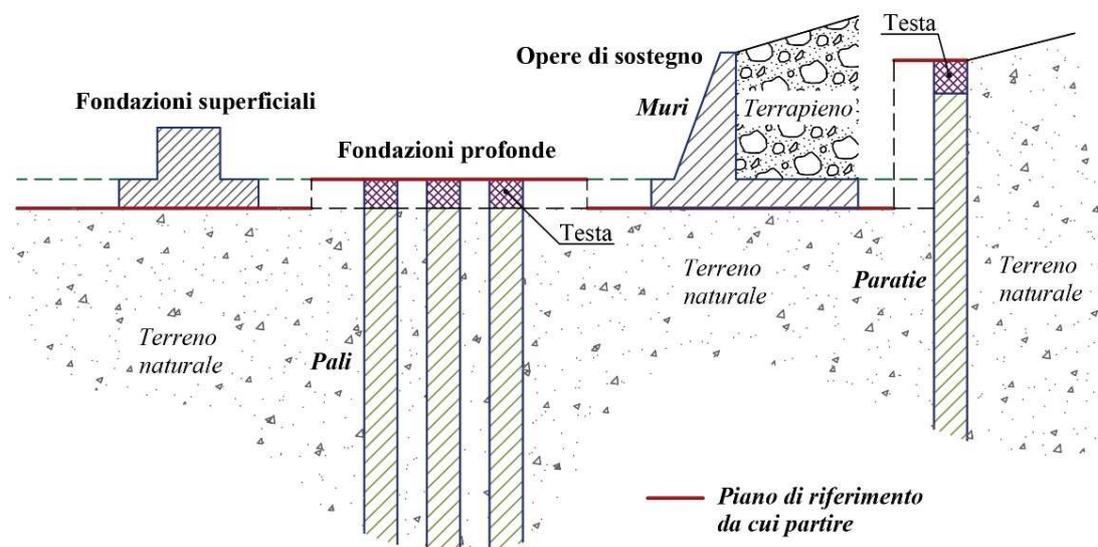


Figura 6.1.1: Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

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

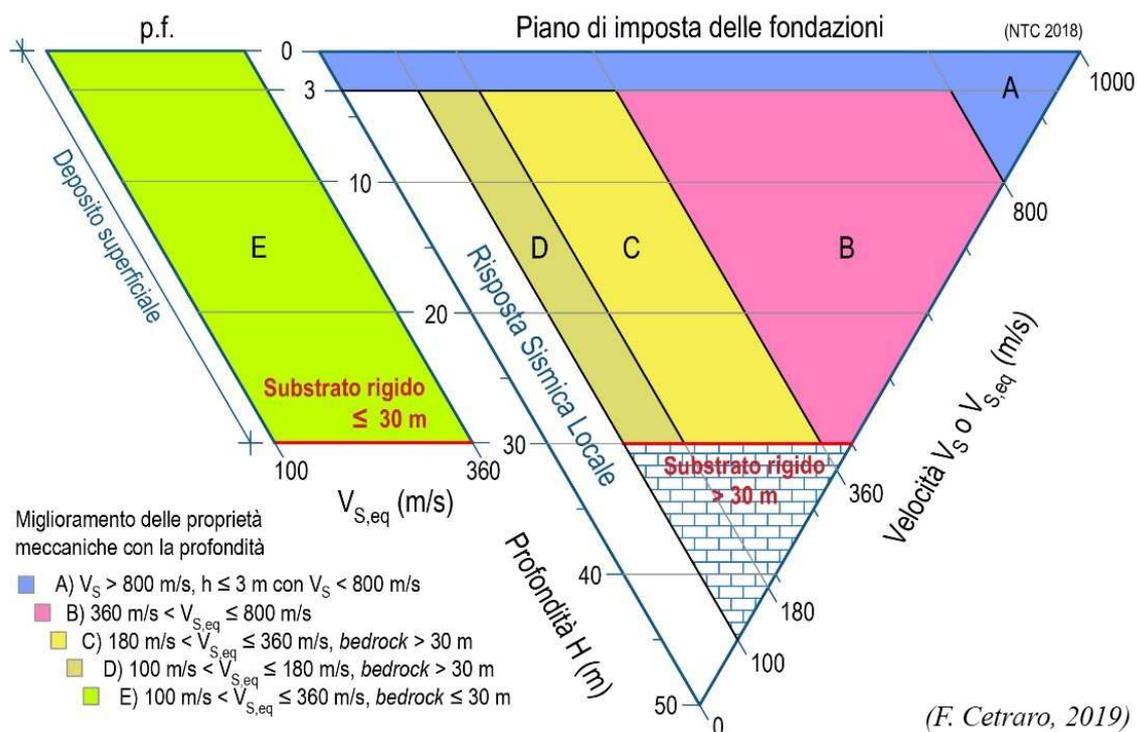


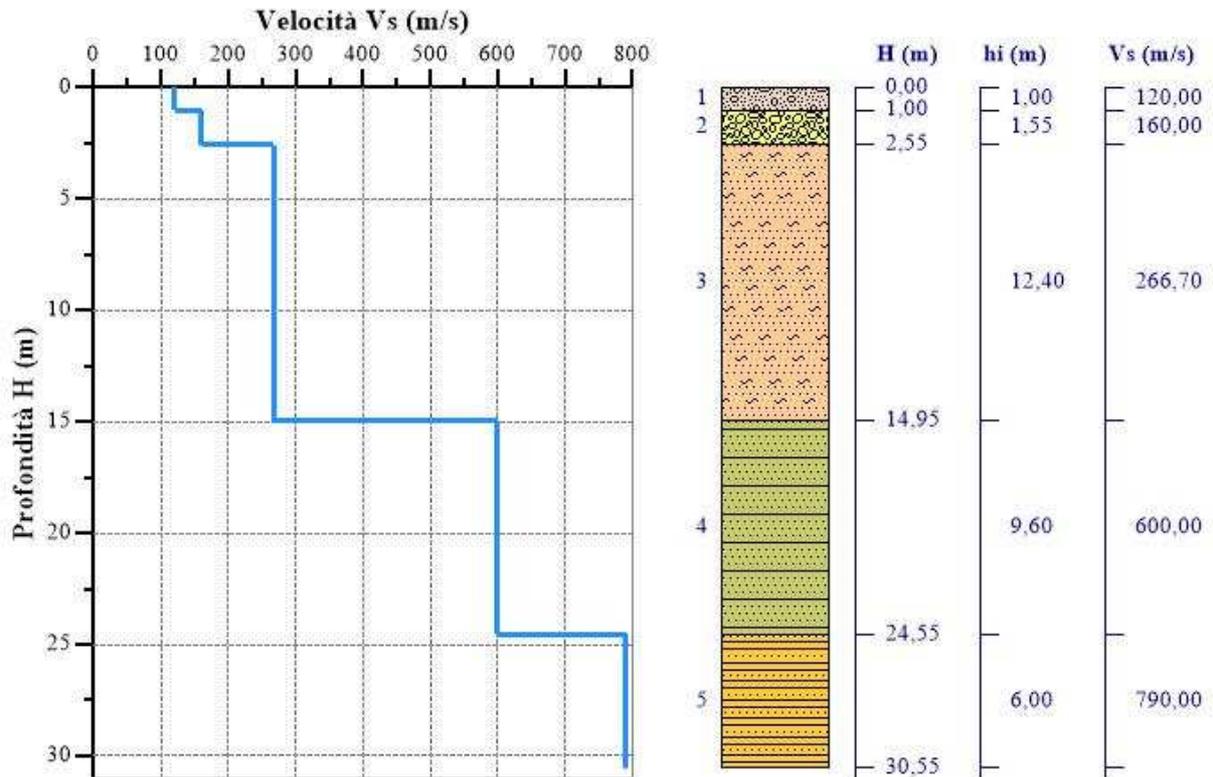
Figura 6.1.2: Diagramma categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

6.2 RISULTATI DEL CALCOLO

In corrispondenza dell'area in progetto sono state eseguite n°2 indagini di sismica masw identificata con le sigle Mw1-Mw2 (**vedi Relazione Sismica**). Il modello interpretativo ha permesso pertanto di ottenere la seguente sismo-stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:

Tabella 6.2.1: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw1 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

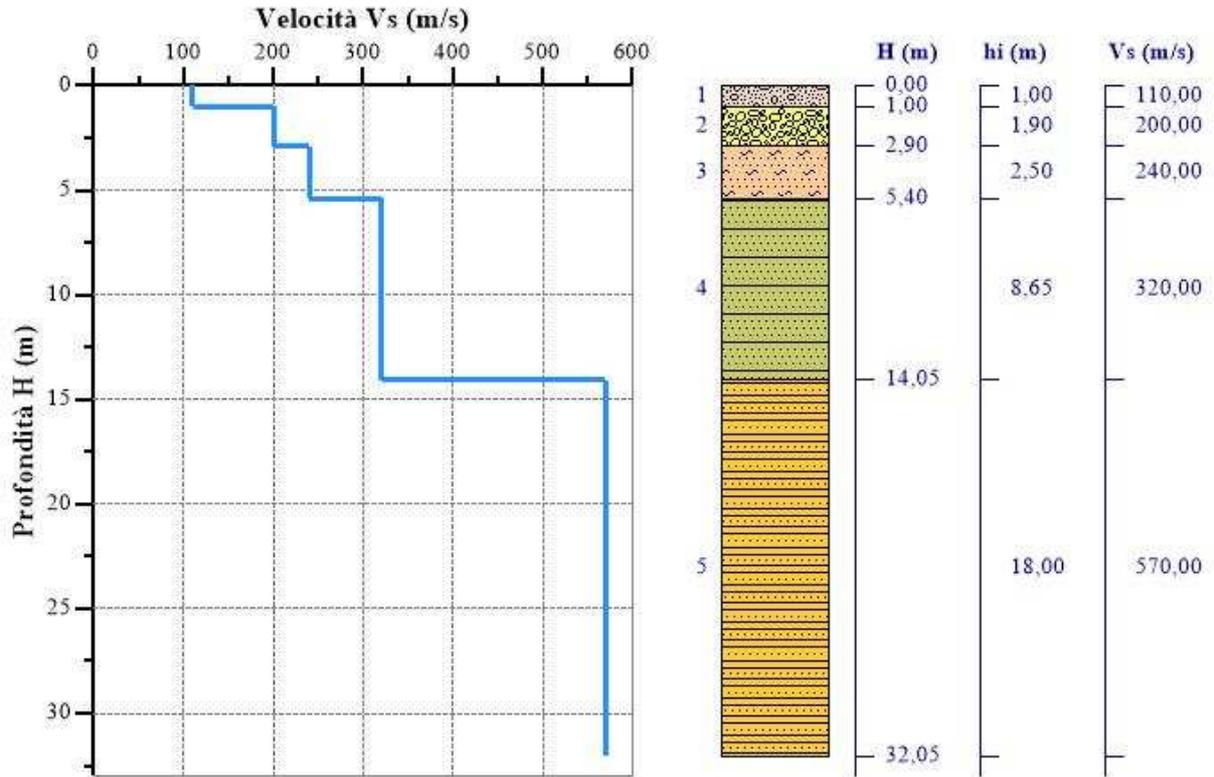
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1700.0	0.30	No	224.5	120.0
2	2.55	1.55	1800.0	0.30	No	299.3	160.0
3	14.95	12.40	1800.0	0.30	No	498.9	266.7
4	24.55	9.60	1800.0	0.30	No	1122.5	600.0



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 343.17 \text{ m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

Tabella 6.2.1: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw2 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1700.0	0.32	No	213.8	110.0
2	2.90	1.90	1800.0	0.32	No	388.7	200.0
3	5.40	2.50	1800.0	0.30	No	449.0	240.0
4	14.05	8.65	1800.0	0.30	No	598.7	320.0
5	oo	oo	1900.0	0.30	No	1066.4	570.0



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 357.07 \text{ m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA E GEOTECNICA

L'area in esame ricade in una zona conosciuta dal punto di vista litostratigrafico e geomeccanico essendo già stata oggetto di studi da parte dello scrivente; in particolare la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica dei terreni è stata definita facendo riferimento ad una campagna di indagini geognostiche eseguite attraverso la realizzazione che hanno previsto:

1) Realizzazione di n°5 prove penetrometriche dinamiche medie;

La caratterizzazione stratigrafica e sismica dell'area di progetto è stata fatta interpretando i dati geofisici di n° 3 prove di sismica a rifrazione e di n°2 stese sismiche per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che hanno permesso di calcolare il parametro V_{Seq} , e di determinare il modello stratigrafico dell'area in cui saranno progettati le strutture portanti dei moduli fotovoltaici.

Le prove sono state eseguite in accordo con il D.M. 17.01.2018,

Per quanto concerne gli aspetti litotecnici si riportano i parametri derivanti da prove geotecniche in situ effettuate. I dati di seguito riportati comprendono, anche, dei valori di angolo d'attrito in ragione di una componente incoerente che, a luoghi, potrebbe essere rilevante, incidendo sul comportamento geomeccanico.

In particolare l'impianto fotovoltaico, il cavidotto e la stazione utente di futura realizzazione ricadono all'interno di quattro unità litotecniche (**Cfr. Carta Litotecnica**) che sono state definite secondo quanto definito dall'allegato D della Circolare 3/ DRA del 20.06.2014. In particolare vengono catalogati in due insiemi, in cui il primo comprende i litotipi che costituiscono il substrato e l'altro quelli che caratterizzano i terreni di copertura.

- Livello 1: Terreno di Copertura (H1c e F1)

Ricadono all'interno di queste categorie litotecniche i depositi colluviali ed i terreni natura agrario-eluviale a prevalente matrice sabbiosa e limosa, umido/bagnato, da inconsistente a poco consistente, con uno spessore variabile da 1,00 – 3,0 mt a seconda dell'areale di riferimento

- Livello 2: Arenarie Glauconitice: argille e argille sabbiose, arenarie fini passanti a sabbie argillose con grandi molluschi (B3) e Peliti sabbiose e marne argillose con a luoghi lenti di arenarie marnose (B4).

Orizzonte a prevalente componente argillosa-limosa costituiti prevalentemente da terre di colore biancastro ed argille grigiastre più o meno sabbiose. Lo spessore è valutabile in circa 10 metri.

Per una preliminare valutazione, infine, sulla tipologia e dimensionamento delle fondazioni possono essere usati i parametri nominali indicati nella tabella di seguito riportata, anche se gli aspetti geotecnici

dovranno essere implementati in sede di progettazione esecutiva, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche in situ e prove di laboratorio.

PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI AFFIORANTI	Litotipo	Classe Litotecnica	γ t/m ³	φ gradi	Cu Kg/cm ²
		H1c	1,65	24.5	0
		F1	1,7	23	0
		B3	1,8	26	0
		B4	1,8	26	0

8. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Sulla base del rilevamento geologico effettuato e tenuto conto dei dati raccolti, il progetto in esame non è in contrasto con l'attuale assetto stratigrafico – geomorfologico - idrogeologico dei luoghi e pertanto risulta compatibile.

Sotto il profilo geolitologico, si può affermare che la stratigrafia riscontrata durante il rilievo e dall'interpretazione dei dati derivanti dalle prove effettuate evidenziano una stratigrafia costituita da:

Livello superficiale di natura eluvio-colluviale (spessore è valutabile in circa 2,5 – 3,2 metri dal p.c.) a prevalente matrice limosa di colore rossastro; Si riconosce del terreno vegetale fino ad una profondità di circa 0,7 m dal p.c. per poi passare ad un orizzonte eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso.

Argille debolmente sabbiose con presenza di ciottoli arrotondati e con grado di consistenza che migliora con la profondità oltre i 3,00 metri dal p.c. In corrispondenza delle aree morfologicamente più elevate si riscontrano la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi.

Tali considerazioni litologiche, dovranno essere comunque affinate, in fasi progettuali successive, attraverso una mirata campagna di indagini geognostiche in situ.

Dal punto di vista morfologico l'area in progetto risulta mediamente pianeggiante e rientra prevalentemente nella classe di pendenza 0-5°. Si raggiungono valori massimi di circa 15° in corrispondenza dei versanti occidentali di costa Guardia e del timpone Marracco.

Dal punto di vista planimetrico, in linea generale si raggiungono quote massime di circa 130 metri s.l.m. ad est rispetto l'impianto FV24 e quote minime di circa 70 metri s.l.m. lungo i confini orientali dell'impianto FV 23.

Dalla visione delle cartografie pubblicate dal P.A.I le aree ove è prevista la realizzazione del parco agrofotovoltaico, i cavidotti e la stazione utente non ricadono in aree caratterizzate da fenomeni morfogenetici attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali, tali da essere in contrasto con il progetto proposto.

Sotto il profilo morfologico ed idrogeologico nessun problema si presenta per la stabilità geostatica delle neostrutture costituenti l'impianto fotovoltaico, nell'area di studio infatti, allo stato attuale, **non sono** presenti segni di dissesto idrogeologico in atto o potenziali né sono state rinvenute strutture idrogeologiche significative da potere interferire con le opere in progetto.

Ciò nonostante, dopo un'attenta analisi multidisciplinare e multi-criteriale si è arrivati alla conclusione che un inerbimento nel periodo autunno-inverno consentirebbe di risolvere e/o mitigare fenomeni quali splash erosion e rill erosion che concorrono in maniera determinate al "Consumo del Suolo" e "al rischio desertificazione".

La tecnica dell'inerbimento proteggerebbe la struttura del suolo dall'azione diretta della pioggia e, grazie agli apparati radicali legati al terreno, riduce la perdita di substrato agrario anche fino a circa il 95% rispetto alle zone oggetto di lavorazione del substrato. Consentirebbe una maggiore e più rapida infiltrazione dell'acqua piovana ed il conseguente ruscellamento e determinerebbe un aumento della portanza del terreno con ricadute positive sia sulla stabilità dei versanti, sia sulla capacità di smaltimento, mitigando e minimizzando possibili fenomeni di impaludamenti e solchi di erosione superficiali che con il passare degli anni possono alterare la capacità portante dei terreni.

Con tali accorgimenti le acque piovane verranno assorbite nel terreno in modo naturale in tutta l'area non alterandone il coefficiente di permeabilità e le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche.

Tali aspetti mitigativi, unitamente alle soluzioni tecniche prescritte nella relazione agronomica, avranno effetti positivi anche sull'applicazione del principio di invarianza idraulica, grazie ad una diminuzione dei valori di coefficienti di deflusso meteorico ed un miglioramento dei valori di infiltrazione efficace e di ritenzione idrica non incrementando, dunque, le portate di deflusso verso i corpi idrici ricettori rispetto ai valori preesistenti.

Dal punto di vista dei valori di permeabilità dei complessi idrogeologici presenti, i litotipi affioranti sono caratterizzati da una permeabilità media per porosità e nei litotipi più cementati per fratturazione.

Al fine di mantenere inalterato la naturale capacità di assorbimento delle acque meteoriche da parte dei terreni, bisognerà limitare al massimo la realizzazione di superfici impermeabili quali a titolo esemplificativo il manto di copertura della viabilità interna, delle piazzole, utilizzando materiale con misto granulometrico opportunamente classato che garantirà un grado di permeabilità idonea. Con tali accorgimenti le acque piovane verranno assorbite nel terreno in modo naturale in tutta l'area non alterandone il coefficiente di permeabilità e le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche.

Per quanto riguarda gli aspetti delle interferenze con il reticolo idrografico le linee di drenaggio superficiale delle aree oggetto di studio sono ben evidenti e si manifestano con un pattern piuttosto rettilineo segno di uno stadio piuttosto giovanile del complesso idrografico dell'area. Il reticolo in particolare nel sito in progetto mostra una direzione preferenziale E-W e N-S. Gli impluvi che scorrono all'interno del sito in progetto risultano quasi sempre in condizioni asciutte, e fungono da elementi idrografici di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento.

Si rappresenta che il layout progettuale è stato sviluppato tenendo conto delle indicazioni del DSG 189/2020 e del R.D. 523/1904. A riguardo si riporta in allegato la carta delle interferenze con il reticolo idrografico ufficiale censito nella cartografia ATA 2012-2013.

Dal punto di vista idraulico, l'area oggetto di intervento **non ricade** in aree vincolate come si evince dalla cartografia allegata al PAI Sicilia, attualmente presente nel portale dedicato (comprensiva degli ultimi aggiornamenti) relativamente a: siti d'attenzione; pericolosità e rischio idraulico.

Dal punto di vista degli impatti sulle matrici ambientali, si sottolinea che l'impianto fotovoltaico è privo di scarichi sul suolo, pertanto non sussistono rischi di contaminazione del terreno e delle acque superficiali e profonde. Inoltre la pulizia dei moduli fotovoltaici dovrà avvenire senza l'utilizzo di detersivi ed esclusivamente con acqua in modo tale da non riversare sul terreno agenti chimici inquinanti.

In base ai risultati delle indagini sismiche masw eseguite nel sito in progetto, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (ai sensi del D.M. 17/01/2018), il terreno di fondazione rientra sempre nella **categoria di sottosuolo di tipo C**.

Per una preliminare valutazione, infine, sulla tipologia e dimensionamento delle fondazioni possono essere usati i parametri nominali indicati nel paragrafo dedicato alla caratterizzazione geotecnica.

Si rimanda, infine, al progettista incaricato, la valutazione delle tipologie e delle lunghezze di infissione delle strutture fondali dei trackers dell'impianto fotovoltaico.

Gli aspetti geomorfologici, geotecnici ed idrogeologici dovranno, comunque, essere appurati in sede di progettazione esecutiva e in ogni caso prima della realizzazione dell'opera, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche e prove di laboratorio, al fine di potere effettivamente individuare le stratigrafie presenti e le eventuali problematiche sul dimensionamento delle fondazioni degli impianti e di stabilità l.s..

Per la verifica geotecnica del complesso terreno-fondazione si rimanda ai relativi calcoli.

Palermo, Novembre 2021

IL PROFESSIONISTA

Dott. Geol. Michele Ognibene

ALLEGATO I

RELAZIONE INDAGINI SISMICHE RIFRAZIONE E MASW

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE	4
2.1	Cenni sulla sismica a rifrazione.....	4
2.2	Strumentazione e tecniche utilizzate	7
3	INDAGINE DI SISMICA MASW	8
3.1	Cenni sulla metodologia di indagine	8
3.2	Strumentazione e tecniche utilizzate	9
4	RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE	11
4.1	Prospezione sismica a rifrazione Rz1	11
4.2	Prospezione sismica a rifrazione Rz2	18
4.3	Prospezione sismica a rifrazione Rz3	27
5	RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW	35
5.1	RISULTATI INDAGINI	35
6	CONCLUSIONI	38

1. INTRODUZIONE

La Società GUARRATO SRL intende Realizzare nel Comune di Misiliscemi (TP), un impianto Agro-Fotovoltaico denominato "Guarrato" della potenza di 48,23 MW in località Costa Guardia".

Il presente studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti e in accordo al DM del 17/01/2018 e con attività di rilevamento geologico e geolitologico di dettaglio, sia dei terreni direttamente interessati, sia di quelli dell'immediato intorno nonché da quanto è stato possibile reperire dalla letteratura esistente su alcuni lavori di carattere geologico effettuati nell'area sempre dallo scrivente.

Sono state inoltre, consultate le carte tematiche relative alla Pericolosità e del Rischio Geomorfologico del P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico) edite dalla Regione Sicilia con decreto Art.1 180/98.

Il sito oggetto delle indagini ricade in località Costa Guardia, territorio del Comune di Missiliscemi, e la porzione baricentrica dell'impianto è individuabile alle coordinate geografiche (WGS84):

Latitudine = 37°55'50.23"

Longitudine = 12°34'45.59"E

Altitudine media = 90 m s.l.m.

Il piano di indagini in fase di progettazione definitiva ha previsto la realizzazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018, la realizzazione di n°3 stendimenti per indagine di sismica a rifrazione e n°2 stese sismiche per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di valutare sia la stratigrafia del sito e ricavare il parametro VSeq.

L'ubicazione delle indagini sono rappresentate tramite la carta delle indagini allegata al presente studio.

Dette indagini sono state realizzate in data 15/06/2021.

2. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

2.1. CENNI SULLA SISMICA A RIFRAZIONE

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 rifrattore). 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 λ , 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 λ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

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

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

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

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

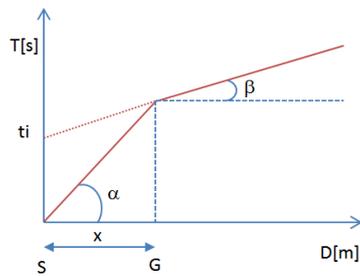
$$T = x_i / V_1$$

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

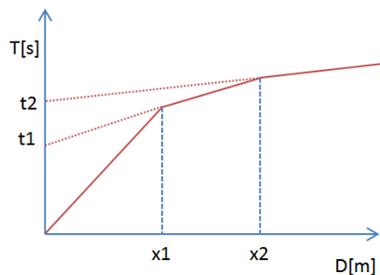
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi- distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

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

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



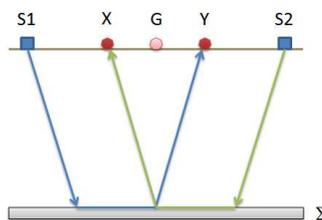
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina,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



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

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

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980. Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



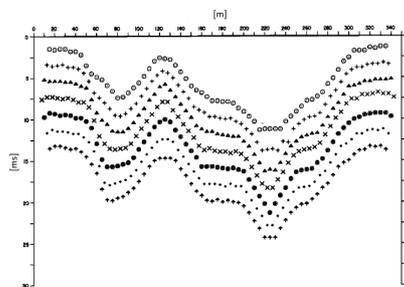
Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno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

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

dove TS1Y e TS2X sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 a X e dalla sorgente S2 a Y mentre TS1S2 è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. Tv è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X e Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento. Il calcolo della funzione Tv 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 Vn 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°.

2.2. STRUMENTAZIONE E TECNICHE UTILIZZATE

Le indagini sono state eseguite utilizzando il sismografo digitale della Sara electronic instruments® dotato di un sistema di acquisizione fino a 24 canali e convertitore A/D a 24 bit. La prova è stata realizzata mediante uno stendimento lineare, lungo un terreno di copertura, con n°16 trasduttori di velocità verticali (geofoni) con frequenza di vibrazione propria di 4,5Hz dotati di memoria e convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi); i canali a sua volta sono collegati ad un'unità di testa collegata ad un personal computer portatile. L'attrezzatura risulta, inoltre, dotata di un sistema di trigger che consiste in un geofono indipendente posto a fianco della piastra di battuta, che dà il segnale di start al sismografo; Nello stendimento i geofoni sono stati posizionati ad una distanza intergeofonica di 2 metri mentre l'acquisizione è stata effettuata con un

tempo di registrazione $T = 256 \text{ ms}$ ed un intervallo di campionamento $\Delta t = 250 \mu\text{s}$. Per l'energizzazione è stata usata una mazza da 8 kg ed un piattello in PVC 20x20 cm; in tutto sono state effettuate numero 3 energizzazioni. Per ottenere una traccia con un buon rapporto segnale/rumore, sono state eseguite tre energizzazioni per ogni punto di battuta rispettivamente, tra l'8° e il 9° geofono. Inoltre ulteriori 2 battute poste a 2 metri dall'ultimo e dal primo geofono come da schema riportato in figure 2.2.1.

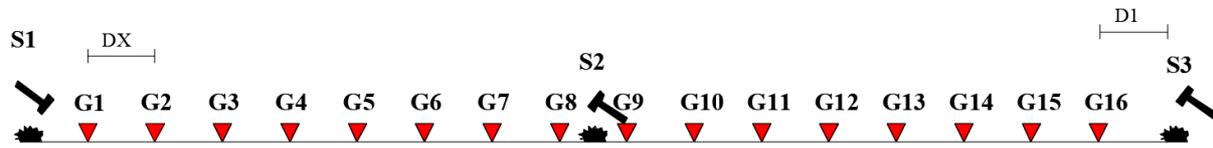


Fig. 2.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

Per l'ubicazione su stralcio planimetrico vedi la carta delle indagini.

3. INDAGINE DI SISMICA MASW

3.1. CENNI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE 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.

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.

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.

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.

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.

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.

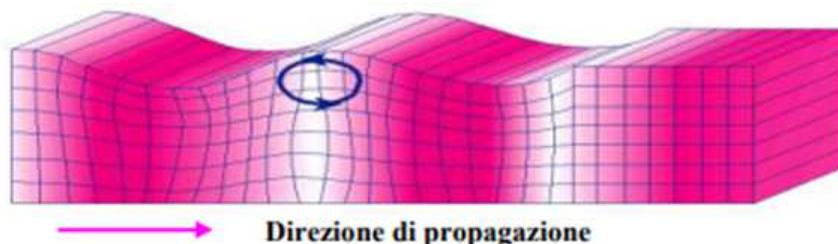
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Il metodo si basa sul rilievo di onde di superficie (onde di Rayleigh); queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono

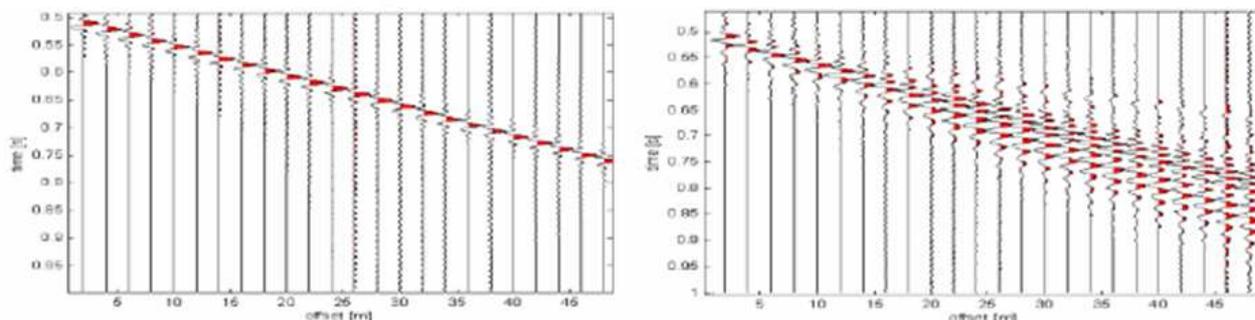
polarizzate in un piano verticale. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Ciò consente, analizzando la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che dipende dall'inverso della lunghezza d'onda), di determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.

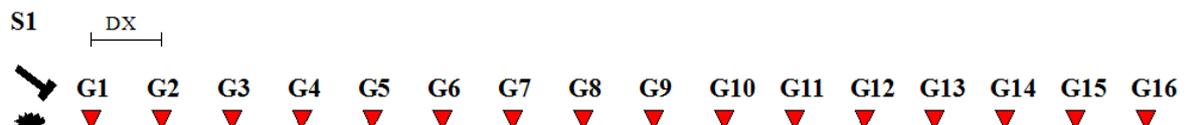


Il metodo MASW consente in genere di valutare le velocità di fase in un intervallo di frequenze tra 5 Hz e 70 Hz, permettendo quindi di indagare i primi 30 - 50 metri di terreno, in funzione della rigidità del suolo.

Una volta misurata in situ la velocità di fase (o curva di dispersione apparente) delle onde superficiali essendo questa funzione della velocità delle onde di taglio V_s (oltre che della natura del terreno e degli spessori degli strati) è possibile risalire al valore di queste ultime attraverso un processo d'inversione, in genere attraverso una procedura automatica tramite software che variando opportunamente spessore degli strati e velocità V_s cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale della velocità di fase misurata in situ e la curva numerica elaborata. In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è inferiore al 10% il profilo di velocità delle onde di taglio V_s rappresenta una soluzione potenzialmente valida.

3.2. STRUMENTAZIONE MASW E TECNICHE UTILIZZATE

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments® a 16 bit (registratore DOREMI), 16 geofoni a frequenza di 4.5 Hz e da un personal computer. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello in pvc. L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo uno stendimento lineare di 16 metri di lunghezza con 16 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 2 metri. Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate ripetute energizzazioni disposte alle estremità del profilo ad una distanza di 2 metri dal primo geofono come da schema allegato.



I dati sono stati elaborati tramite il software Easy Masw. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie. Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

I risultati grafici dell'elaborazione sono allegati alla presente relazione.

4. RISULTATI DELLE INDAGINI DI SIMICA A RIFRAZIONE

La metodologia utilizzata nella prospezione di sismica a rifrazione consta di diverse fasi di elaborazione. Preliminarmente, sono stati individuati nei sismogrammi i primi arrivi corrispondenti alle onde dirette e rifratte. Dopo aver rilevato i tempi dei primi arrivi sono state tracciate le dromocrone nel diagramma distanza-tempo. Per la ricostruzione del modello sismostratigrafico è stato utilizzato il software Easy Refract, adottando il Metodo Reciproco Generalizzato (GRM), che si basa sulla ricerca, nel diagramma tempi-distanze, di una distanza intergeofonica XY ottimale; tale che i raggi generati in punti opposti arrivino al geofono posto in X e quello posto in Y a partire dallo stesso punto del rifrattore.

4.1 Prospezione sismica a rifrazione Rz1

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rz1 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p sensibilmente differenti (Fig. 4.2.1).

Livello superficiale di natura eluvio-colluviale (spessore è valutabile in circa 3,0 – 3,2 metri dal p.c.) a prevalente matrice limosa di colore rossastro; Si riconosce del terreno vegetale fino ad una profondità di circa 1,0 m dal p.c. per poi passare ad un orizzonte eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso.

Depositi di natura alluvionale costituiti da argille limose-sabbiose con presenza di ciottoli arrotondati e con grado di consistenza che migliora con la profondità oltre i 4,20 metri dal p.c. In corrispondenza delle aree morfologicamente più elevate si riscontrano la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi.

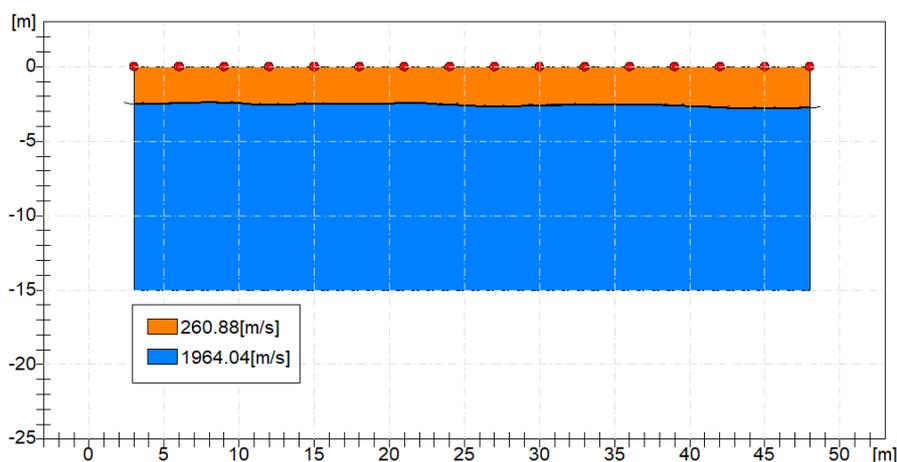


Fig. 4.1.1.: Sezione sismo-stratigrafica dell'Impianto FV 22.

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz1

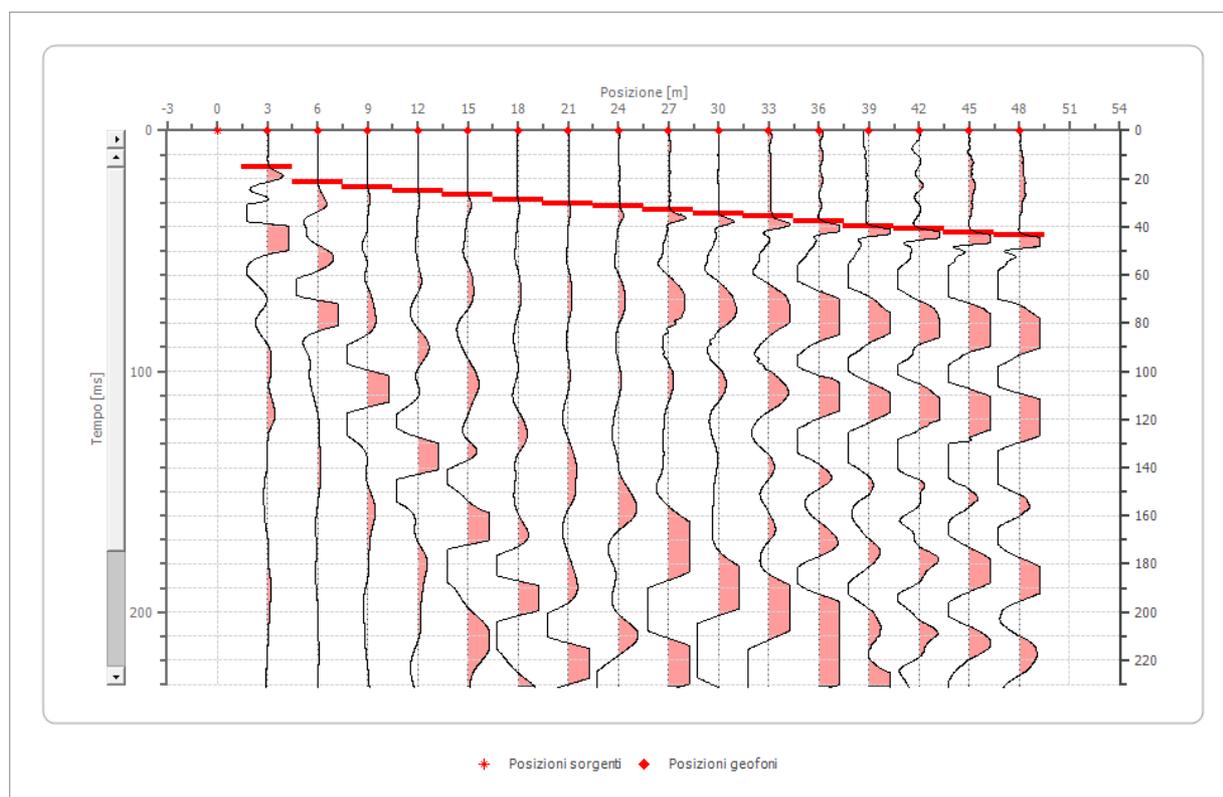
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	3.0	0.0
2	6.0	0.0
3	9.0	0.0
4	12.0	0.0
5	15.0	0.0
6	18.0	0.0
7	21.0	0.0
8	24.0	0.0
9	27.0	0.0
10	30.0	0.0
11	33.0	0.0
12	36.0	0.0
13	39.0	0.0
14	42.0	0.0
15	45.0	0.0
16	48.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

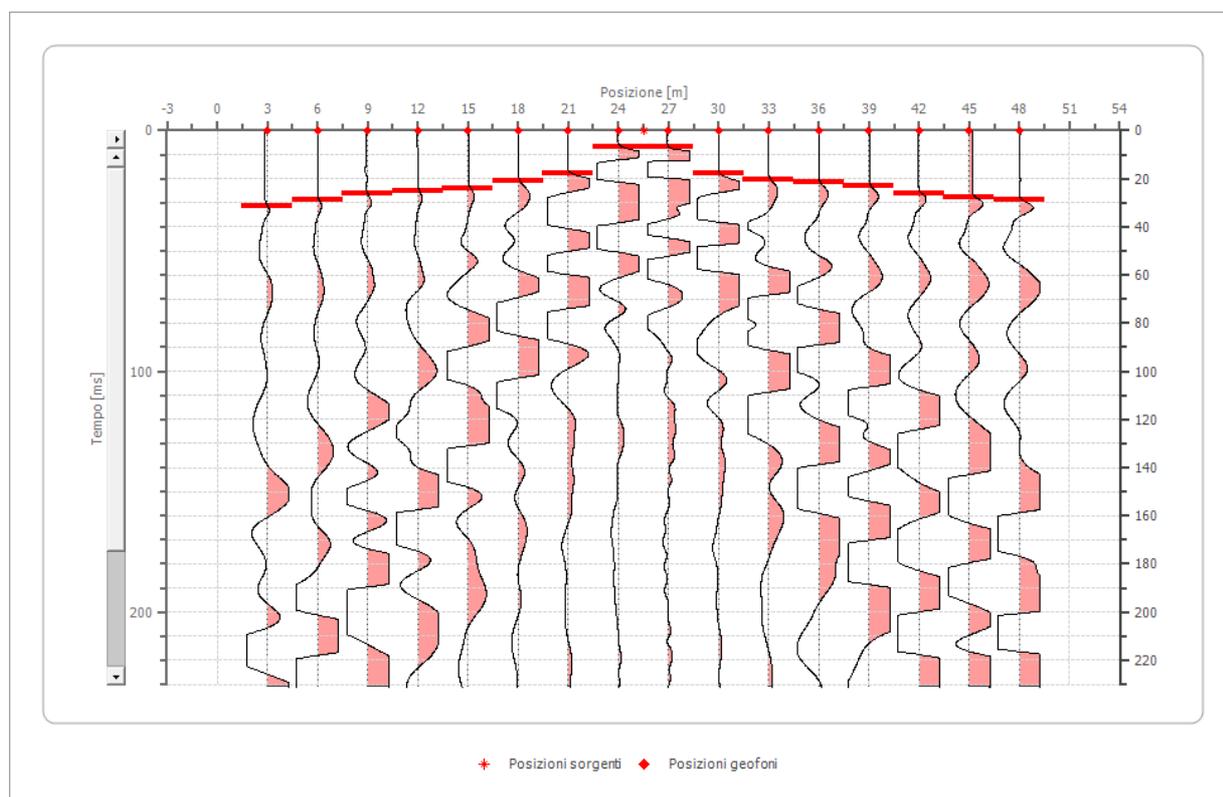
Posizione sorgente X 0 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	15.1753
6.0	21.2000
9.0	23.4000
12.0	25.1177
15.0	26.6876
18.0	28.7807
21.0	30.3506
24.0	31.3972
27.0	33.0000
30.0	34.6000
33.0	35.5835
36.0	37.8000
39.0	39.8000
42.0	41.0000
45.0	42.4000
48.0	43.6000

Battuta 2

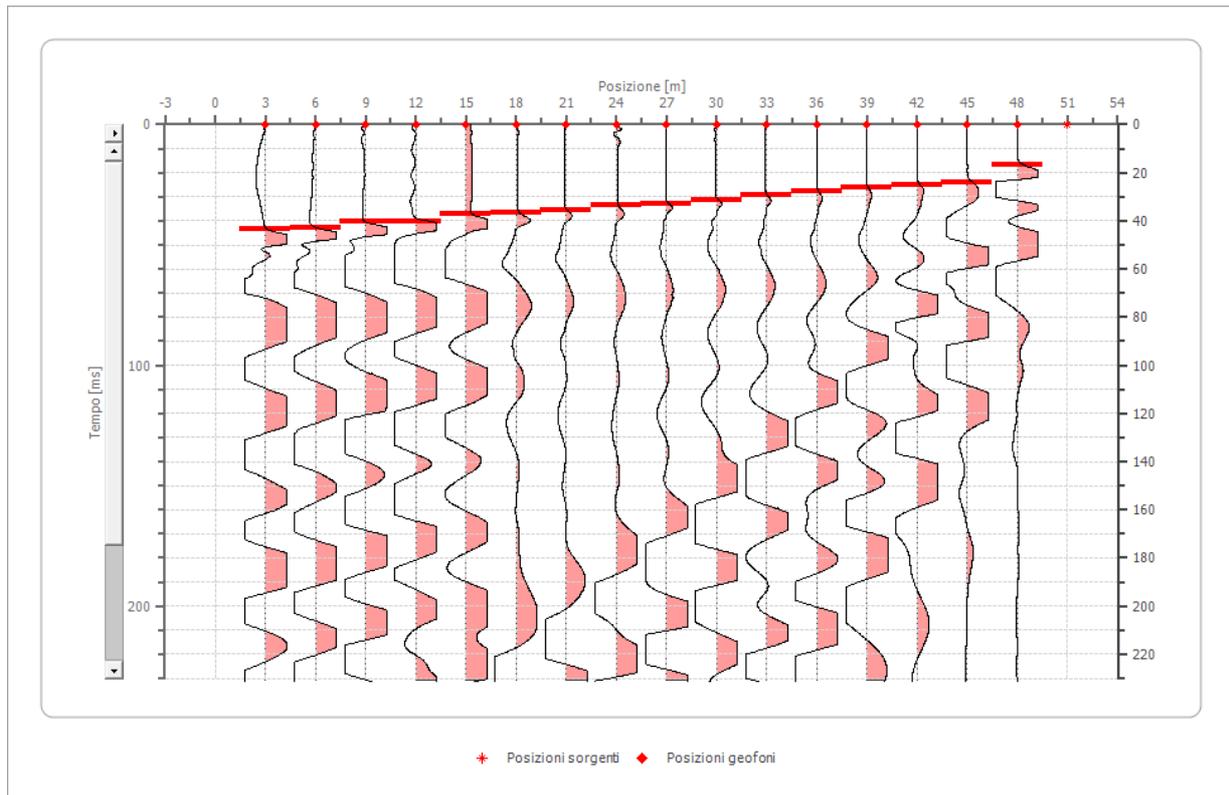
Posizione sorgente X 26 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	31.3972
6.0	28.7807
9.0	26.1643
12.0	25.1177
15.0	24.0712
18.0	20.9315
21.0	17.7917
24.0	6.8027
27.0	6.8027
30.0	17.7917
33.0	20.4082
36.0	21.4547
39.0	23.0246
42.0	26.1643
45.0	27.7342
48.0	28.7807

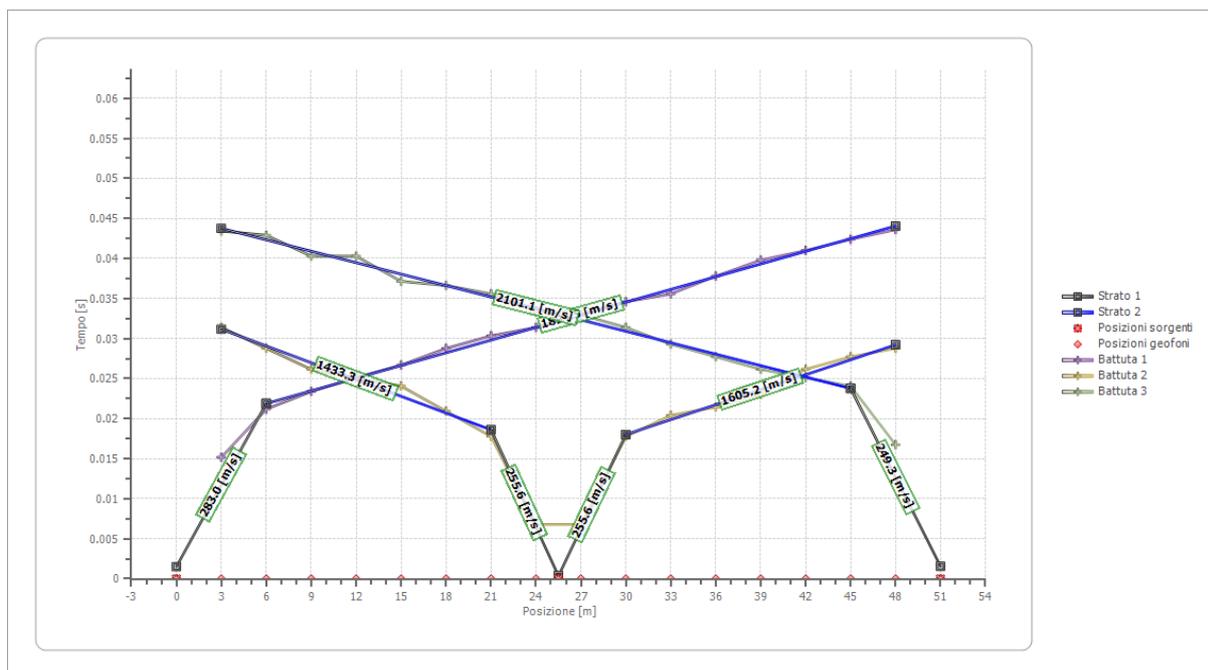
Battuta 3

Posizione sorgente X 51 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

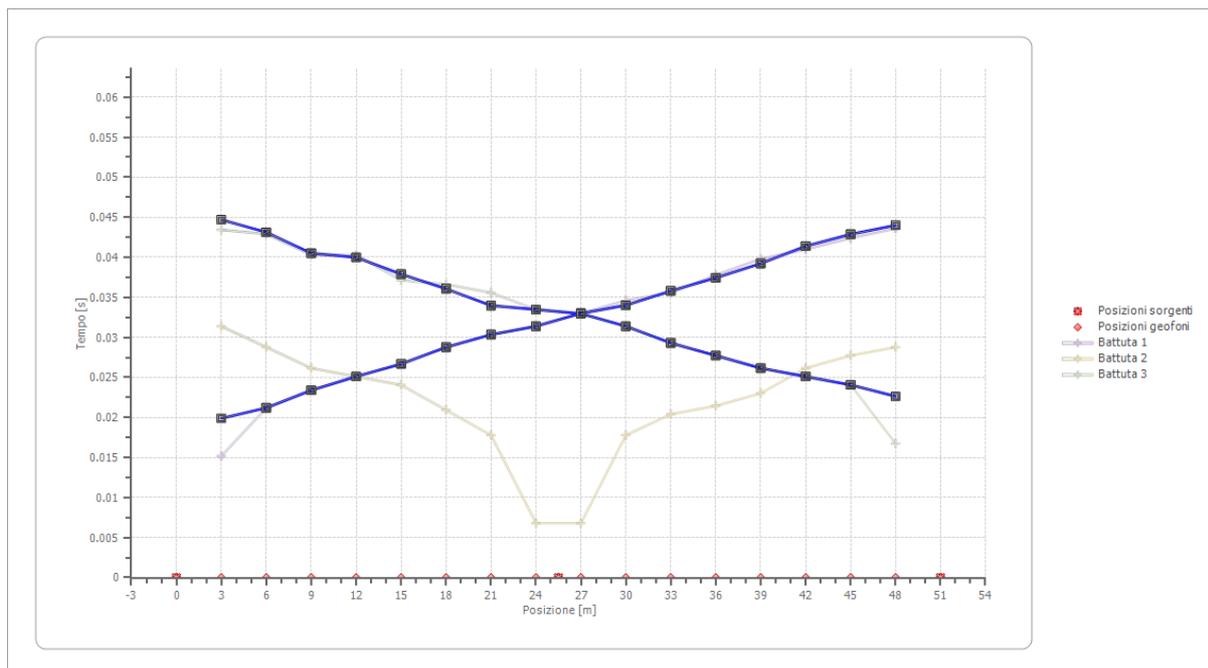


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	43.4328
6.0	42.9095
9.0	40.2930
12.0	40.2930
15.0	37.1533
18.0	36.6300
21.0	35.5835
24.0	33.4903
27.0	32.9670
30.0	31.3972
33.0	29.3040
36.0	27.7342
39.0	26.1643
42.0	25.1177
45.0	24.0712
48.0	16.7452

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,.R.M.

XY: 0

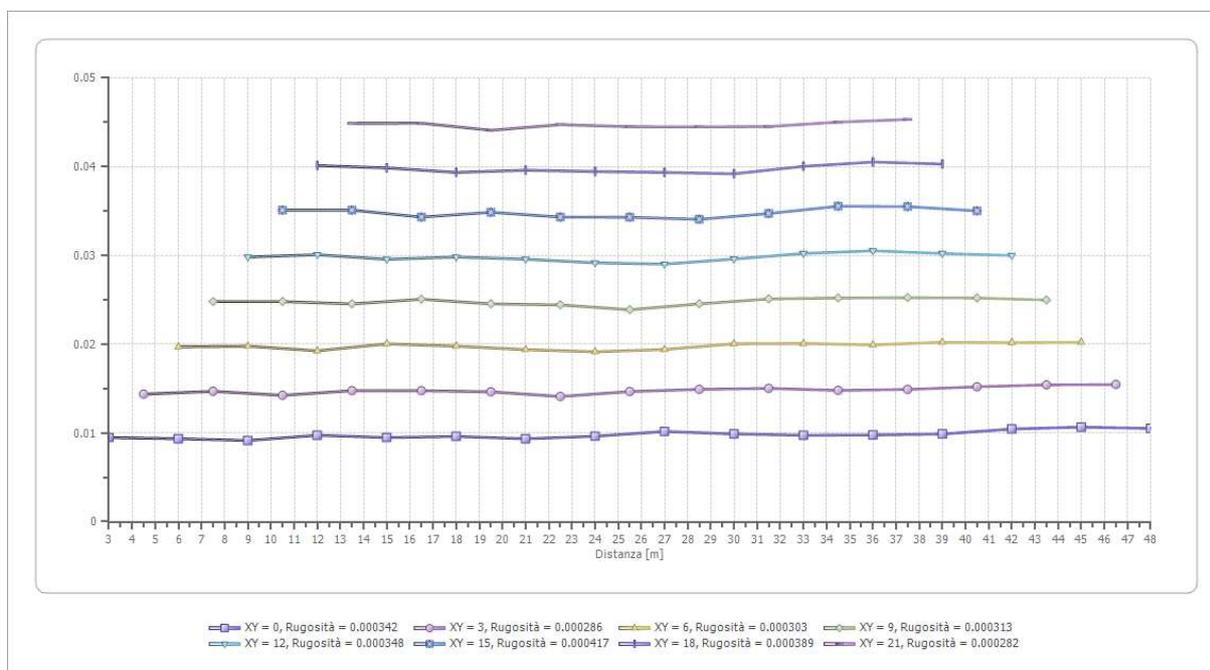
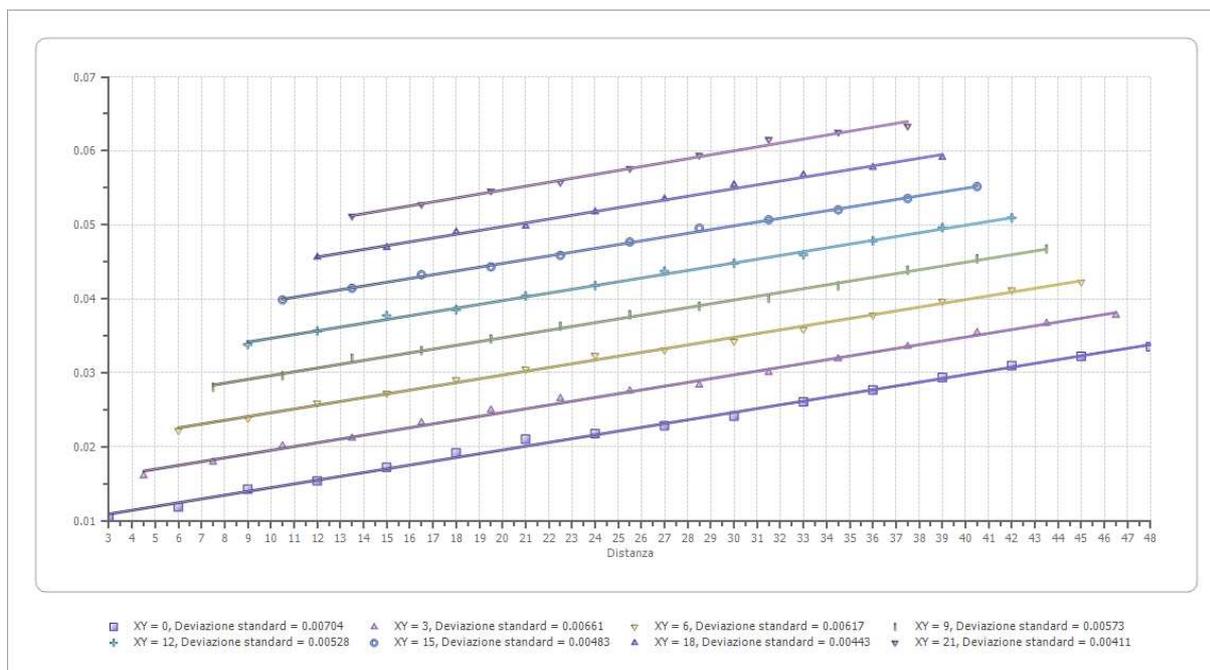
	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 3.0 [m]	2.5	--
G= 6.0 [m]	2.5	--
G= 9.0 [m]	2.4	--

G= 12.0 [m]	2.6	--
G= 15.0 [m]	2.5	--
G= 18.0 [m]	2.5	--
G= 21.0 [m]	2.5	--
G= 24.0 [m]	2.5	--
G= 27.0 [m]	2.7	--
G= 30.0 [m]	2.6	--
G= 33.0 [m]	2.6	--
G= 36.0 [m]	2.6	--
G= 39.0 [m]	2.6	--
G= 42.0 [m]	2.8	--
G= 45.0 [m]	2.8	--
G= 48.0 [m]	2.8	--
Velocità [m/sec]	260.9	1964.0
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	260.88	1964.04
Vs [m/s]	125.32	943.49
G0 [MPa]	26.70	1602.32
Ed [Mpa]	115.70	6943.39
M0 [MPa]	89.00	5341.07
Ey [Mpa]	72.09	4326.27

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



4.2 Prospezione sismica a rifrazione Rz2

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rz2 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p sensibilmente differenti (Fig. 4.2.1).

Livello superficiale di natura eluvio-colluviale (spessore è valutabile in circa 2,5 – 2,7 metri dal p.c.) a prevalente matrice limosa di colore rossastro; Si riconosce del terreno vegetale fino ad una profondità di circa 0,7 m dal p.c. per poi passare ad un orizzonte eterogeneo e con una consistenza

significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso.

Argille debolmente sabbiose con presenza di ciottoli arrotondati e con grado di consistenza che migliora con la profondità oltre i 3,00 metri dal p.c. In corrispondenza delle aree morfologicamente più elevate si riscontrano la presenza di intercalazioni di calcareniti e calciruditi.

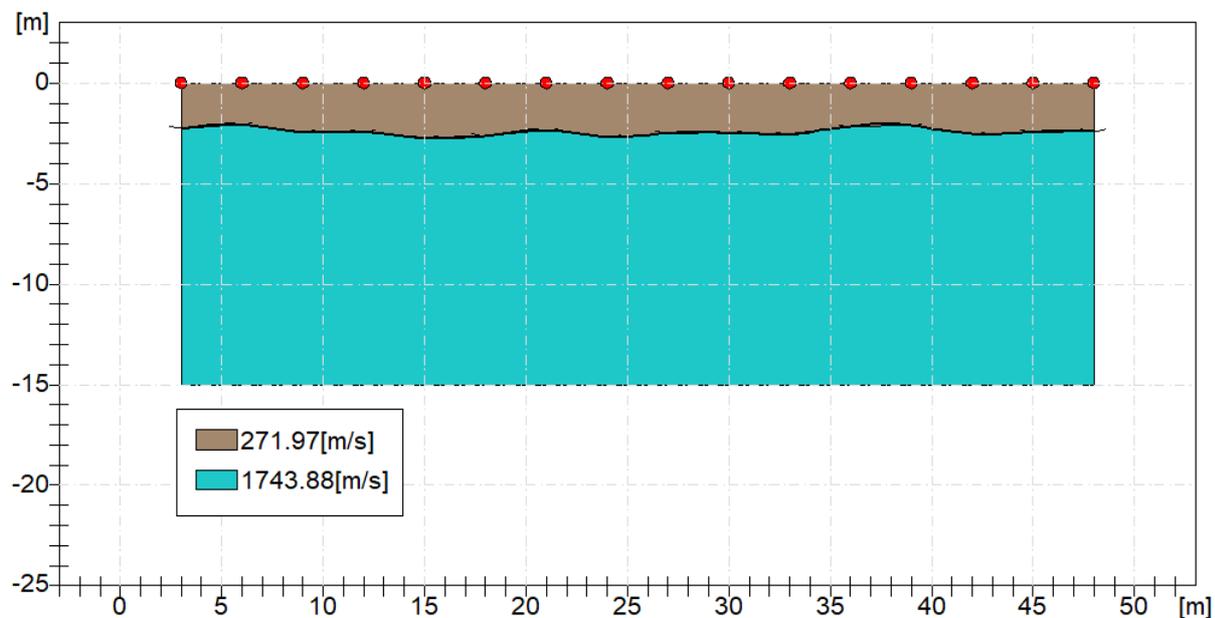


Fig. 4.1.2: Sezione sismo-stratigrafica dell'Impianto FV 24.

Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	3.0	0.0
2	6.0	0.0
3	9.0	0.0
4	12.0	0.0
5	15.0	0.0
6	18.0	0.0
7	21.0	0.0
8	24.0	0.0
9	27.0	0.0
10	30.0	0.0
11	33.0	0.0
12	36.0	0.0

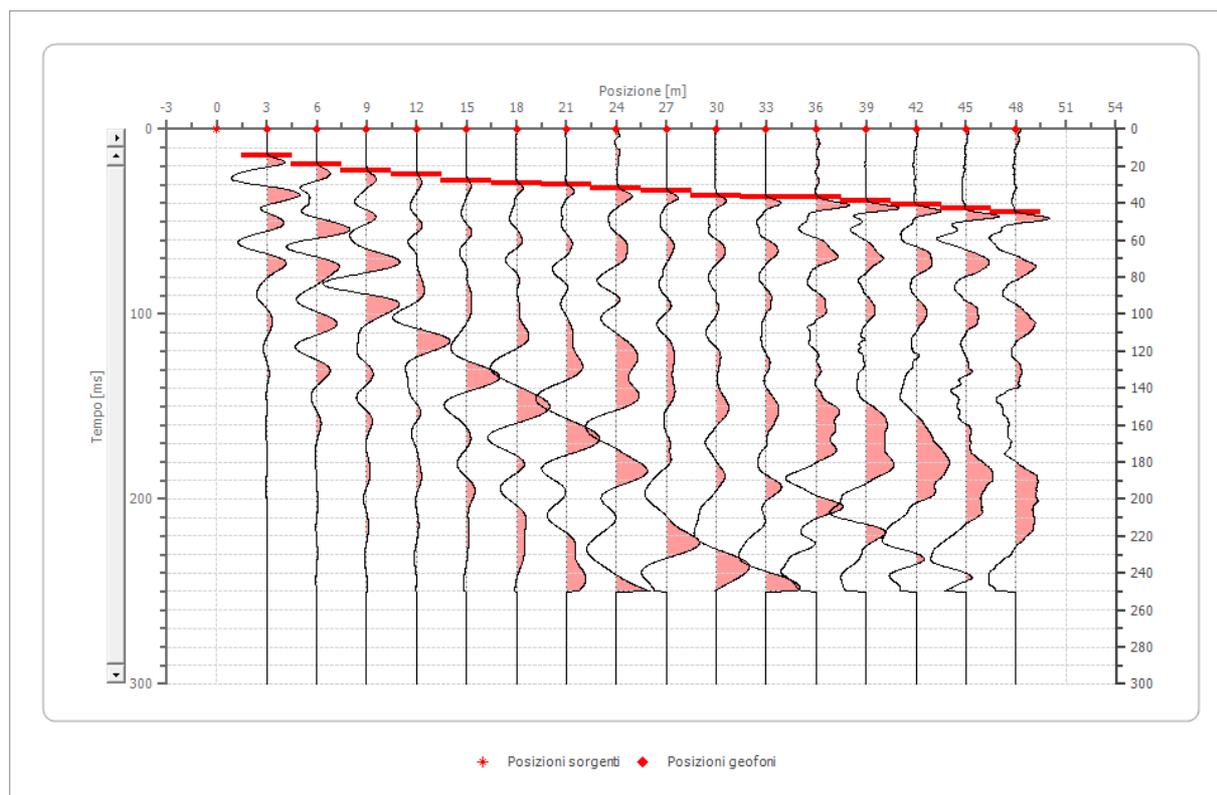
13	39.0	0.0
14	42.0	0.0
15	45.0	0.0
16	48.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



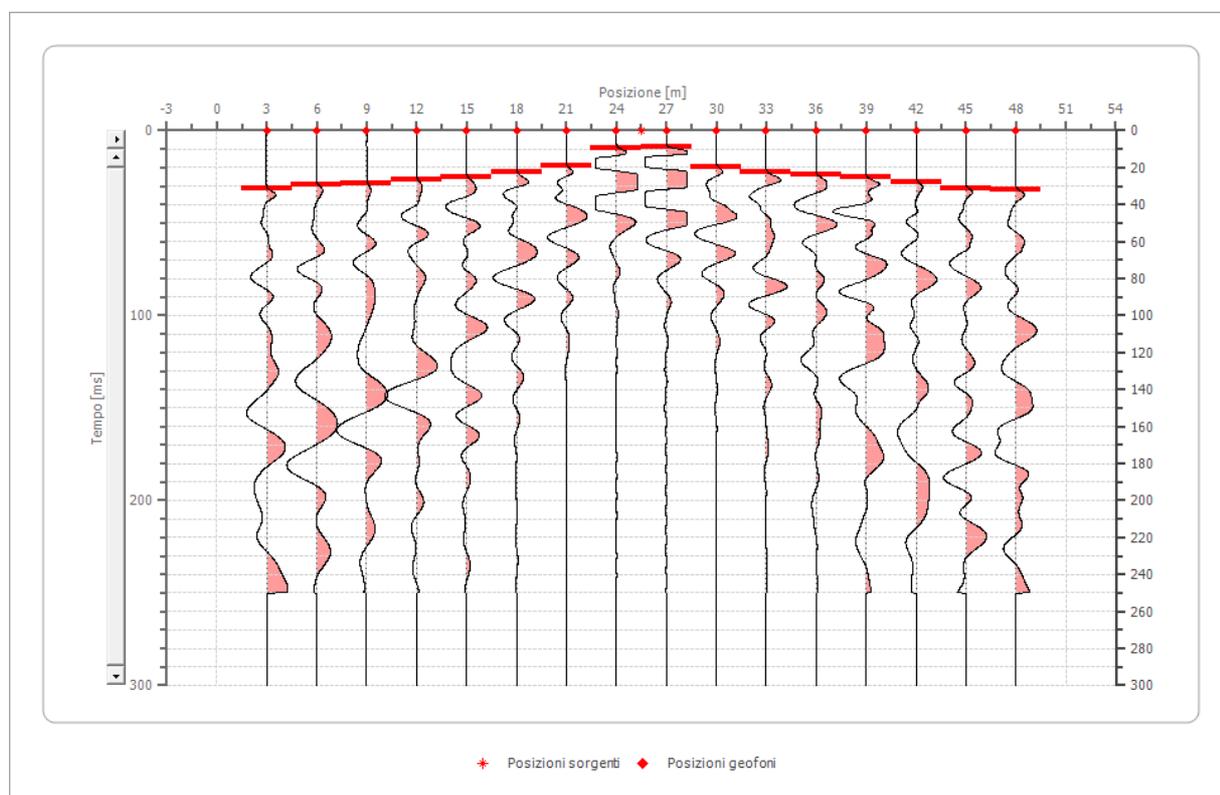
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	14.2857
6.0	19.0476
9.0	22.4490
12.0	24.4898
15.0	27.8912
18.0	29.2517
21.0	29.9320
24.0	31.9728

27.0	33.3333
30.0	36.0544
33.0	36.7347
36.0	36.7347
39.0	38.7755
42.0	40.8163
45.0	42.8571
48.0	44.8980

Battuta 2

Posizione sorgente X 26 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



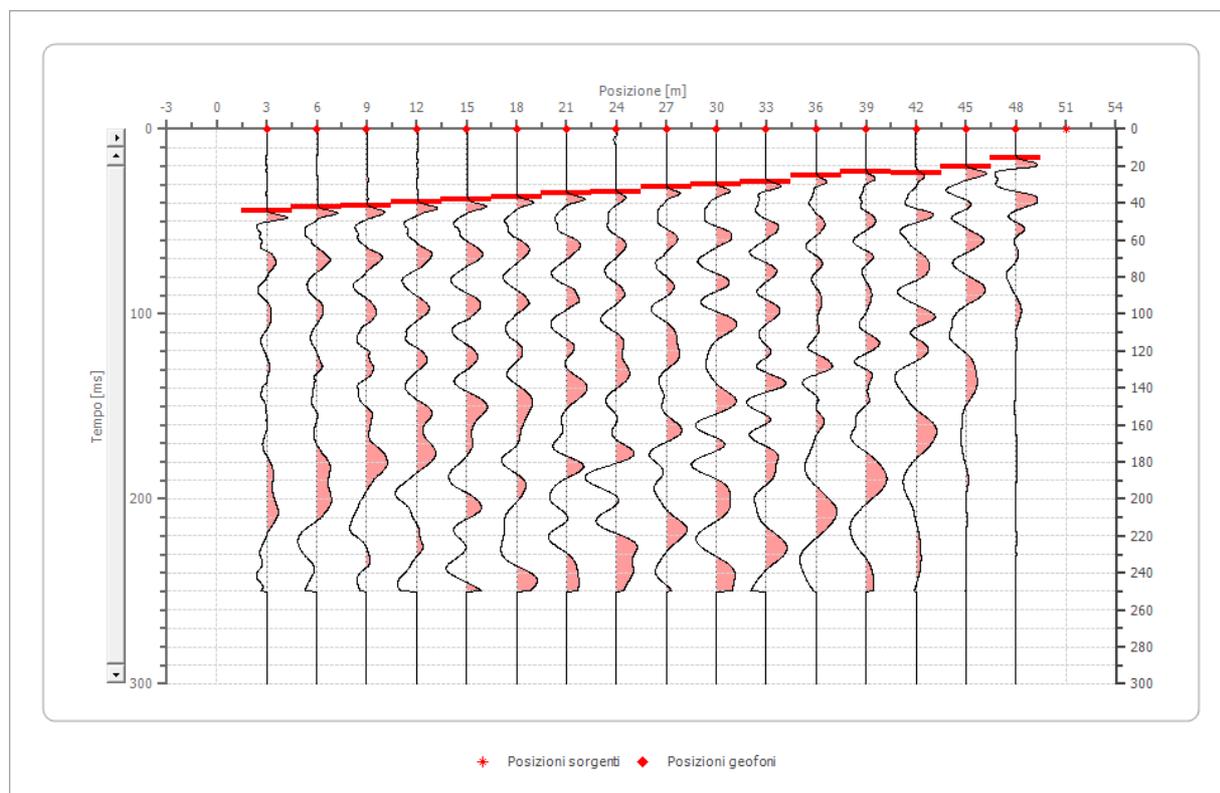
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	31.2925
6.0	29.2517
9.0	28.5714
12.0	26.5306

15.0	25.1701
18.0	22.4490
21.0	19.0476
24.0	9.5238
27.0	8.8435
30.0	19.7279
33.0	22.4490
36.0	23.8095
39.0	25.1701
42.0	27.8912
45.0	31.2925
48.0	31.9728

Battuta 3

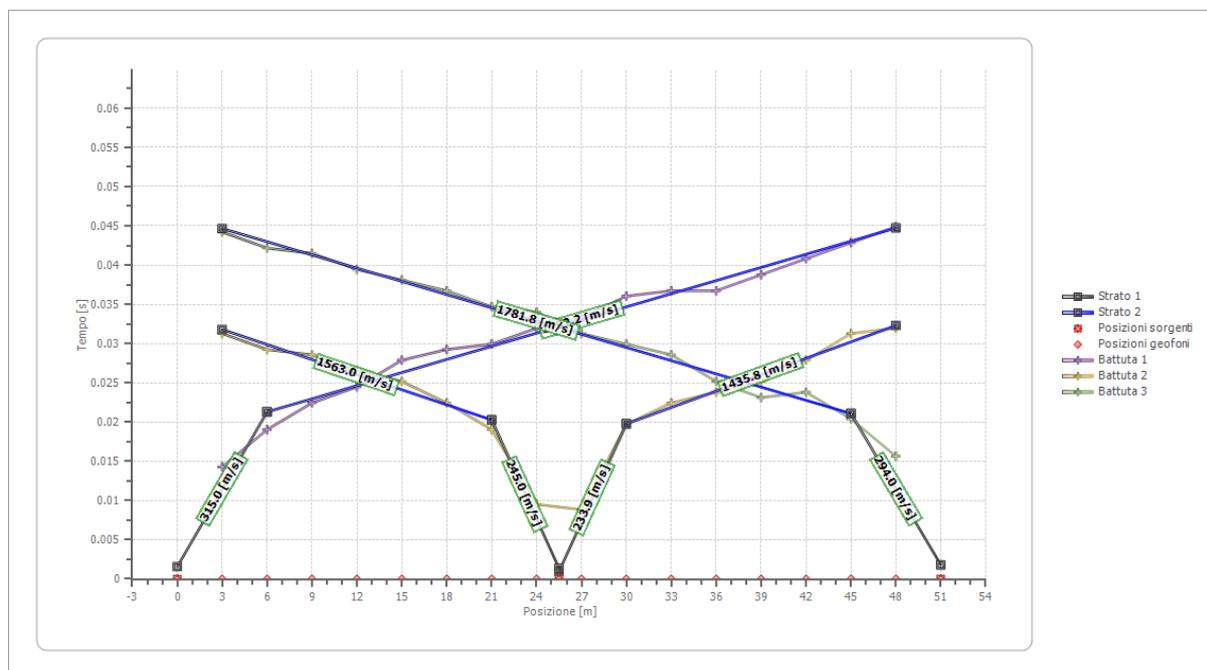
Posizione sorgente X 51 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

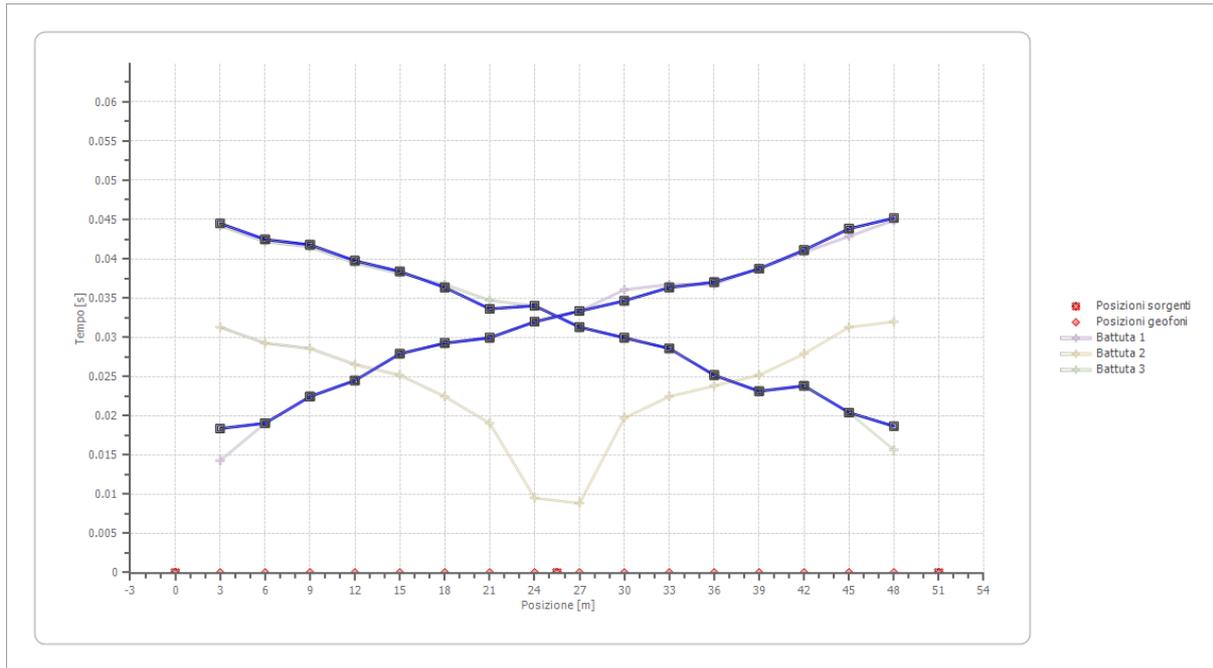


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	44.2177
6.0	42.1769
9.0	41.4966
12.0	39.4558
15.0	38.0952
18.0	36.7347
21.0	34.6939
24.0	34.0136
27.0	31.2925
30.0	29.9320
33.0	28.5714
36.0	25.1701
39.0	23.1293
42.0	23.8095
45.0	20.4082
48.0	15.6463

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 3.0 [m]	2.2	--
G= 6.0 [m]	2.1	--
G= 9.0 [m]	2.4	--
G= 12.0 [m]	2.4	--
G= 15.0 [m]	2.7	--
G= 18.0 [m]	2.6	--
G= 21.0 [m]	2.3	--
G= 24.0 [m]	2.7	--
G= 27.0 [m]	2.5	--
G= 30.0 [m]	2.5	--
G= 33.0 [m]	2.5	--
G= 36.0 [m]	2.2	--
G= 39.0 [m]	2.1	--
G= 42.0 [m]	2.5	--
G= 45.0 [m]	2.4	--
G= 48.0 [m]	2.4	--
Velocità [m/sec]	272.0	1743.9
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

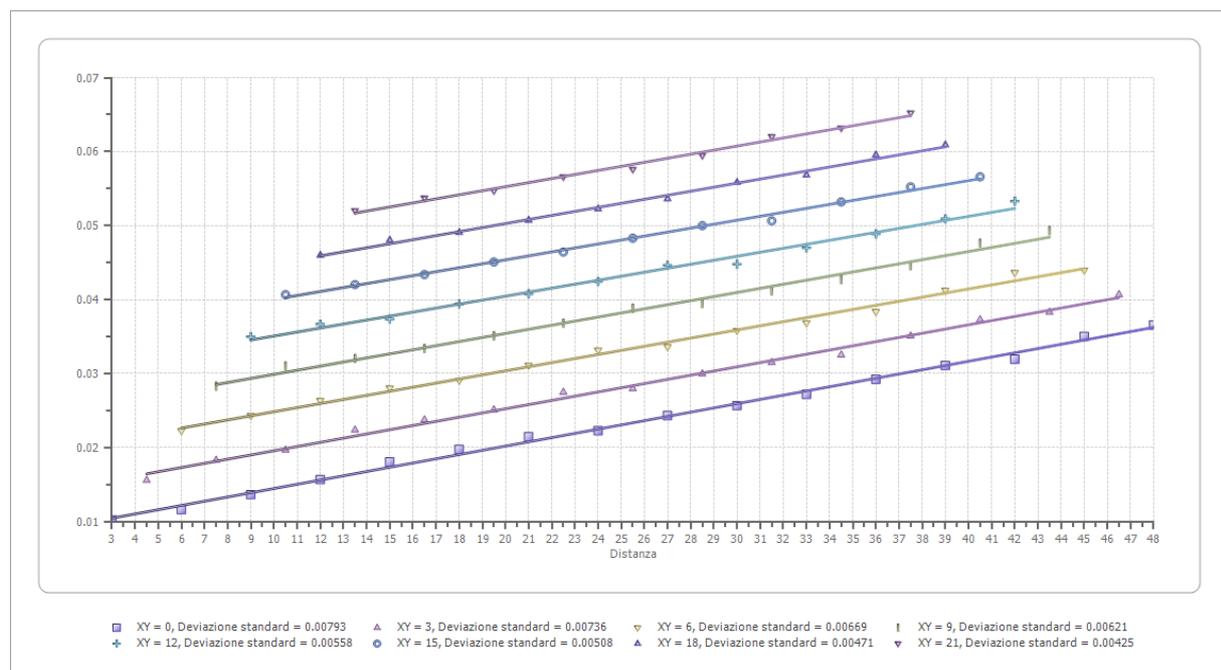
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	271.97	1743.88
Vs [m/s]	130.65	837.73
G0 [MPa]	29.02	1263.23
Ed [Mpa]	125.74	5474.00
M0 [MPa]	96.72	4210.77
Ey [Mpa]	78.35	3410.72

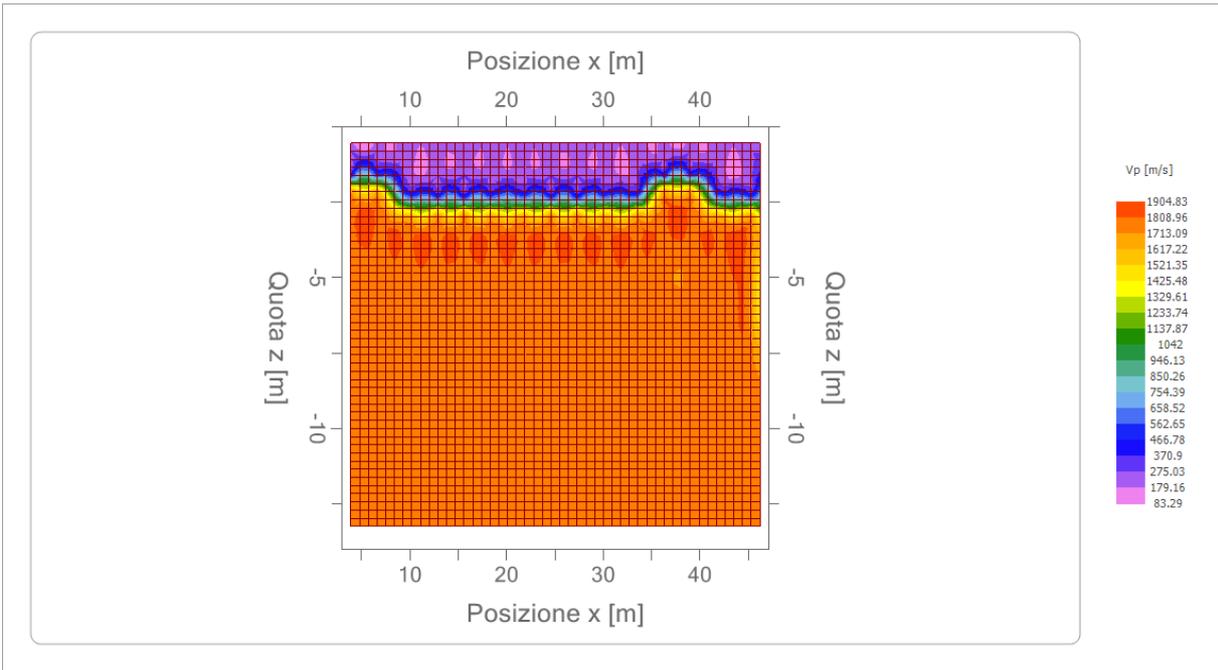
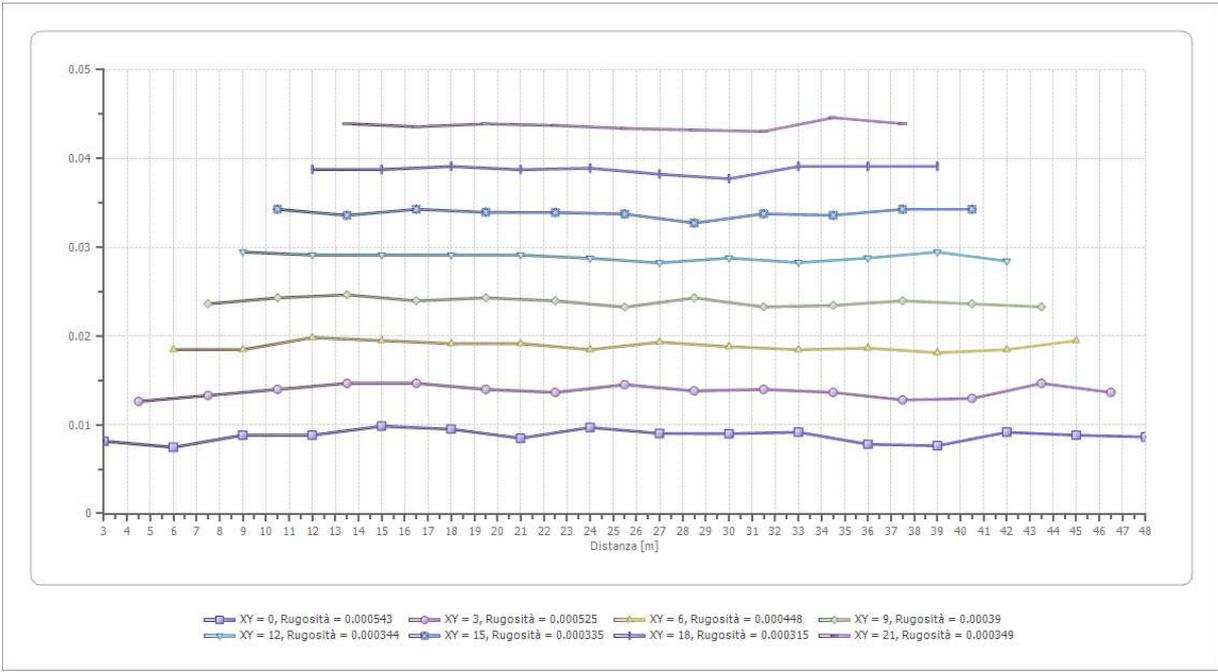
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





4.3 Prospezione sismica a rifrazione Rz3

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da basse velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 363,11 m/s, indicative di un orizzonte costituito da terreni sciolti e comunque poco addensati. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la superficie topografica, risulta variabile e mediamente valutabile in circa 1,8 metri.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una V_p di 1534.46 m/s; tale valore, medio, è compatibile con terreni di natura limo-argillosa da moderatamente consistenti a consistenti. Lo spessore risulta comunque indefinito.

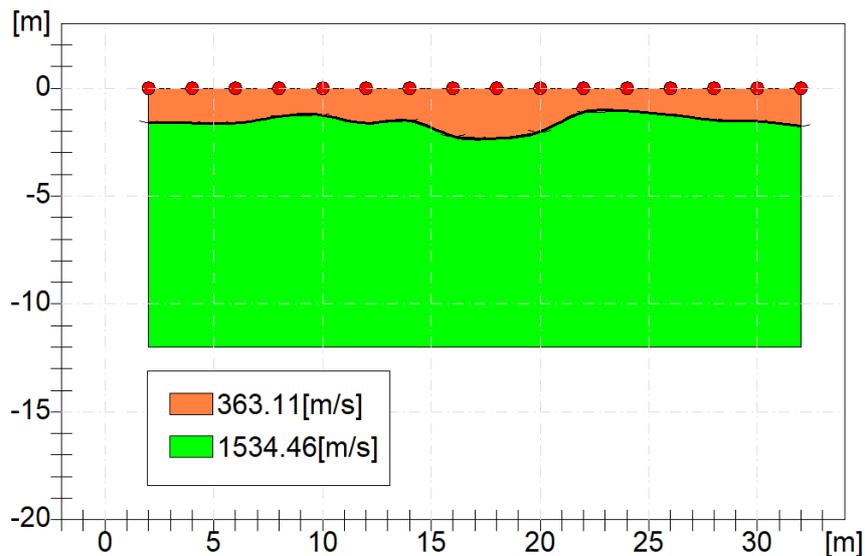


Fig. 4.3.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz3.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.2.1):

Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0

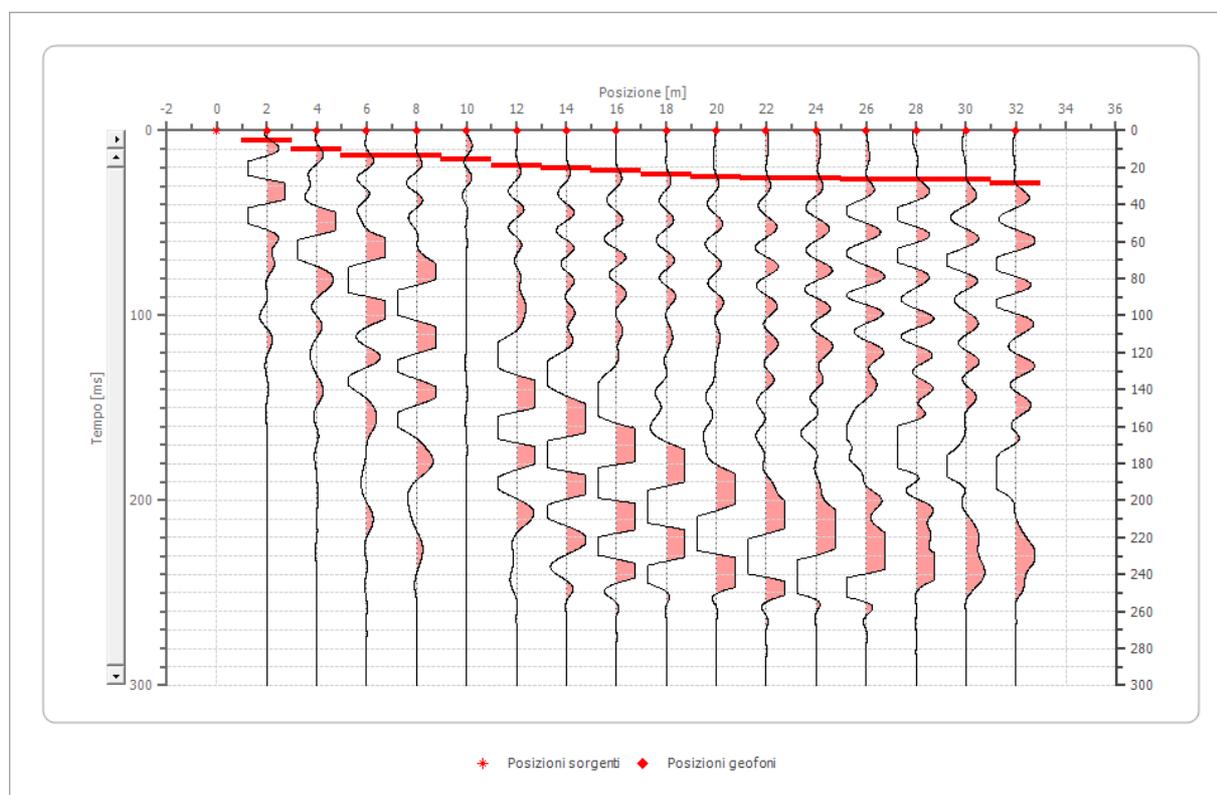
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



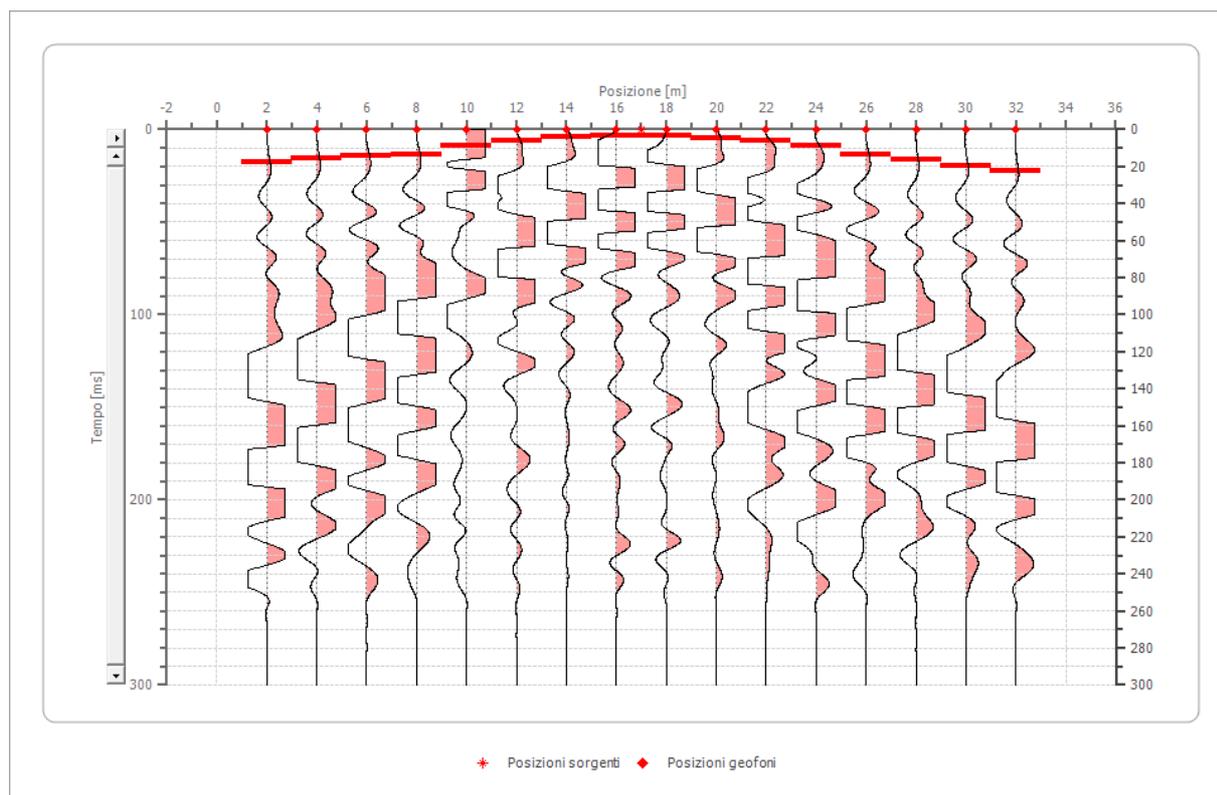
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.7561
4.0	9.9424
6.0	13.6054
8.0	13.6054
10.0	15.6986

12.0	19.3616
14.0	20.4082
16.0	21.4547
18.0	24.0712
20.0	25.1177
22.0	26.1643
24.0	25.6410
26.0	26.6876
28.0	26.6876
30.0	26.6876
32.0	28.7807

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



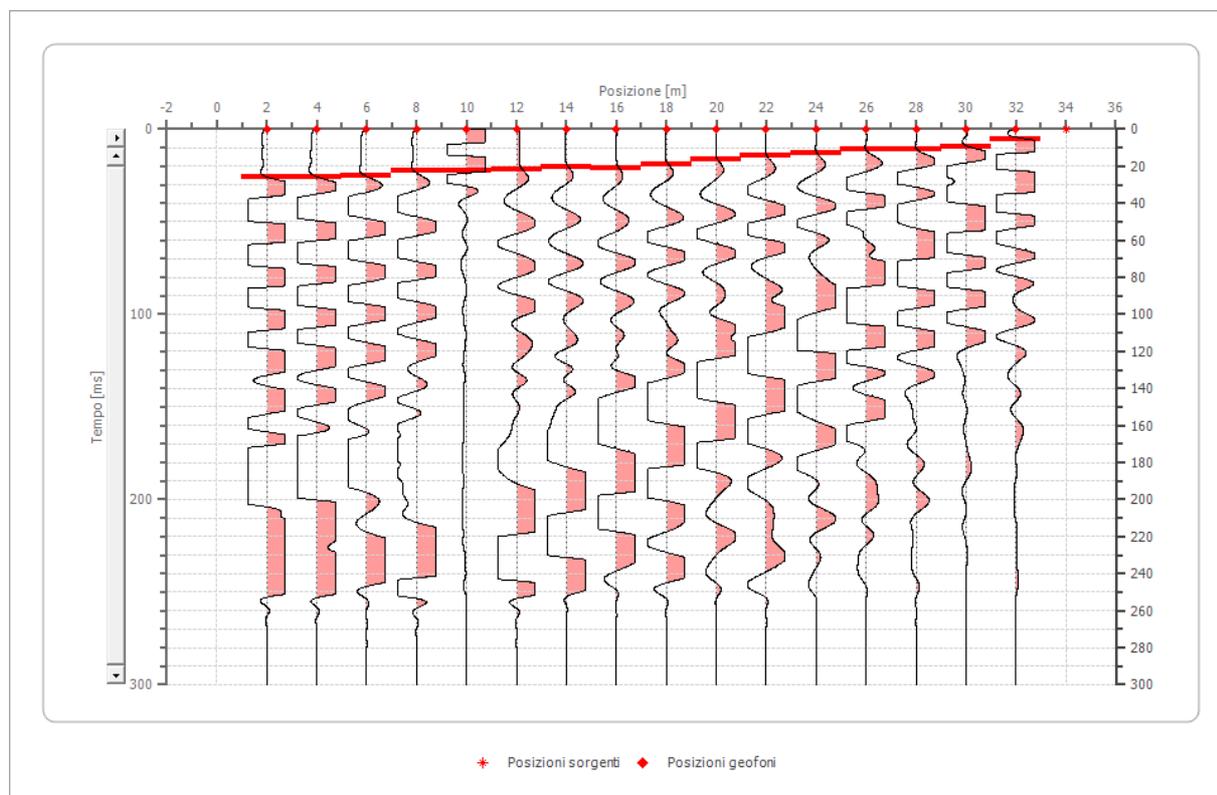
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	17.6871
4.0	15.6463
6.0	14.2857

8.0	13.6054
10.0	8.8435
12.0	6.1224
14.0	4.0816
16.0	3.4014
18.0	3.4014
20.0	4.7619
22.0	6.1224
24.0	8.8435
26.0	13.6054
28.0	16.3265
30.0	19.7279
32.0	22.4490

Battuta 3

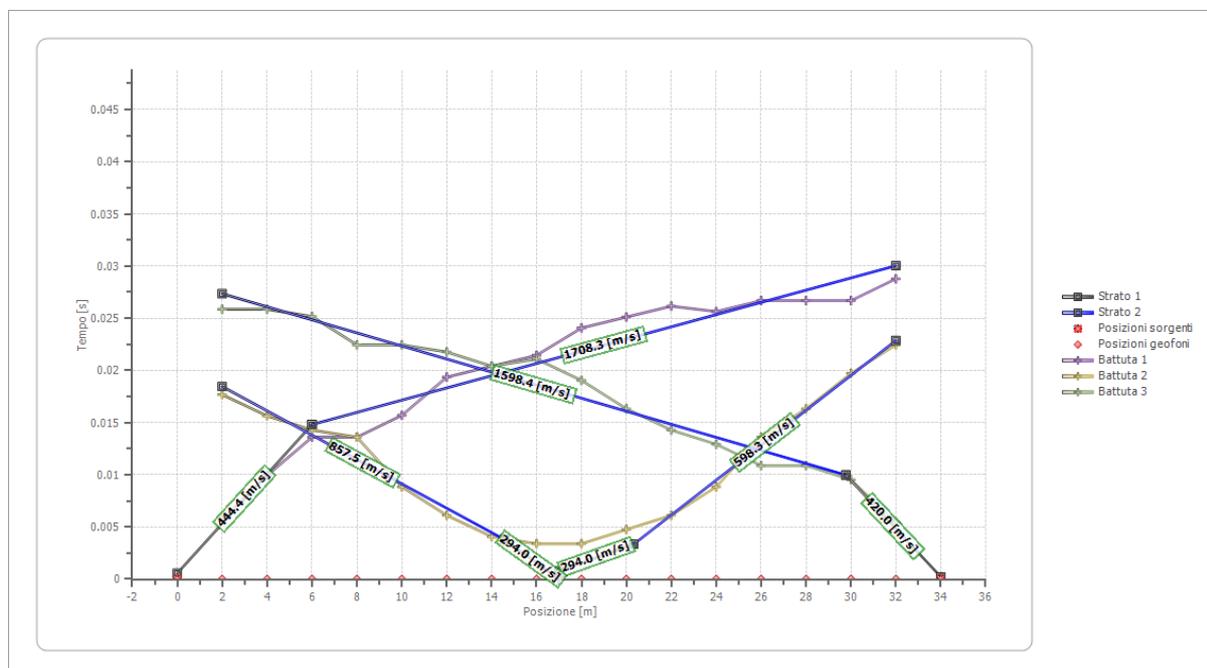
Posizione sorgente X 34 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

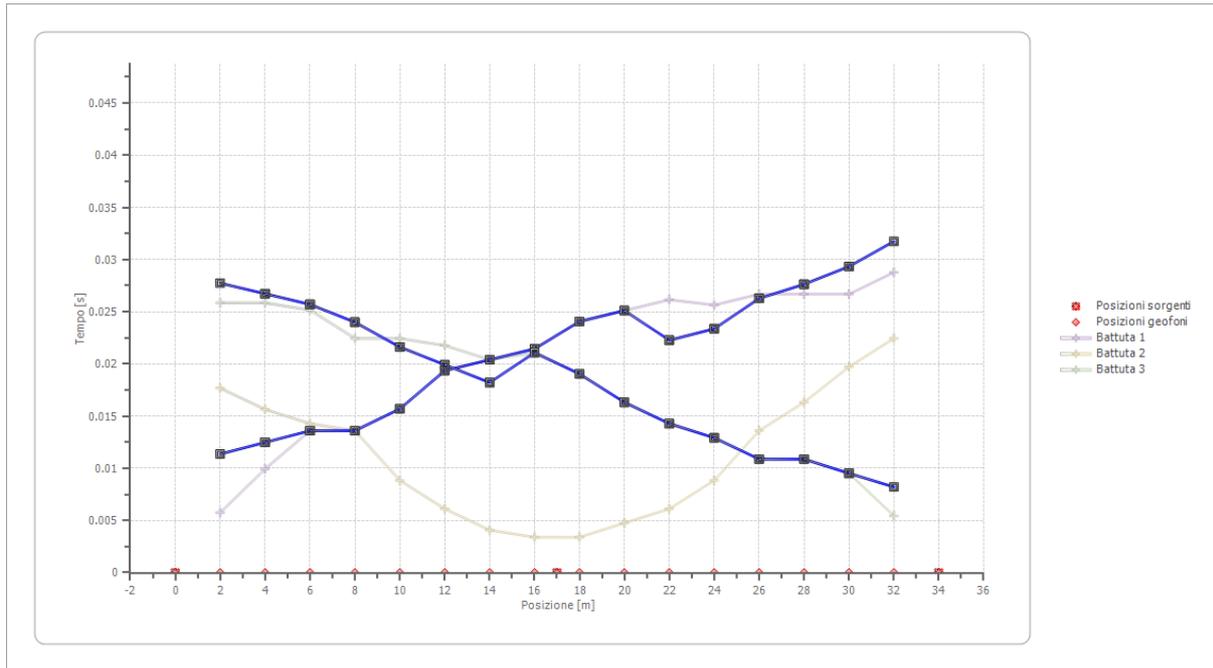


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	25.8503
4.0	25.8503
6.0	25.1701
8.0	22.4490
10.0	22.4490
12.0	21.7687
14.0	20.4082
16.0	21.0884
18.0	19.0476
20.0	16.3265
22.0	14.2857
24.0	12.9252
26.0	10.8844
28.0	10.8844
30.0	9.5238
32.0	5.4422

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	1.6	--
G= 4.0 [m]	1.6	--
G= 6.0 [m]	1.6	--
G= 8.0 [m]	1.3	--
G= 10.0 [m]	1.3	--
G= 12.0 [m]	1.6	--
G= 14.0 [m]	1.5	--
G= 16.0 [m]	2.2	--
G= 18.0 [m]	2.3	--
G= 20.0 [m]	2.0	--
G= 22.0 [m]	1.1	--
G= 24.0 [m]	1.1	--
G= 26.0 [m]	1.2	--
G= 28.0 [m]	1.5	--
G= 30.0 [m]	1.5	--
G= 32.0 [m]	1.8	--
Velocità [m/sec]	363.1	1534.5
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

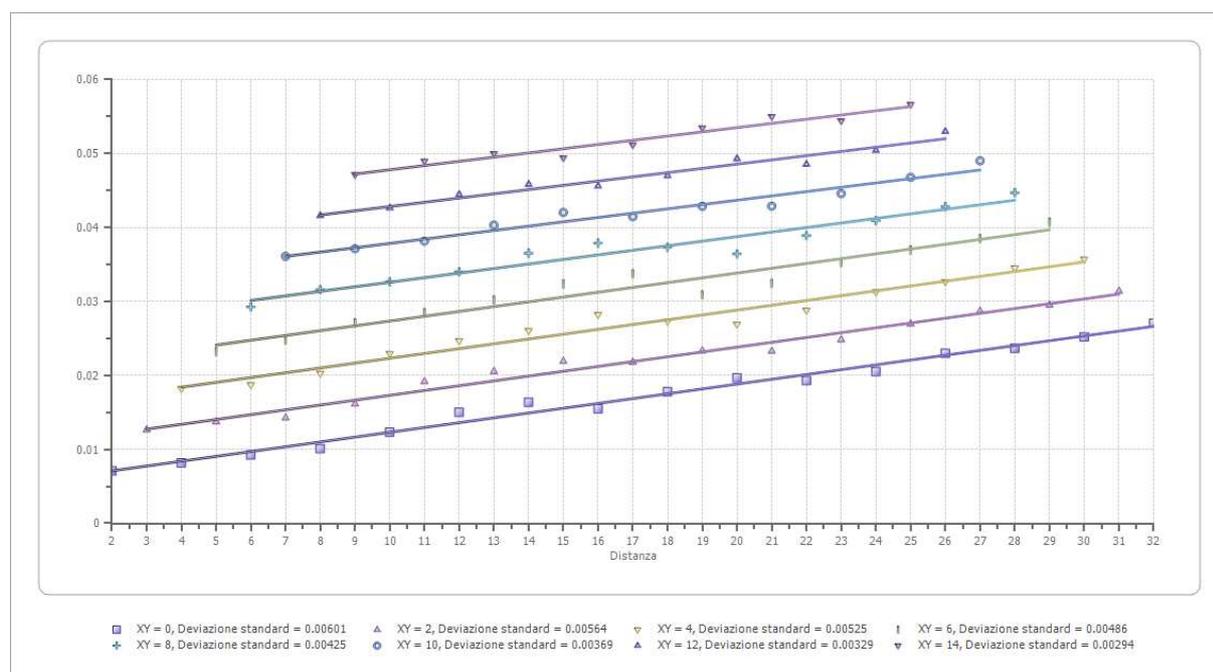
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	363.11	1534.46
Vs [m/s]	174.43	737.13
G0 [MPa]	51.72	978.05
Ed [Mpa]	224.14	4238.23
M0 [MPa]	172.41	3260.18
Ey [Mpa]	139.65	2640.74

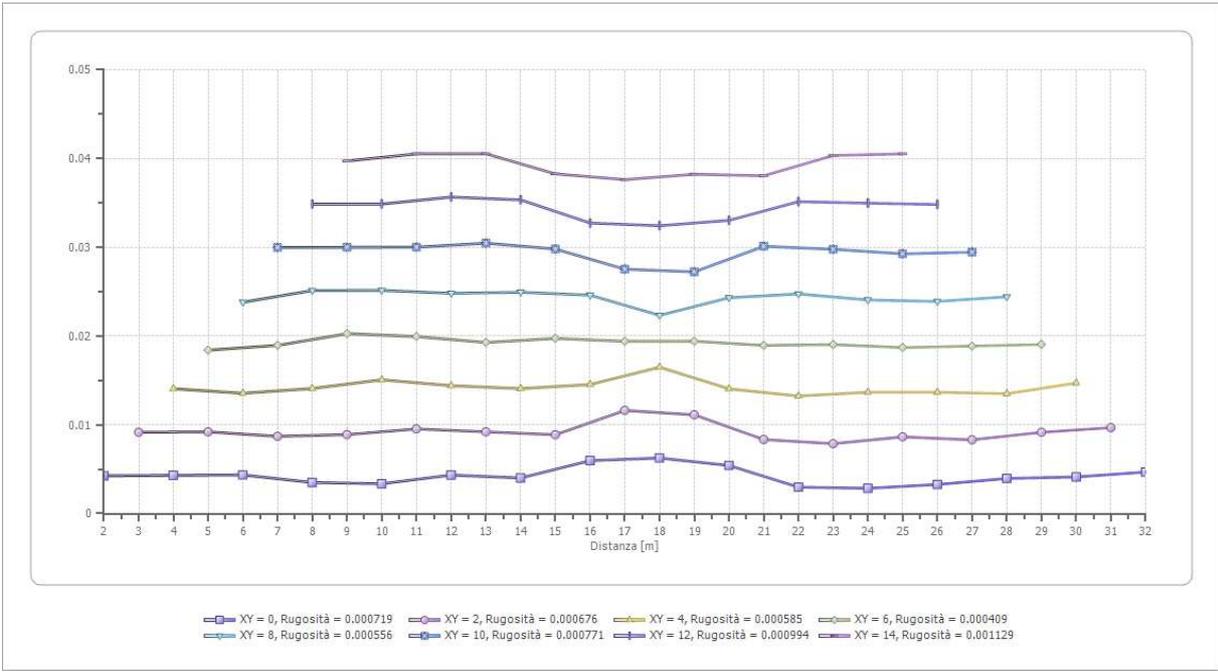
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





5. RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW

Le indagini geofisiche eseguite, hanno consentito, dunque, di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio al fine di valutare il valore del parametro $V_{s,eq}$ e quindi stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo come da D.M. 17/01/2018. Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato; successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, richiamata dal DM 17/01/2018, è stato possibile classificare tali terreni. La determinazione dell'andamento dei valori delle onde di taglio è stata resa possibile dall'interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza. L'individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza. Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile determinare il valore di V_{seq} attraverso la seguente espressione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

con:

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo (in m)

V_s = Velocità dell'onda di taglio i-esimo strato

N = Numero di strati

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

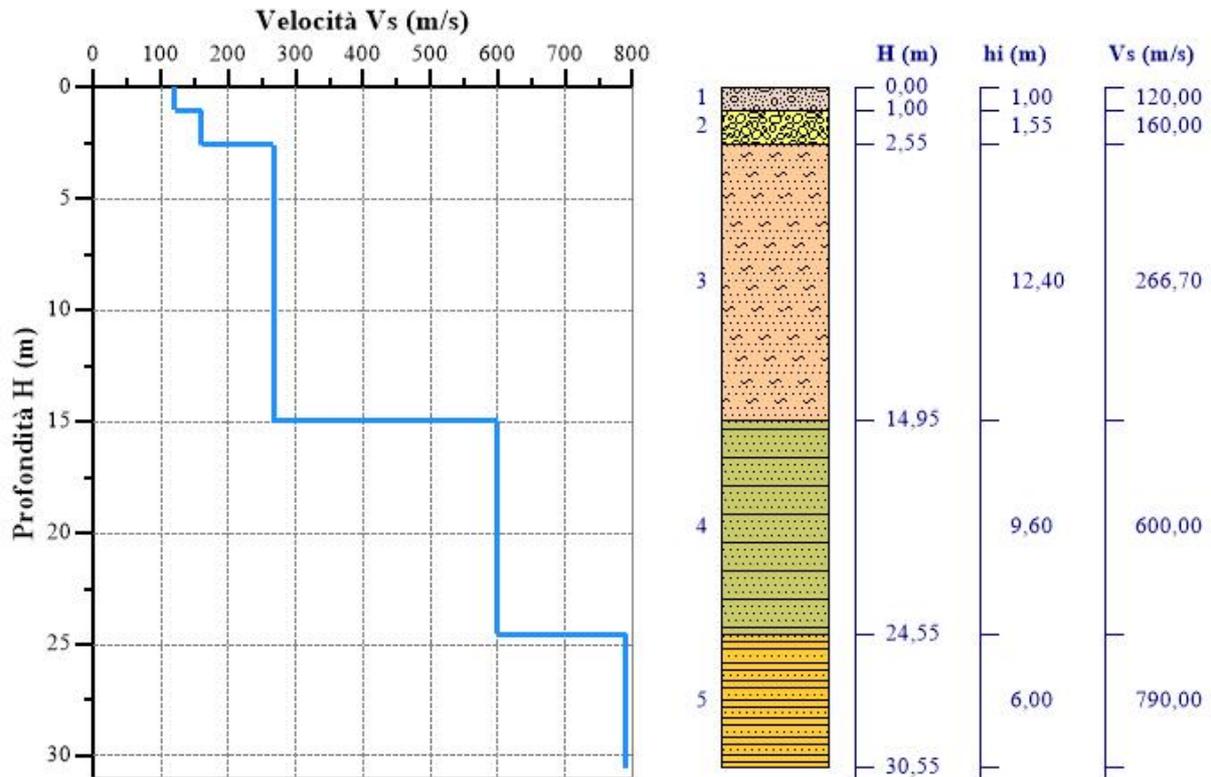
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

5.1. RISULTATO DELLE INDAGINI

In corrispondenza dell'area in progetto sono state eseguite n°2 indagini di sismica masw identificata con le sigle Mw1-Mw2 (**vedi Relazione Sismica**). Il modello interpretativo ha permesso pertanto di ottenere la seguente sismo-stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:

Tabella 6.2.1: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw1 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

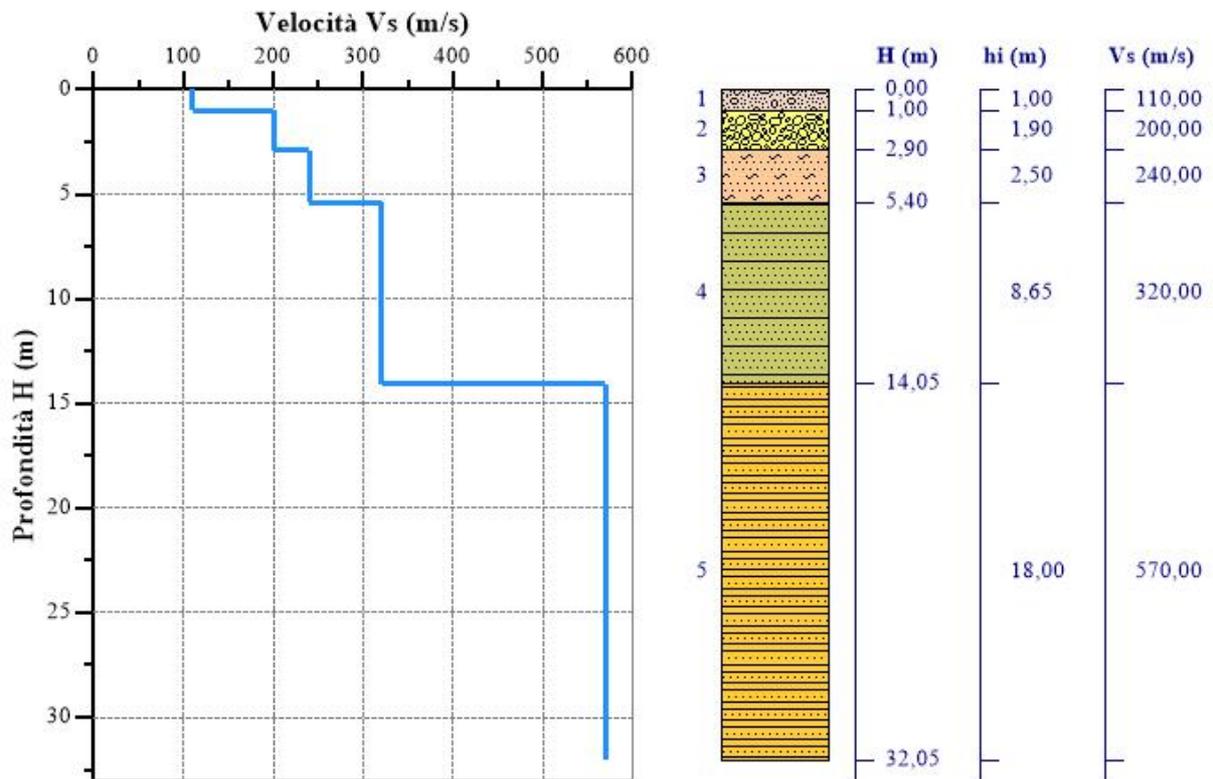
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	V_p [m/sec]	V_s [m/sec]
1	1.00	1.00	1700.0	0.30	No	224.5	120.0
2	2.55	1.55	1800.0	0.30	No	299.3	160.0
3	14.95	12.40	1800.0	0.30	No	498.9	266.7
4	24.55	9.60	1800.0	0.30	No	1122.5	600.0



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 343.17\text{m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

Tabella 6.2.1: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw2 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1700.0	0.32	No	213.8	110.0
2	2.90	1.90	1800.0	0.32	No	388.7	200.0
3	5.40	2.50	1800.0	0.30	No	449.0	240.0
4	14.05	8.65	1800.0	0.30	No	598.7	320.0
5	oo	oo	1900.0	0.30	No	1066.4	570.0



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 357.07\text{m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

6. CONCLUSIONI

Le indagini eseguite hanno consentito di ottenere alcune informazioni sulle caratteristiche geofisiche dei terreni interessati, in particolare è stato possibile fornire alcuni dati sia sull'andamento stratigrafico del sottosuolo nei primi 10 – 12 metri sia sulle velocità delle onde sismiche di compressione e di taglio.

Sulla base delle elaborazioni effettuate sono stati individuati, in ciascuna delle quattro indagini di sismica a rifrazione, due sismostrati interfacciati da una superficie di discontinuità con aspetto lievemente ondulato e andamento sub-parallelo rispetto alla traccia sulla superficie topografica. In particolare i risultati delle indagini effettuate in corrispondenza dell'impianto agro-fotovoltaico di futura realizzazione, hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. I modelli sismo-stratigrafici rispecchiano abbastanza fedelmente le caratteristiche geologiche dell'area. In particolare riscontriamo una discontinuità sismica intorno ai 2-5 metri dal p.c. che può essere ricondotta ai depositi eluvio colluviali caratterizzati da limi argillosi da poco a moderatamente consistenti. Questi ultimi ricoprono un sismo-strato limo argilloso da mediamente consistente a consistente con possibili intercalazioni di calcareniti glauconitiche caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p nell'ordine di 1200-1700 m/s. Lo spessore risulta comunque indefinito.

Le indagini di sismica MASW eseguite, hanno consentito, inoltre, di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio al fine di valutare il valore del parametro $V_{S,eq}$ e quindi stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo come da D.M. 17/01/2018.

Sulla base dei valori ricavati, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle $V_{S,eq}$, il sottosuolo in esame risulta classificabile come **sottosuolo di tipo C** ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 mt., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s." (D.M. 17/01/2018).

Palermo, Novembre 2021

Il Tecnico Redattore
Geol. Michele Ognibene

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz1 e Mw1.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz2 e Mw2.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz3.

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE ESEGUITE CFR. CARTA DELLE INDAGINI.

ALLEGATO II

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIE

INDICE

<u>1.</u> PREMESSA	PAG. 2
<u>2.</u> INDAGINE PENETROMETRICA	PAG. 3
2.1.A METODOLOGIA	PAG. 4
2.1.B UBICAZIONE DEI PUNTI DI PROVA E RISULTATI	PAG. 5

ALLEGATI

- Tabelle Prove S.p.d. (N/Rpd);
- Diagrammi Prove S.p.d. (N/Rpd)
- Tabelle Nspt/Parametri Geotecnici;
- Documentazione Fotografica.

1. PREMESSA

La relazione descrive le risultanze di una campagna di prove penetrometriche eseguite con penetrometro medio-leggero (ML) commissionate dalla Guarrato S.r.l.

L'incarico è parte di un più ampio piano di indagine geognostica a supporto del progetto "REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-VOLTAICO DENOMINATO "GUARRATO" DELLA POTENZA DI 48,23 MWp E NEL COMUNE DI MISILISCEMI (TP).

Per le peculiarità del progetto che prevede la messa in opera di strutture portamoduli leggere in acciaio fissate al terreno con un sistema di fondazione a pali infissi, si è concordato con il committente di spingere le prove non oltre 5.0 metri di profondità dal p.c. ossia fino al raggiungimento di un primo substrato compatto/consolidato al di sotto delle coltri alterate superficiali.

Verificata l'estensione e la distribuzione dei lotti di terreno interessati dal progetto e sovrapposto il layout dell'impianto con il rilevamento geologico si è quindi deciso di eseguire n°5 prove penetrometriche DM.".

La campagna di indagine è stata eseguita nella giornata del 15 Giugno 2021 che ha permesso il raggiungimento dei vari punti di stazionamento ove sono state eseguite le varie prove e di cui si forniscono le coordinate.

2. INDAGINE PENETROMETRICA

Per la campagna di prove descritte in premessa è stato utilizzato un penetrometro dinamico **leggero** italiano DL30IT-SA della Deep Drill S.r.l.; con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) ricade nel campo dei penetrometri dinamici di tipo **medio**.

Convenzionalmente si può considerare questo tipo di strumento come **medio-leggero** e la sigla utilizzata per le singole prove con questo strumento è "ML".

Si riassumono di seguito le principali caratteristiche dello strumento:

- **M** (massa battente) = 30 kg;
- **H** (altezza di caduta) = 0.20 m.;
- **A** (area della punta) = 20 cmq;
- **D** (diametro punta) = 35.70 mm.;
- **N** (num. colpi alla punta) = 10.

Nelle prove penetrometriche, una volta determinati i valori di Rpd (kg/cmq) per ogni unità stratigrafica e valutata la natura granulare, granulare-coesiva o coesiva dei terreni indagati, attraverso l'applicazione Win-Din sono stati ricavati i valori relativi ai seguenti parametri geotecnici, successivamente tarati con i dati ottenuti da prove geotecniche dirette su C.I.:

- Dr (densità relativa);
- ϕ (angolo di attrito efficace);
- E' (modulo di deformazione);
- W (contenuto d'acqua);
- E (indice dei vuoti);
- Cu (coesione non drenata);
- Ysat (peso di volume saturo);
- Yd (peso di volume secco);
- G (modulo di taglio dinamico).

2.1. Metodologia

Le prove penetrometriche consentono, trattandosi di prove in sito, di determinare la resistenza dinamica alla punta offerta dal terreno alla penetrazione di un'asta con caratteristiche meccaniche normalizzate.

Tale resistenza dipende da caratteristiche fisico-meccaniche quali lo stato d'addensamento dei granuli in terreni incoerenti (sabbie, ghiaie) o il contenuto d'umidità naturale in terreni coesivi (argille, argille limose).

Il principio su cui si basa la prova penetrometrica dinamica (Dynamic Penetration Test "DPT") consiste nel registrare il numero di colpi N necessario per infiggere nel terreno, mediante un maglio a caduta libera, un avanzamento costante (cm 10) di una batteria di aste con alla base una punta conica con apertura di 60°.

Riportando su un grafico, in ascisse il valore del numero dei colpi (N) ed in ordinate la profondità di indagine espressa in metri, si ricava il profilo penetrometrico allegato il cui andamento evidenzia le variazioni di consistenza dei terreni attraversati, in funzione del numero dei colpi (N).

La personale esperienza maturata dallo scrivente, confortata da svariate pubblicazioni di settore, attestano che sulle facies rilevate nel sito di progetto il dato empirico derivato dal dato strumentale di un penetrometro di tipo ML può considerarsi sufficientemente attendibile e correlabile con i dati ottenuti da prove CPT, DPH, DPSH o da analisi geotecniche su C.I., al netto di piccoli fattori di correzione.

In linea generale e in misura grandemente cautelativa, è opportuno che i valori dei principali parametri fisici e meccanici dedotti empiricamente dai dati strumentali di una prova penetrometrica ML, siano assunti come sovrastimati di un fattore percentuale del 30% rispetto ai dati di laboratorio geotecnico su C.I..

2.2. Ubicazione dei Punti di Prova e Risultati

Seguendo i criteri espressi in premessa, sono state eseguite n°5 prove penetrometriche S.p.d. con penetrometro dinamico del tipo Deep Drill 30 ubicate alle coordinate riportate in tabella e graficamente nell'allegata Planimetria con Ubicazione Prove Penetrometriche:

UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE ML			
Prova	Coordinate geografiche WGS 84 - DM		
	Lat. Nord	Long. Est	
DM. 1	37.925808°	12.577708°	
DM. 1 rif.	37.925808°	12.577708°	
DM. 2	37.932505°	12.581760°	
DM. 2 rif.	37.932505°	12.581760°	
DM. 3	37.859693°	12.973053°	

La prova penetrometrica n°1 (ML. 1) ha consentito di individuare quanto segue:

- uno spessore di circa 0.40 metri - Terreno Vegetale;
- da 0.40 a 4.30 metri – Limo Argilloso;
- oltre 4.30 metri – Argilla Limo Sabbiosa.

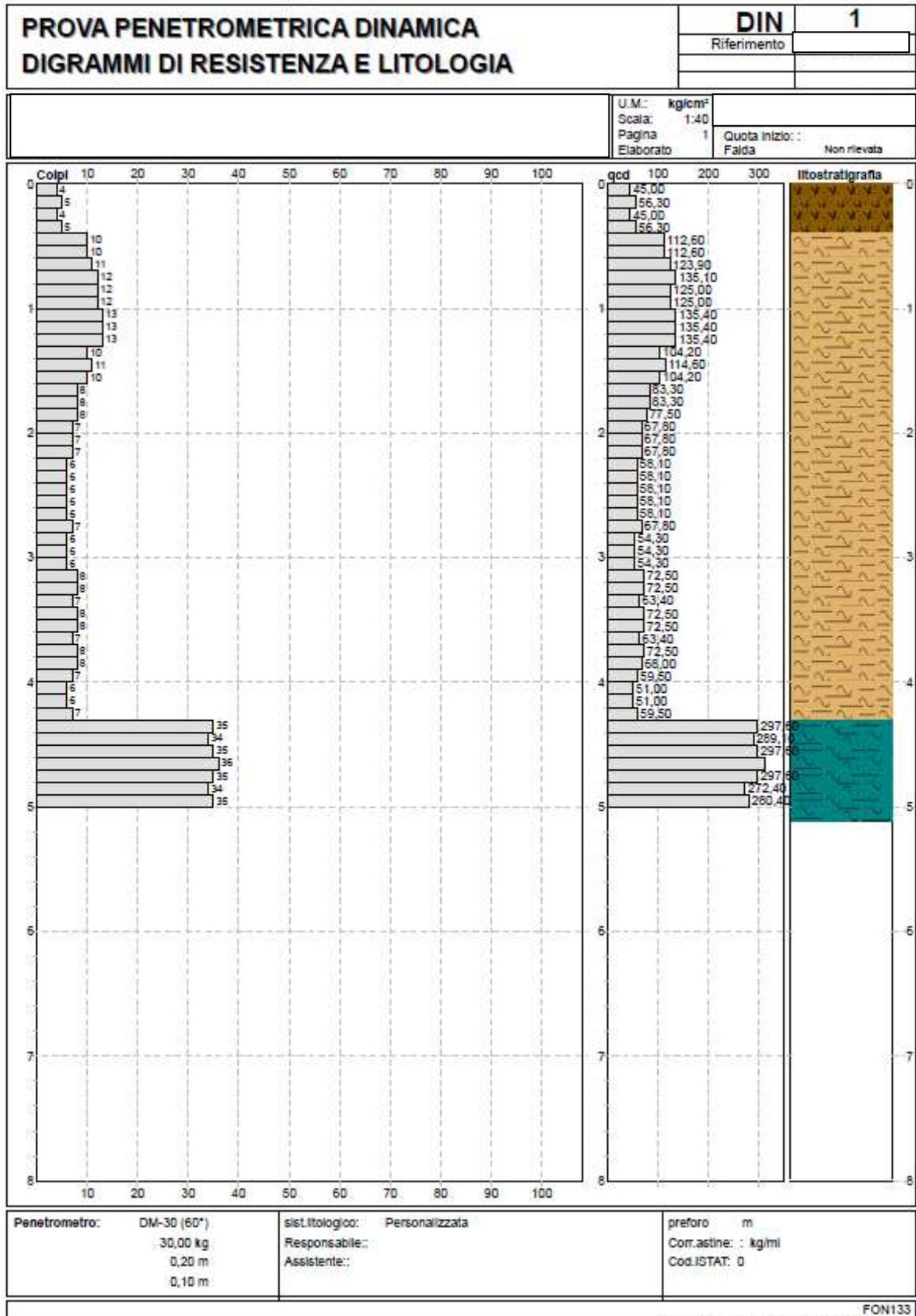
All'interno del foro d'indagine non è stata rilevata la presenza d'acqua.



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA					DIN	1			
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI					Riferimento				
					U.M.: kg/cm ²				
					Pagina Elaborato	1			
					Falda	Non rilevata			
H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0,10	1	4		45,0					
0,20	1	5		56,3					
0,30	1	4		45,0					
0,40	1	5		56,3					
0,50	1	10		112,6					
0,60	1	10		112,6					
0,70	1	11		123,9					
0,80	1	12		135,1					
0,90	2	12		125,0					
1,00	2	12		125,0					
1,10	2	13		135,4					
1,20	2	13		135,4					
1,30	2	13		135,4					
1,40	2	10		104,2					
1,50	2	11		114,6					
1,60	2	10		104,2					
1,70	2	8		83,3					
1,80	2	8		83,3					
1,90	3	8		77,5					
2,00	3	7		67,8					
2,10	3	7		67,8					
2,20	3	7		67,8					
2,30	3	6		58,1					
2,40	3	6		58,1					
2,50	3	6		58,1					
2,60	3	6		58,1					
2,70	3	6		58,1					
2,80	3	7		67,8					
2,90	4	6		54,3					
3,00	4	6		54,3					
3,10	4	6		54,3					
3,20	4	8		72,5					
3,30	4	8		72,5					
3,40	4	7		63,4					
3,50	4	8		72,5					
3,60	4	8		72,5					
3,70	4	7		63,4					
3,80	4	8		72,5					
3,90	5	6		68,0					
4,00	5	7		59,5					
4,10	5	6		51,0					
4,20	5	6		51,0					
4,30	5	7		59,5					
4,40	5	35		297,6					
4,50	5	34		289,1					
4,60	5	35		297,6					
4,70	5	36		306,1					
4,80	5	35		297,6					
4,90	6	34		272,4					
5,00	6	35		280,4					

H = profondità
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA										DIN	1			
										Riferimento				
										U.M.: kg/cm ²	Data esec. 24/09/2021			
										Pagina Elaborato 1	Falda Non rilevata			
PARAMETRI GENERALI														
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	q _{cd} kg/cm ²	q _c kg/cm ²	V _s m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione		
1	0,00 : 0,40	Media	5	0,77	3	51	9	26	117	2,53	Torbosa	Torba		
2	0,40 : 4,30	Media	8	0,77	6	82	26	120	50		Coes./Gran.	Limo argilloso		
3	4,30 : 5,00	Media	35	0,77	27	292	97	194	168		Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa		
			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Y _{sat} t/m ²	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	σ *	E' kg/cm ²	Y _{sat} t/m ²	Y _d t/m ²	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0,00 : 0,40	3	0,15	1,43	111,11	3,00	23	---	---	---	---	---	---	---
2	0,40 : 4,30	6	0,38	1,80	37,04	1,00	36	22	18	---	---	---	---	---
3	4,30 : 5,00	27	1,69	2,10	20,20	0,55	83	61	23	---	---	---	---	---
FON133														
Software by dott. Geol. Diego Merin +39 0425-840100														

La prova penetrometrica n°2 (ML. 2) ha consentito di individuare quanto segue:

- da 0.00 a 2.70 metri – Limo Argilloso;
- oltre 2.70 metri – Argilla Limo Sabbiosa.

All'interno del foro d'indagine non è stata rilevata la presenza d'acqua.

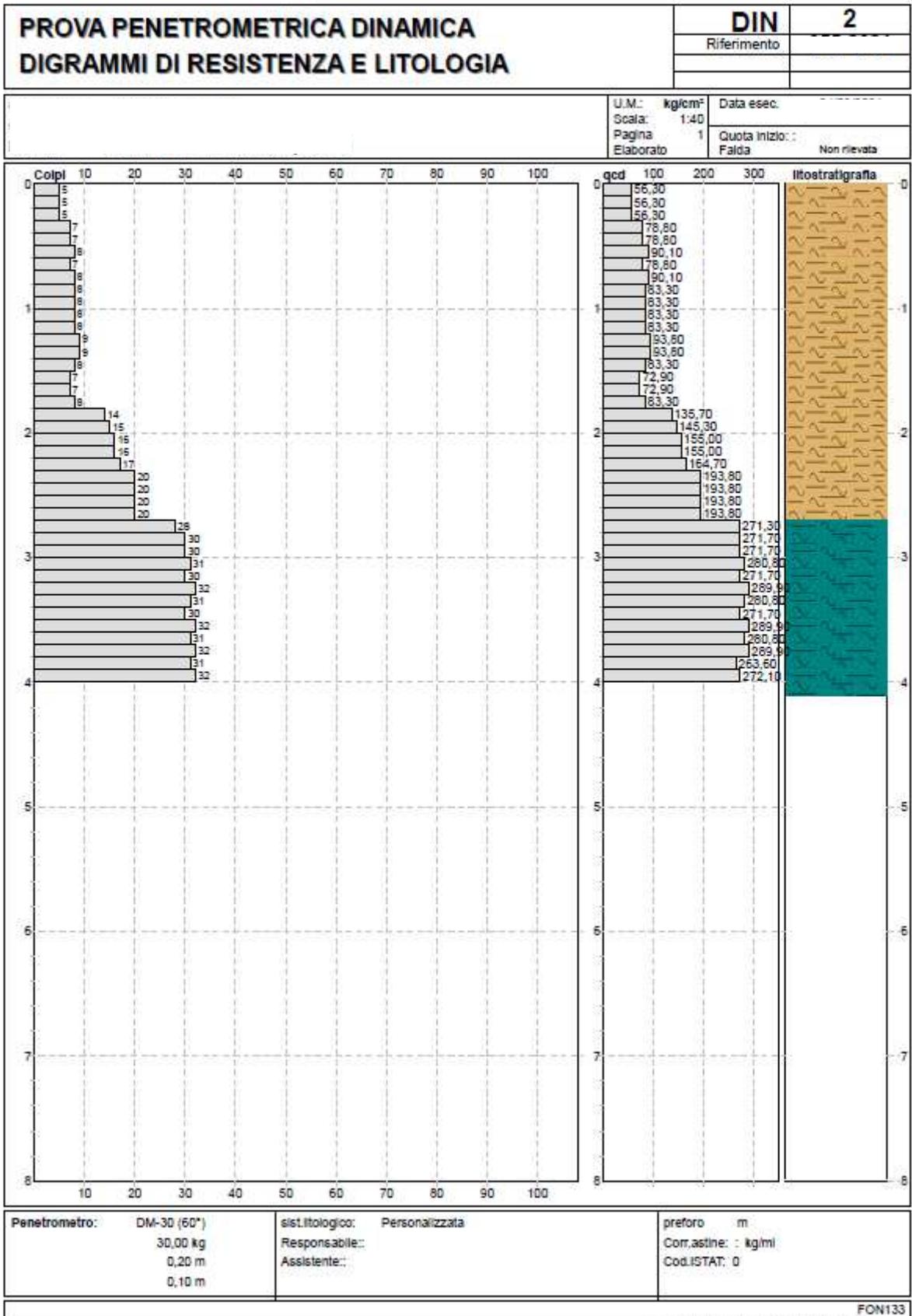


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI					DIN	2			
					Riferimento				
					U.M.: kg/cm ²	Data esec.			
					Pagina Elaborato	1 Falda Non rilevata			
H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0,10	1	5		56,3					
0,20	1	5		56,3					
0,30	1	5		56,3					
0,40	1	7		78,8					
0,50	1	7		78,8					
0,60	1	8		90,1					
0,70	1	7		78,8					
0,80	1	8		90,1					
0,90	2	8		83,3					
1,00	2	8		83,3					
1,10	2	8		83,3					
1,20	2	8		83,3					
1,30	2	9		93,8					
1,40	2	9		93,8					
1,50	2	8		83,3					
1,60	2	7		72,9					
1,70	2	7		72,9					
1,80	2	8		83,3					
1,90	3	14		135,7					
2,00	3	15		145,3					
2,10	3	16		155,0					
2,20	3	16		155,0					
2,30	3	17		164,7					
2,40	3	20		193,8					
2,50	3	20		193,8					
2,60	3	20		193,8					
2,70	3	20		193,8					
2,80	3	28		271,3					
2,90	4	30		271,7					
3,00	4	30		271,7					
3,10	4	31		280,8					
3,20	4	30		271,7					
3,30	4	32		289,9					
3,40	4	31		280,8					
3,50	4	30		271,7					
3,60	4	32		289,9					
3,70	4	31		280,8					
3,80	4	32		289,9					
3,90	5	31		263,6					
4,00	5	32		272,1					
H - profondità L1 - asta L2 - punta L3 - riv					qcd - Resistenza dinamica punta				

FON133

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-540600

06/07/2016 10:53:52



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA										DIN	2			
										Riferimento				
SUDDIVISIONE GEOTECNICA														
										U.M.: kg/cm²	Data esec. -----			
										Pagina Elaborato	1 Falda Non rilevata			
PARAMETRI GENERALI														
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qod kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione		
1	0,00 : 2,70	Media	11	0,77	8	109	35	113	63		Coes./Gran.	Limo argilloso		
2	2,70 : 4,00	Media	31	0,77	24	277	90	178	153		Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa		
			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ²	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	σ -	E' kg/cm ²	Ysat t/m ²	Yd t/m ²	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0,00 : 2,70	8	0,50	1,80	34,98	0,94	41	---	18	---	---	---	---	---
2	2,70 : 4,00	24	1,50	2,00	21,91	0,59	77	---	23	---	---	---	---	---
FON133														
<small>Software by dott. Geol. Diego Merini +39 0425-540600</small>														

La prova penetrometrica n°3 (ML. 3) ha consentito di individuare quanto segue:

- da 0.00 a 3.20 metri – limo;
- da 3.20 a 4,80 metri – Argilla limosa.
- da 4,80 a 5,00 metri – Argilla semiconsolidata

All'interno del foro d'indagine non è stata rilevata la presenza d'acqua.



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

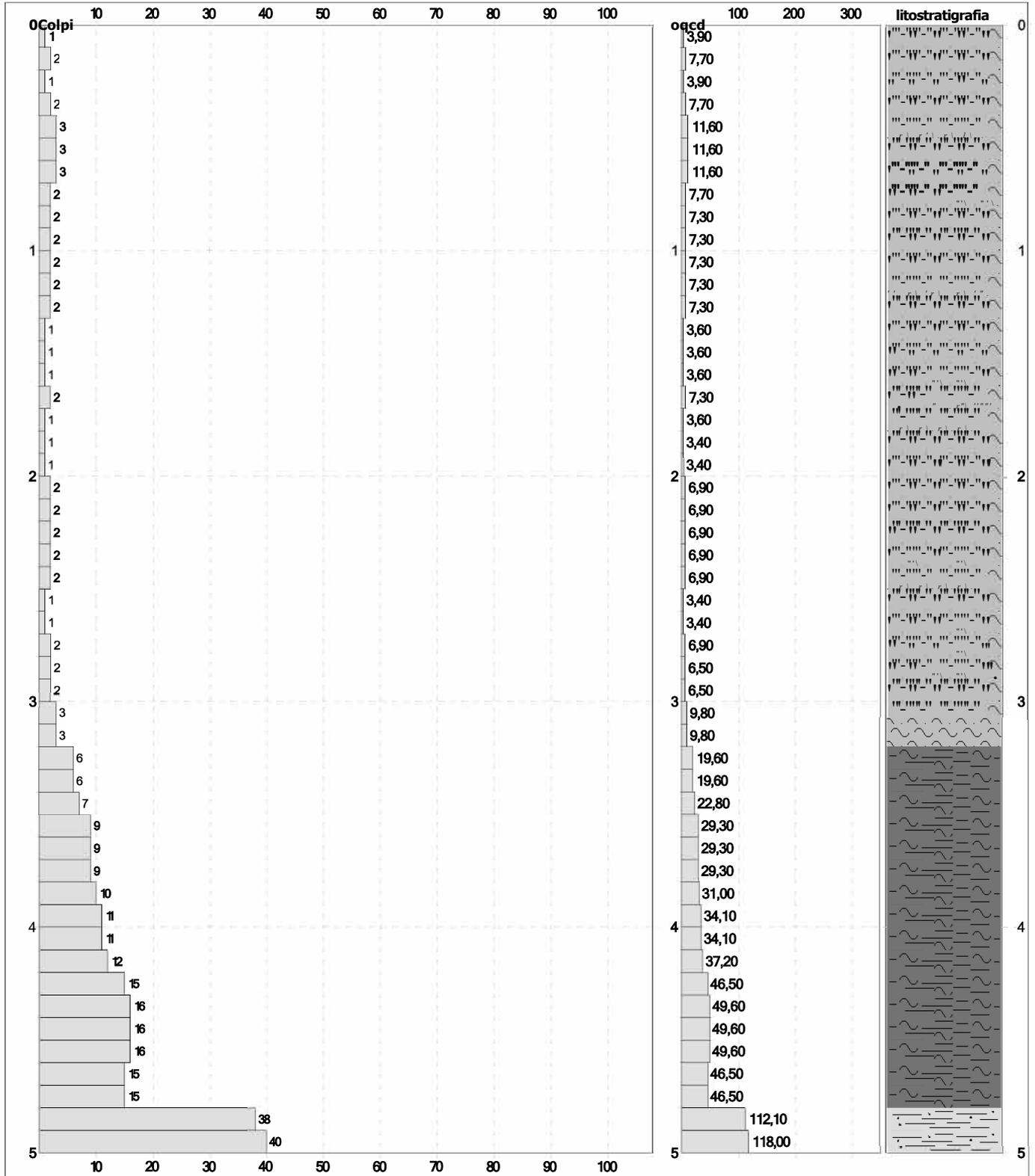
3

Riferimento

Committente
Cantiere
Località

U.M.: kg/cm²
Scala: 1:25
Pagina 1
Elaborato

Data esec.
Quota inizio :
Falda Risali ente



Penetrometro: DM-30 (60°)
30,00 kg
0,20 m
0,10 m

sist.litologico: Personalizzata
Responsabile:
Assistente:

preforo m
Corr.astine : kg/ml
Cod.ISTAT: O

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	3
	Riferimento	

Committente Cantiere Località	U.M.: kg/cm²	Data esec.
	Pagina Elaborato 1	Falda Risaliente

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0,00: 3,20	Media	2	0,77	1	7	6	82	12	0,33	Coes./Gran.	Limo
2	3,20: 4,80	Media	11	0,77	9	36	32	143	70	1,80	Coes./Gran.	Argilla limosa
3	4,80: 5,00	Media	39	0,77	30	115	104	199	182	5,75	Coes./Gran.	Argilla semiconsolidata

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	σ -	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0,00: 3,20	1	0,06	1,68	56,24	1,52	22	4	20	199	1,84	1,34	82	---
2	3,20: 4,80	9	0,56	1,89	34,00	0,92	44	32	28	261	1,92	1,48	173	---
3	4,80: 5,00	30	1,88	2,10	20,20	0,55	90	65	40	423	2,05	1,69	377	---