

COMUNE DI FERRAZZANO

Provincia di Campobasso

OGGETTO: *Interventi di messa in sicurezza di un tratto di strada in Via Galileo Galilei*

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI FERRAZZANO

RELAZIONE GEOLOGICA



Data: Aprile 2019

Il Geologo:

Dott. Antonello Reale



Studio di Geologia del Dott. Antonello Reale

c.da Sambuco 8, 86010 Ferrazzano (CB); Tel: 3355798806; mail: antonelloreale@hotmail.com

INDICE

INDICE	1
PREMESSA	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	3
ANALISI DELLO STATO DEI LUOGHI	6
GEOLOGIA DELL'AREA	6
INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEI TERRENI	9
SISMICITA'	12
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	13
ALLEGATI:	14

PREMESSA

Lo scrivente, per incarico del Comune di Ferrazzano (CB) e nell'ambito dei lavori *"Interventi di messa in sicurezza di un tratto di strada in Via Galileo Galilei"*, ha effettuato uno studio geologico mirato ad un'analisi dettagliata del contesto geomorfologico idrogeologico e litotecnico del sito, al fine di verificare le compatibilità geologiche con l'intervento da eseguire.

Il progetto in titolo prevede un intervento di consolidamento parziale o totale della strada di Via Galileo, il cui rilevato, confinato da un muro in c.a. a valle, risulta ribassato e dissestato.

Per tali scopi il rilevamento di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia di contorno, è stato integrato dallo studio di diverse campagne d'indagini geognostiche svolte per lavori quali:

- ✓ Indagini geognostiche e geofisiche eseguite per i lavori di microzonazione sismica della Regione Molise e relative al comune di Ferrazzano (www.regione.molise.it).

Le indagini utilizzate consistono essenzialmente in sondaggi geognostici, prove geotecniche (S.P.T.) indagini geotecniche (prove fisico-meccaniche di laboratorio) e indagini geofisiche quali down-hole e analisi dei microtremiti in campo libero.

Per la verifica puntuale degli spessori di terreno coinvolti e per un riscontro con i dati reperiti, è stata effettuata una campagna di indagine geofisica consistita in uno stendimento sismico, ubicato a ridosso dell'area di intervento, con elaborazione del segnale con tecnica a rifrazione e indagine Masw.

L'insieme delle indagini utilizzate, la cui esatta ubicazione è riportata nelle carta geologica con ubicazioni indagini (*paragrafo "caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni"*), ha consentito, attraverso l'analisi e la elaborazione dei dati scaturiti, la definizione dei locali assetti litostratigrafici e una parametrizzazione geotecnica generale delle formazioni geologiche riconosciute.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in perizia, è individuabile nella Tavoletta IV SE (fig.1), in scala 1:25.000, IV SE "Campobasso" del F°162 della Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano. Relativamente alla C.T.R. della Regione Molise in scala 1:5000, nell' elemento n° 405081 (fig. 2).

L'intervento si inquadra in un paesaggio di tipo collinare in cui l'elemento orografico dominante è rappresentato dalla collina su cui sorge il complesso cimiteriale a quota di 790 m.sl.m..

Il settore interessato risulta intensamente urbanizzato da una serie di strutture residenziali ricadenti nel quartiere "Nuova Comunità". Lo stesso insiste sul versante orientale della dorsale che dall'abitato storico del paese si allinea con direzione Nord-Sud.

Il reticolo idrografico superficiale, poco sviluppato, è direttamente condizionato dall'assetto tettonico e litologico rilevato. L'elemento lineare principale è costituito dal *Fosso Scarfone* il cui percorso si intercetta a quote più basse sul lato orientale del versante.

Dal punto di vista strettamente geomorfologico, l'area in esame presenta delle pendenze moderate che unitamente alle buone caratteristiche meccaniche dei litotipi arenaceo-sabbiosi della *Formazione di S. Bartolomeo* ne contribuiscono al buon grado di stabilità, fatto salvo situazioni particolari in cui si rilevano accumuli di terreno di riporto antropico o di coltri di eluvio-colluviali con spessori importanti.

A scala più ampia, si sono rilevate forme e processi gravitativi riconducibili a fenomeni gravitativi di tipo complesso e lento. Un sistema gravitativo si rileva a valle della strada in perizia e a valle della strada provinciale; la fenomenologia gravitativa sembrerebbe essere di tipo complesso (prevalentemente per colata) e lento. Arealmente risulta molto esteso e si instaura sulle litologie pelitiche affioranti appunto a valle della strada in perizia; geologicamente il fenomeno si instaura nella formazione delle Argille Variegate (unità del Sannio), ovvero su una distinta formazione, rispetto alla formazione flyshoide su cui ricade il sito di stretta pertinenza progettuale; lo stesso comunque non inficia nella stabilità della strada in progetto. Il fenomeno franoso è anche evidenziato e segnalato come Area a Pericolosità elevata, dallo studio del *Piano di Assetto Idrogeologico* dell'Autorità di Bacini dei Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore, di cui si espongono gli stralci cartografici (figure 3 e 4).

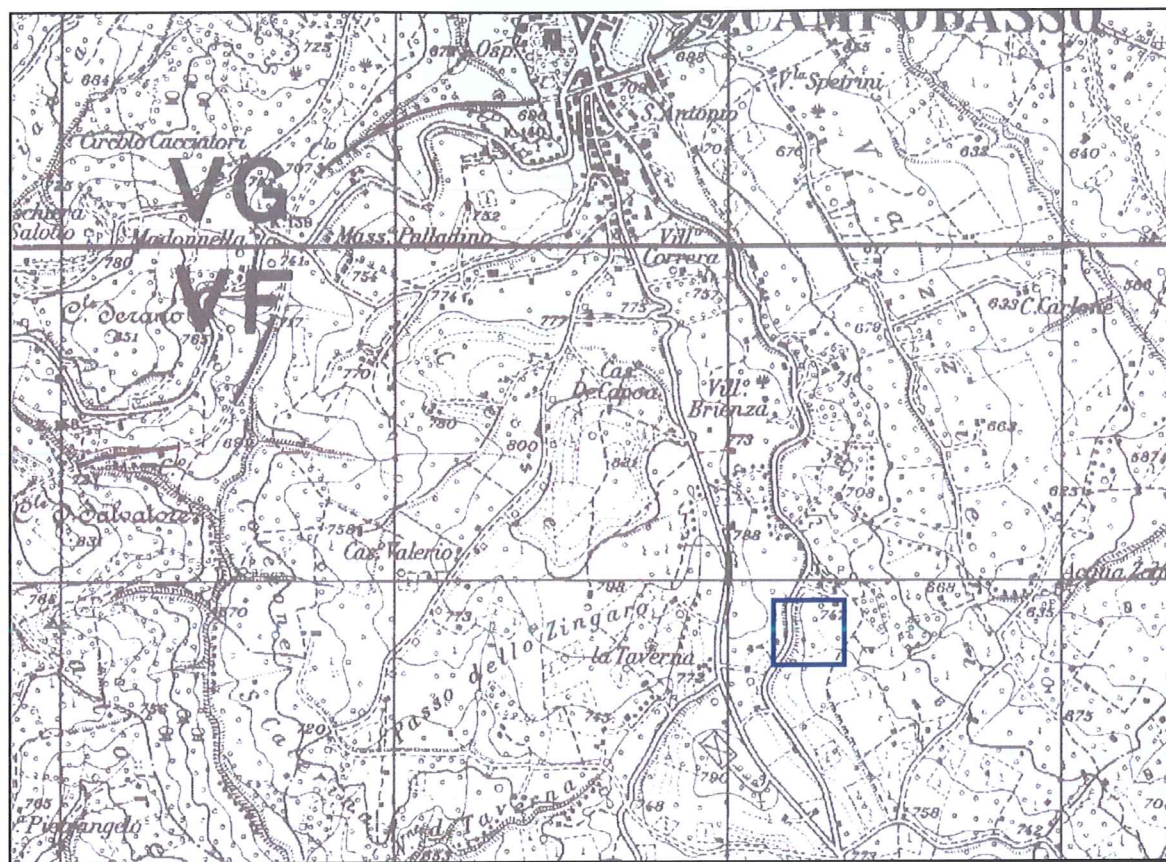


Figura 1: Stralcio topografico con individuazione area di intervento (tavola IVSE F.oglio 162)

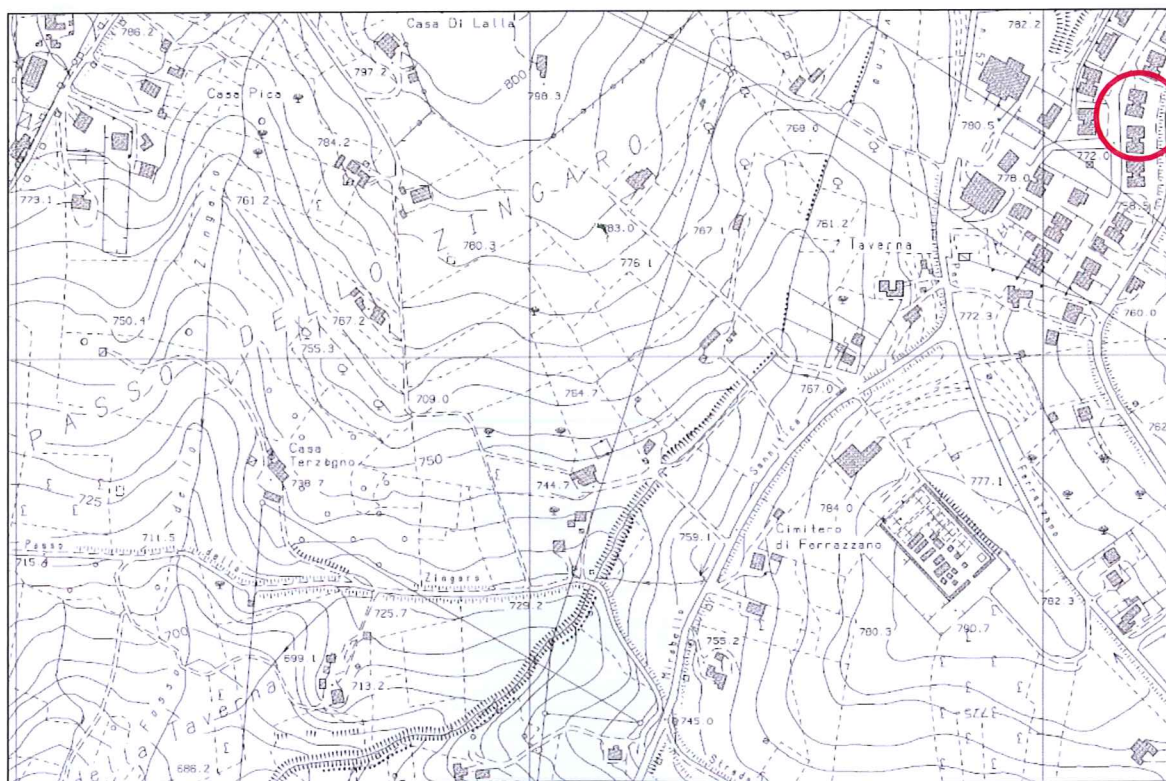


Figura 2: Stralcio della C.T.R. Molise n. 405081 con individuazione dell'area in perizia

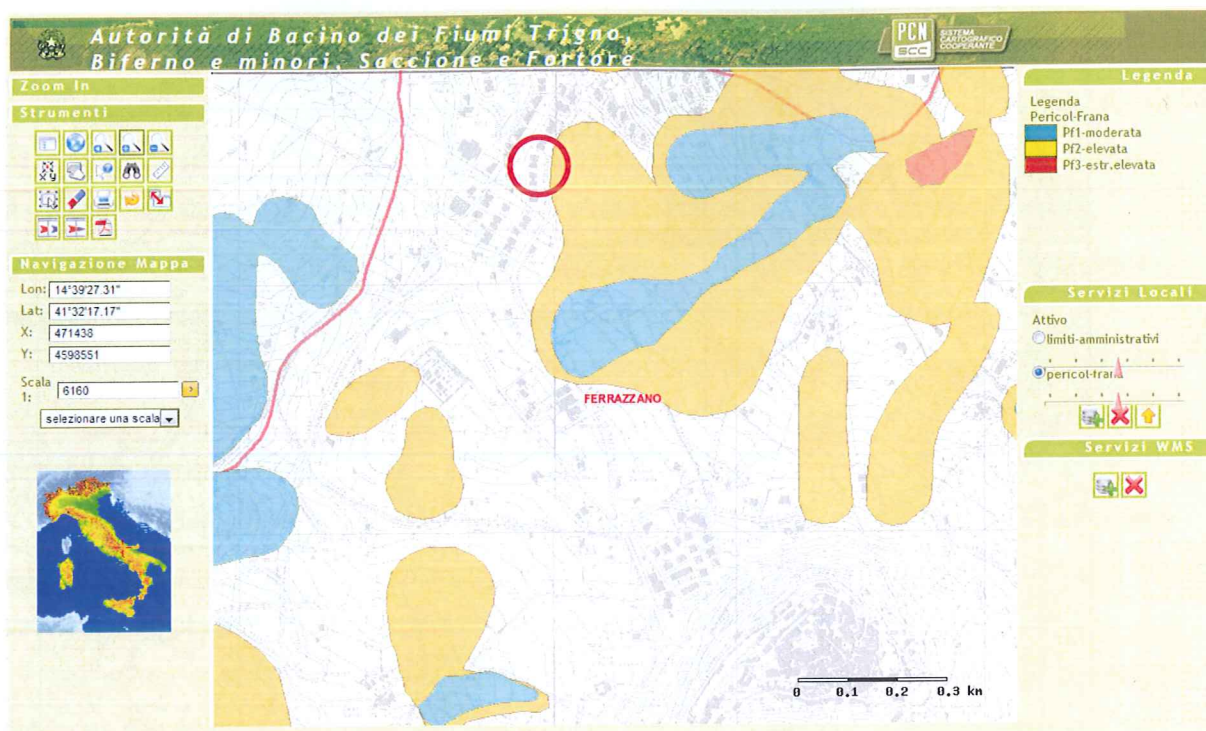


Figura 3: Stralcio della carta di Pericolosità da Frana

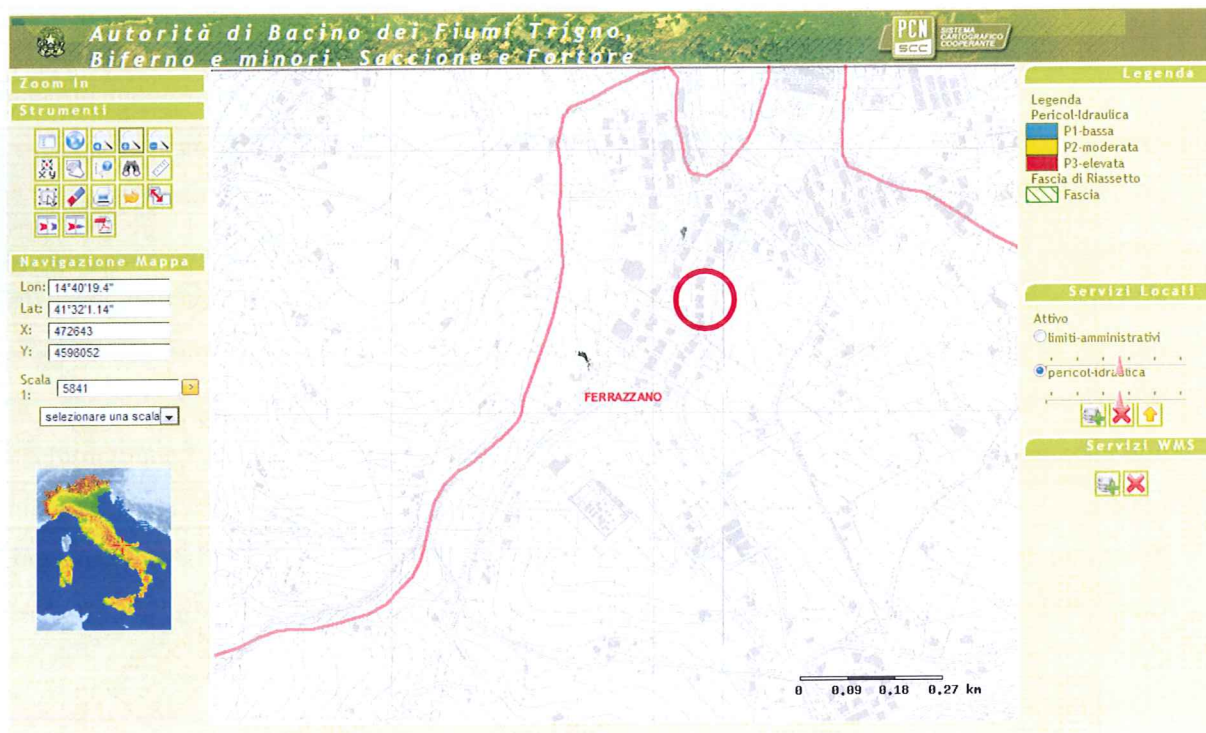


Figura 4: Stralcio della carta di pericolosità idraulica

ANALISI DELLO STATO DEI LUOGHI

Dai sopralluoghi effettuati, e in accordo con i dati scaturiti dalle indagini geognostiche studiate ed effettuate si è potuto delineare un quadro completo relativamente all'assetto geologico e litotecnico dell'area progettuale.

Il settore interessato, ed in particolare la strada dissestata, vede insistere termini litologici costituiti da terreni di riporto e coltri eluviali che ricoprono il substrato flyshoide costituito da sabbie e arenarie intercalate da argilliti e marne argillose (talvolta inglobate dai sedimenti arenacei), che verso il basso della successione diventano prevalenti.

La strada comunale si presenta fessurata e ribassata, a valle dei fabbricati e a monte della Strada Provinciale; il muro a valle che la contiene, realizzato in c.a., risulta ruotato e debolmente traslato.

La condizione stratigrafica unita alla inefficace regimazione delle acque superficiali e alla tipologia di contenimento del rilevato, influenza negativamente la stabilità del settore.

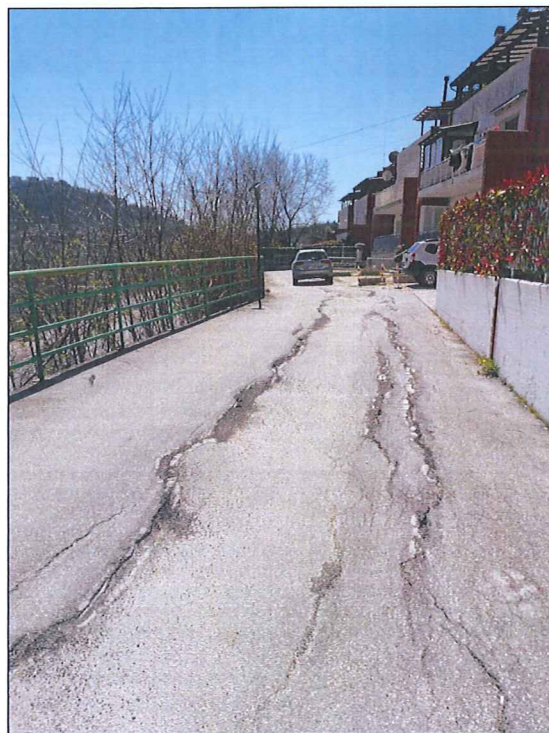
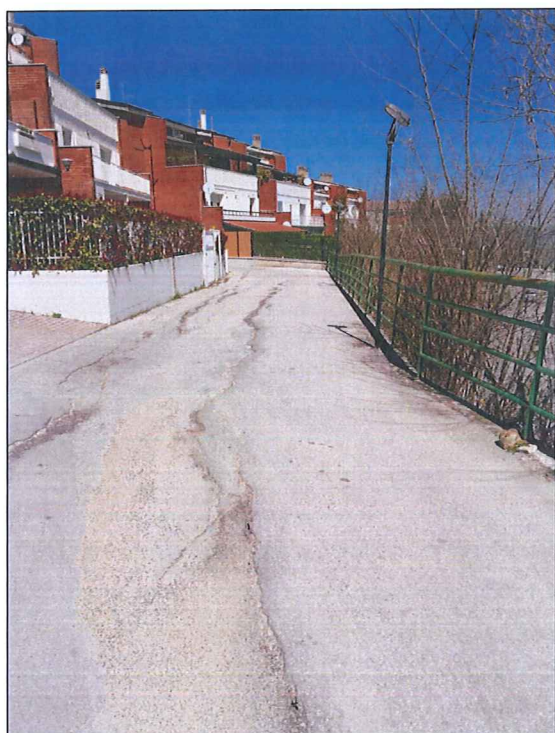


Foto 1-2: Strada in dissesto, si denotano i segni del cedimento del rilevato e la rotazione del muro di sostegno che lo contiene.

GEOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista geologico il settore è caratterizzato dalla presenza di terreni di genesi marina riferibili, in letteratura, al Bacino Molisano. Esso costituiva un ambiente pelagico, relativamente profondo, antistante la zona di scarpata della Piattaforma Carbonatica Laziale Abruzzese.

Tali terreni sono caratterizzati da una notevole eterogeneità in senso laterale e verticale dovuta sia all'originario ambiente deposizionale che alle intense vicissitudini tettoniche subite da questo settore di Appennino.

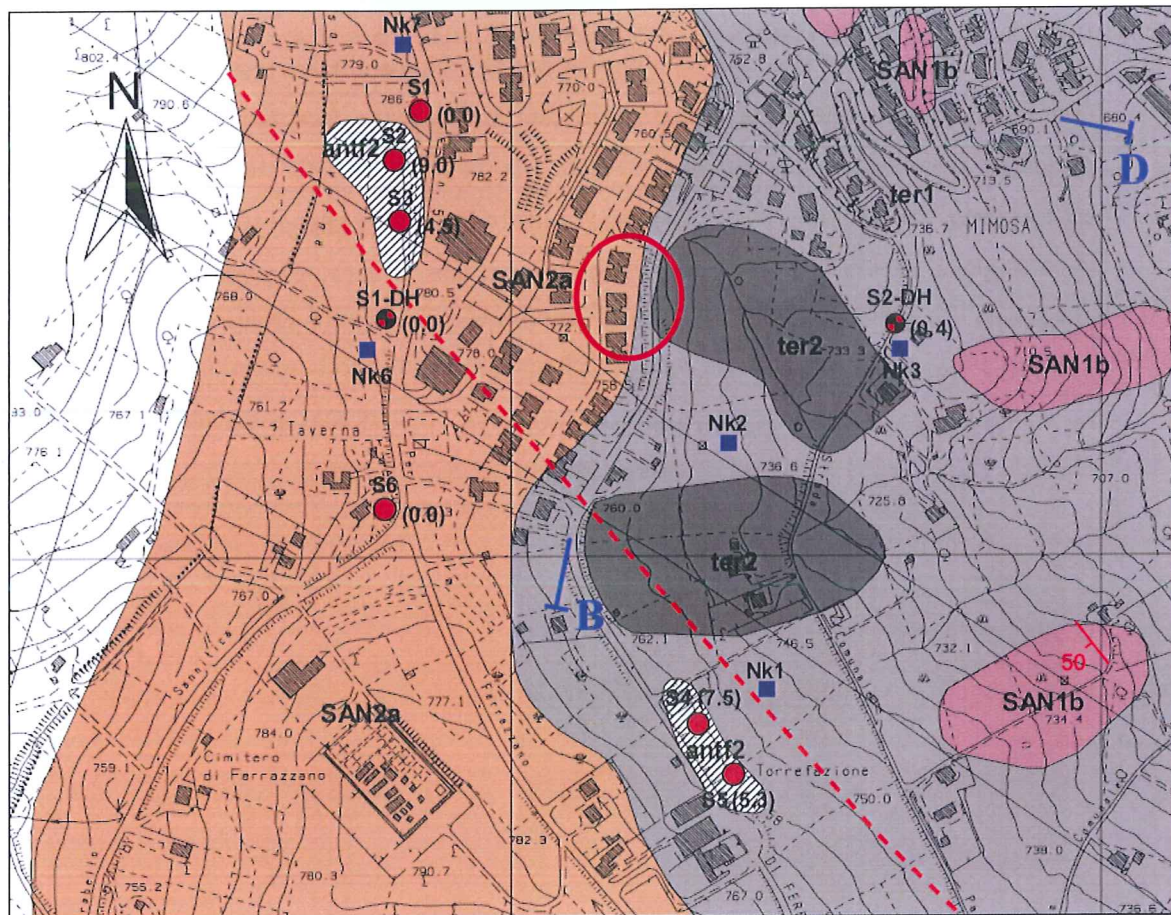
Il Bacino Molisano infatti è stato coinvolto a più riprese dalle fasi tettoniche compressive che, iniziate nel Langhiano e seguite da riprese di movimento, hanno portato alla formazione dell'orogeno appenninico e hanno generato falde e scaglie tettoniche che hanno scompaginato l'originaria successione determinando ricoprimenti e scavalcamenti di unità paleogeografiche più esterne. Successivamente lo stesso è stato ulteriormente disarticolato dalla tettonica distensiva neozoica.

Tutto ciò si riflette nella sensibile dispersione degli assi giacitureali che contraddistinguono i vari affioramenti e, alla mesoscala e localmente, in rapporti stratigrafici spesso complessi.

Il rilevamento di campagna condotto, suffragato dai dati della bibliografia tecnico-scientifica e dai risultati stratigrafici deducibili dalle indagini all'uopo eseguite, ha permesso di distinguere, sul territorio, associazioni litologiche attribuibili a una successione di genesi sedimentaria marina, sormontata, localmente, da termini di copertura di genesi antropica.

Sul sito di interesse, sono stati riscontrati e riconosciuti terreni afferenti alla **Formazione flyschoidale di S. Bartolomeo** costituita da sabbie e arenarie quarzoso-feldspatiche di colore giallastro in affioramento, e grigie in profondità, intervallate da livelli centimetrici di argille limose e limi argillosi. Come già espresso la stessa formazione è sormontata da spessori antropici importanti.

Lo stralcio della carta geologica esposto di seguito è stato redatto per i lavori di microzonazione sismica dalla Regione Molise e pubblicati sul sito www.regione.molise.it; nei paragrafi successivi si allega una carta geologica in scala 1:2000 elaborato a seguito dei rilievi e studi effettuati.



LEGENDA

- antf2** Terreni di riporto antropico: Terreni a granulometria prevalentemente fine con spessori > 2m
- cf** Depositi di frana a granulometria prevalentemente fine.
- ter 2** Depositi eluvio-colluviali: Terreni essenzialmente fini talora detritici derivanti dal disfacimento del locale substrato o dall'accumulo di suolo, di depositi detritici che hanno subito un trasporto lungo il versante.
(1) con spessori compresi tra 0,5 - 2m;
(2) con spessori > 2m
- SAN2a** Flysch di S. Bartolomeo: Arenarie quarzose feldspatiche di colore generalmente giallo chiaro o marroncino, in strati e banchi di spessore da 20 cm a 6-8 m, talora mostranti gradazione e/o laminazione, con intercalazioni di argille azzurre o grigio-verdastre e marne. La porzione bassa della successione è talora caratterizzata da un intervallo di argille marnose di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di sabbie ed arenarie. A differenti altezze stratigrafiche (prevalentemente nella parte medio-bassa della successione) sono presenti corpi di conglomerati poligenici di spessore talora superiore al decametro. I conglomerati sono formati da elementi sub-arrotondati (talvolta di natura ignea) compresi in matrice arenacea. Spessore complessivo 500-100 m. Tortoniano superiore-Messiniano
- SAN1b** Intervallo argilloso-calcareo: Alternanze di livelli centimetrici e decimetrici di argilliti e marne rossastre o verdi, con livelli calcarei e calcareo-marnosi di spessore 2-15 cm, localmente siliciferi, di colore rosato o scuri.
Miocene inferiore
- n** Giacitura degli strati con l'inclinazione espressa in gradi
- Faglia presunta e/o sepolta.
- Sn**
● (n) Indagini dirette con indicato lo spessore delle coperture
- Traccia delle sezioni geologiche
- NUOVE INDAGINI**
- Sn-DH**
● (n) Indagini dirette: sondaggio a c.c. attrezzato per prove Down-Hole
- Nk(n)**
■ Misure di microtremori

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di accertare la condizione litotecnica dell'area, sono state seguite indagini geofisiche di tipo attivo, ovvero una stesa sismica elaborata con metodo MASW e metodo a rifrazione. La campagna di indagine appositamente eseguita è stata integrata dallo studio di indagini già esistenti sul territorio; sono state in particolar modo studiate le indagini geognostiche e geofisiche realizzate dalla Regione Molise per lo studio di Microzonazione sismica. L'insieme delle indagini, la cui ubicazione e i cui elaborati sono allegati alla presente e costituendone parte integrante, hanno permesso, attraverso l'analisi e la elaborazione dei dati scaturiti, la definizione dei parametri di resistenza dei terreni e dell'assetto litostratigrafico e sismico del sottosuolo.



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEI TERRENI

L'insieme dei dati raccolti direttamente sul terreno unitamente a quelli desunti dalle indagini, hanno consentito di delineare il locale assetto stratigrafico e una schematizzazione litotecnica delle litologie riscontrate.

Ai fini progettuali le litologie di sottosuolo, facenti parte della successione geologica riconosciuta e precedentemente descritta, possono essere distinte in due unità litotecniche differenziate in funzione del litotipo prevalente e/o del relativo comportamento geotecnico medio.

✓ Unità A

Tale unità comprende terreni di riporto e locali coltri di copertura litologicamente costituita da argilla limosa e limo sabbiosa alterata e destrutturata inglobante elementi litici anche di natura antropica; in loco di tale unità risulta avere spessori variabili da circa 6.50 mt. a 7.00 mt. dal piano campagna.

In generale trattasi di materiali destrutturati, caotici e fortemente alterati. La capacità portante e la resistenza al taglio sono complessivamente scadenti in quanto negativamente

influenzate dal rimaneggiamento subito, dall'alterazione ad opera di acque di prima infiltrazione e dalla scarsa consistenza delle argille. I parametri geotecnici medi possono essere così schematizzati:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| ▪ <i>Peso di volume</i> | $\gamma_n = 1.75 \text{ t/m}^3$ |
| ▪ <i>coesione drenata</i> | $c' = 0.05-0.10 \text{ kg/cm}^2$ |
| ▪ <i>angolo di attrito</i> | $\phi' = 20,0^\circ$ |
| ▪ <i>coesione non drenata</i> | $c_u = 0,40-0,50 \text{ kg/cm}^2$ |
| ▪ <i>Modulo Elastico</i> | $E_d = 75-85 \text{ kg/cm}^2$ |

✓ **Unità B**

Terreni ascrivibili alla porzione sabbiosa e moderatamente addensata, della Formazione del Flysch di S. Bartolomeo. Dalle indagini eseguite e reperiti, è possibile giungere alla successiva parametrizzazione geotecnica media:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| ▪ <i>Peso di volume</i> | $\gamma_n = 2.00 \text{ t/m}^3$ |
| ▪ <i>coesione drenata</i> | $c' = 0.20 \text{ kg/cm}^2$ |
| ▪ <i>angolo di attrito</i> | $\phi' = 32,0^\circ$ |
| ▪ <i>coesione non drenata</i> | $c_u = n.d.$ |
| ▪ <i>Modulo Edometrico</i> | $E_d = 450 \text{ kg/cm}^2$ |

Per un quadro più completo dell'andamento delle unità e sulle variazioni laterali e verticali dei caratteri litotecnici sismostratigrafici dei terreni sottostanti la struttura in esame, si consiglia di visionare la appresso esposta sezione interpretativa.

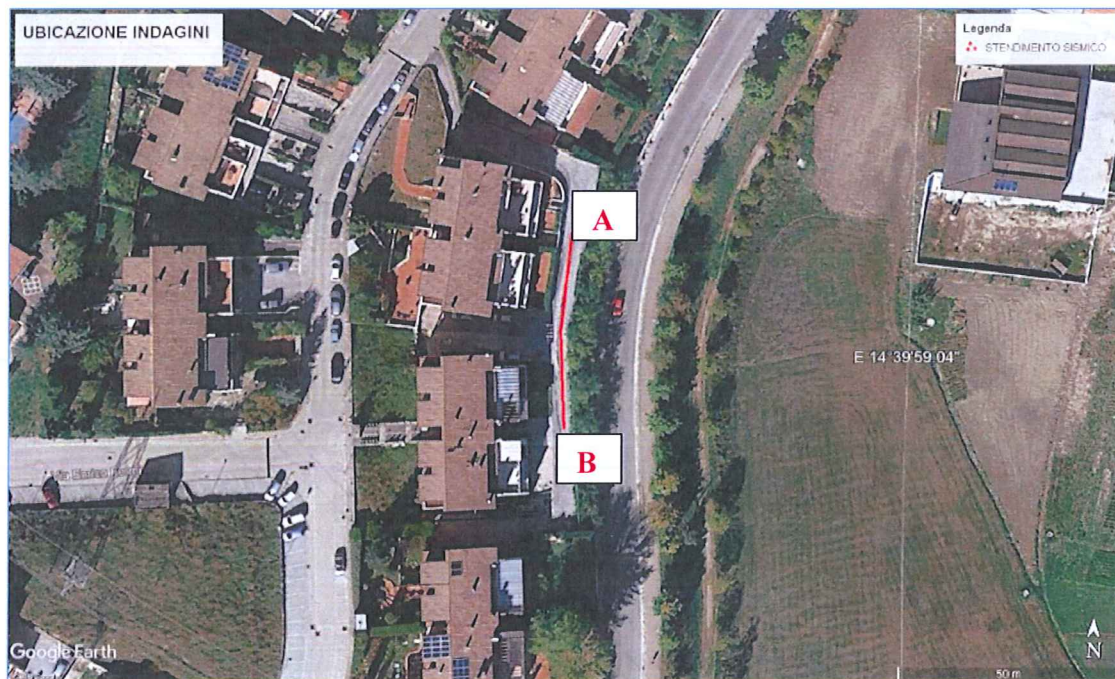
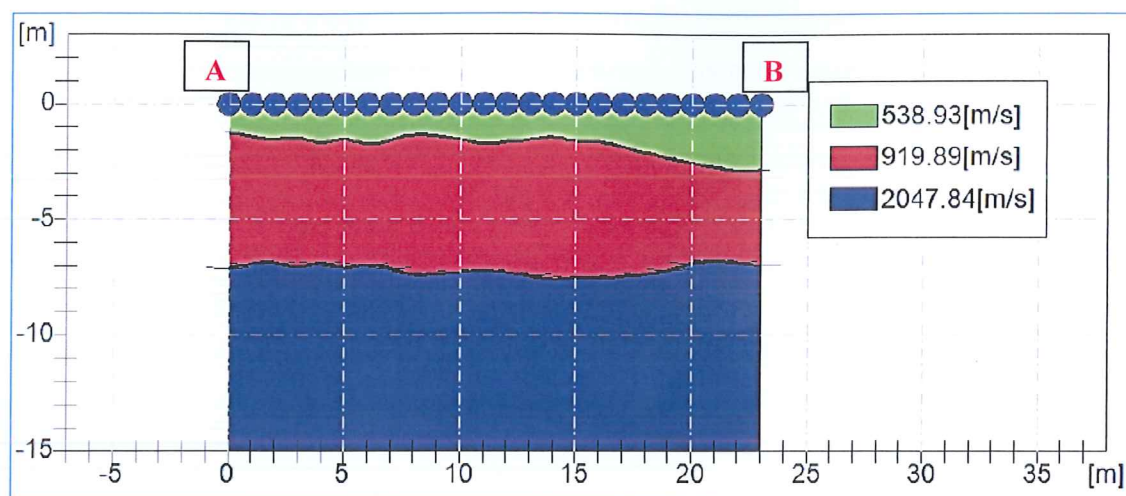


Fig. 1: ubicazione dello stendimento sismico eseguito.

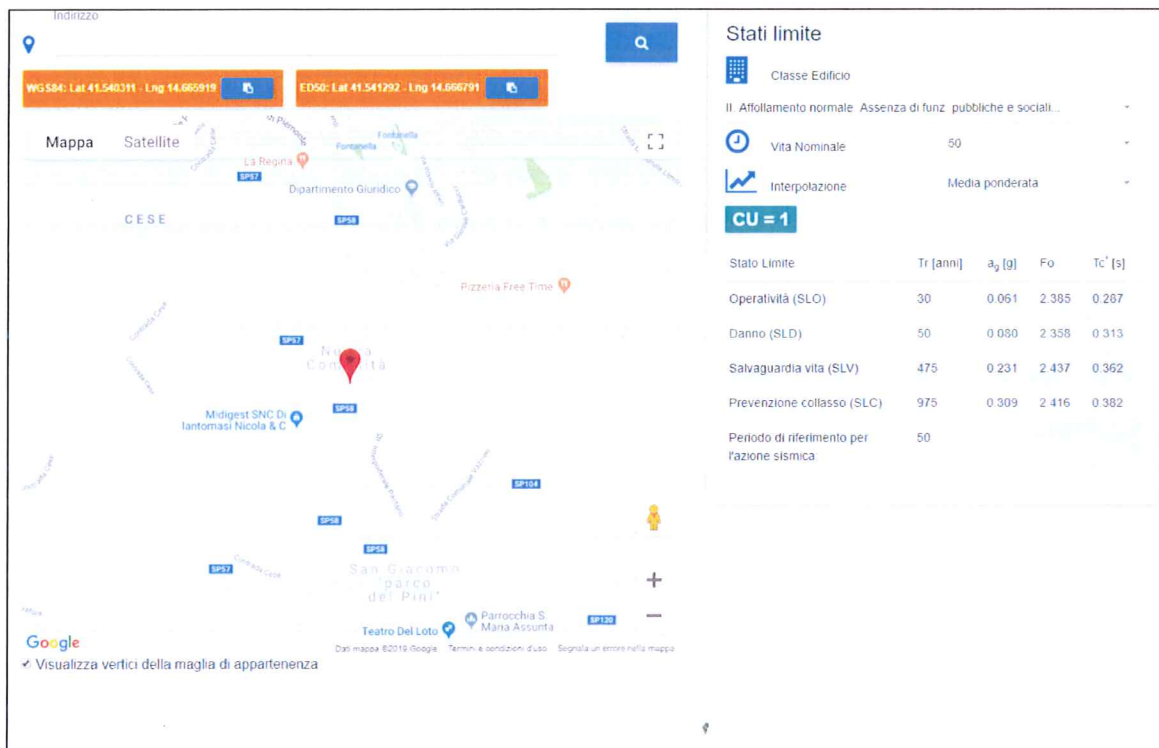


<div></div>	Unità' A
<div></div>	Unità' B

SISMICITA'

Per quanto riguarda la sismicità del sito, si ricorda che le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, contiene nuove disposizioni in materia di classificazione sismica e di normative tecniche.

L'accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico per il sito, il tipo di struttura, la vita nominale, e relativamente alla salvaguardia della vita considerata risulta essere pari a **0.231 (a_g/g)** considerando un tempo di ritorno di 475 anni (immagine seguente).



Per la definizione degli spettri di risposta elastica, invece, il coefficiente S (coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche) sarà dato dalla seguente espressione:

$$S = S_s \times S_T$$

dove S_T , il coefficiente di amplificazione topografica, date le locali condizioni orografiche potrà essere posto pari a 1.0, mentre S_s , il coefficiente di amplificazione stratigrafica, sarà calcolato in base ai parametri di pericolosità sismica e alla categoria di sottosuolo di appartenenza che, per la zona in esame, sulle base delle risultanze delle indagini geofisiche, il valore di $V_s 30$ equivalente, è risultato essere di 435 m/s ovvero velocità ricadenti della categoria di sottosuolo B.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo scrivente, per incarico del Comune di Ferrazzano (CB) e nell'ambito dei lavori *"Interventi di messa in sicurezza di Via Galileo Galilei"*, ha effettuato uno studio geologico mirato ad un'analisi dettagliata del contesto geomorfologico idrogeologico e litotecnico del sito in cui si ubica la struttura sportiva.

L'area in perizia, è individuabile nella Tavoleta IV SE, in scala 1:25.000, IV SE "Campobasso" del F°162 della Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano. Relativamente alla C.T.R. della Regione Molise in scala 1 : 5000, nell' elemento n° 405081.

Il settore interessato, ed in particolare la strada dissestata, oggetto di consolidamento, vede insistere termini litologici costituiti da terreni di riporto e coltri eluviali che ricoprono il substrato flyshoide costituito da sabbie e arenarie intercalate da argilliti e marne argillose (talvolta inglobate dai sedimenti arenacei), che verso il basso della successione diventano prevalenti.

La strada comunale si presenta fessurata e ribassata, a valle dei fabbricati e a monte della Strada Provinciale; il muro a valle che la contiene, realizzato in c.a., risulta ruotato e debolmente traslato.

La condizione stratigrafica unita alla inefficace regimazione delle acque superficiali e alla tipologia di contenimento del rilevato, influenza negativamente la stabilità del settore.

In merito agli interventi di interventi da eseguire, si consiglia di realizzare opere di consolidamento in fondazione del muro esistente ove fosse possibile logisticamente (visti gli spazi ristretti), in alternativa eseguire a monte del muro esistente e al disotto della strada comunale, una paratia di pali/micropali che vada ad intestarsi negli strati di terreno più profondi (unità B).

L' intervento dovrà prevedere opere di regimazione delle acque, in modo da allontanarle il più possibile dal rilevato stradale e dalle strutture; nel caso vengano effettuati scavi e/o trincee, dovranno essere provvisti di opere di protezione laterale, per consentire alle maestranze di lavorare in sicurezza.

Ferrazzano, Aprile 2016

2019

IL GEOLOGO

Dott. Antonello Reale

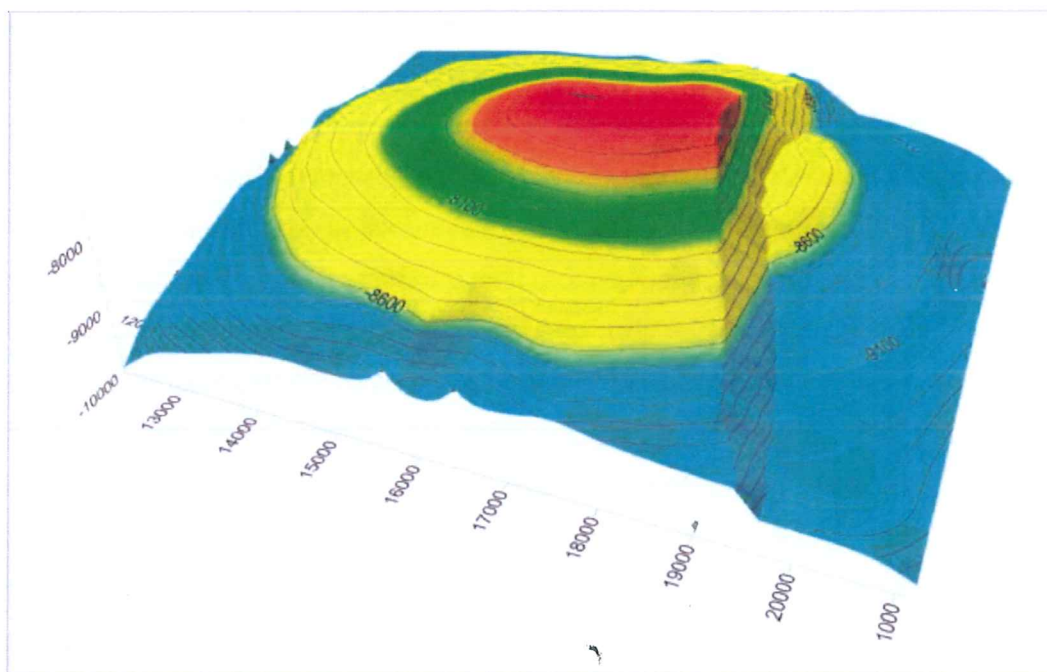


ALLEGATI:

Indagini geofisiche

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI SUOLI MEDIANTE PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DI UN MURO ESISTENTE
ALLA VIA G. GALILEI.



Committente: COMUNE DI FERRAZZANO

Richiedente: COMUNE DI FERRAZZANO

Località d'indagine: VIA G. GALILEI

Il Responsabile di sito:



INDICE

1	INTRODUZIONE	PAG. 02
2	CENNI TEORICI SULLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE	PAG. 03
	2.1 MASW	PAG. 03
	2.2 RIFRAZIONE IN ONDA P – METODO DELLE INTERCETTE	PAG. 05
3	RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO <u>SS1</u>	PAG. 09
	3.1 MASW – STENDIMENTO 1	PAG. 09
	3.2 RIFRAZIONE - STENDIMENTO 1	PAG. 13
4	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	PAG. 22

1. INTRODUZIONE

La Geostudi di Venafrò (IS), per conto del Dott. Geol. Antonello Reale, ha redatto la presente documentazione tecnica relativa alle prospezioni sismiche eseguite nel sito ubicato nel Comune di Ferrazzano (CB), a supporto dello studio geologico inerente il progetto denominato PROGETTO PER L'ESECUZIONE LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DI UN MURO ESISTENTE ALLA VIA G. GALILEI.

Nella fattispecie, la campagna indagini è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle seguenti metodologie investigative:

• N° 01 PROSPEZIONE GEOFISICA SUPERFICIALE CON METODOLOGIA DI INDAGINE "MASW" SULLO STENDIMENTO SISMICO SS1 DI LUNGHEZZA LINEARE PARI A 23 MT.



Fig. 1: ubicazione dello stendimento sismico eseguito.

2. CENNI TEORICI E METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

2.1 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo **MASW** è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni, comunque meno precise, sugli strati più profondi.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

- (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica,
- (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

Il dispositivo utilizzato, prodotto dalla **Sara Electronic Instruments**, è il **Sismografo DoReMi**: uno strumento innovativo che distribuisce lungo il cavo di stendimento l'elettronica necessaria alla registrazione del segnale sismico. Il DoReMi presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

- **Fino a 155 dB di dinamica (con uso del PGA) a qualsiasi frequenza di campionamento**
- **Elevatissima immunità ai disturbi**
- **Assolutamente zero diafonia (crosstalk)**
- **Profondità di memoria 30 mila campioni**
- **Campionamenti da 2 millisecondi fino a 50 microsecondi (da 500Hz a 20.000Hz)**
- **Fino a 255 canali per singolo cavo**
- **24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;**
- **Massa battente pesante di 10 Kg per l'energizzazione sul punto di scoppio.**



Fig. 2: sismografo DoReMi e Cavo di registrazione.

2.2 RIFRAZIONE IN ONDA P – METODO DELLE INTERCETTE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

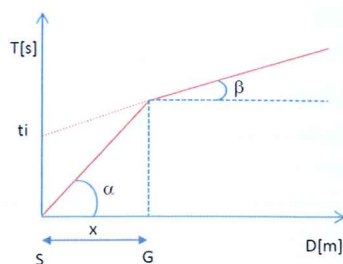
$$T = x_i / V_1$$

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

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

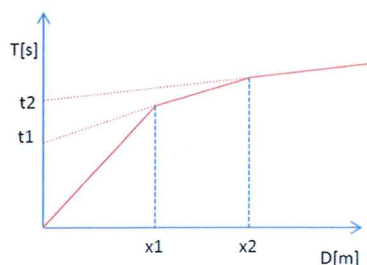
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

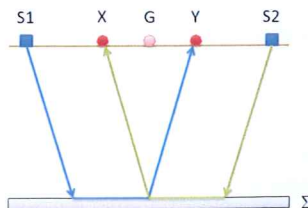


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

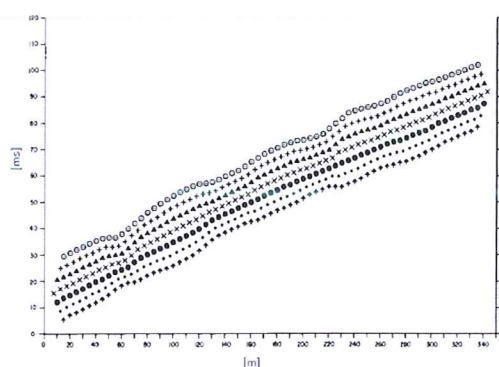
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

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



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di caKg/cm2gna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

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



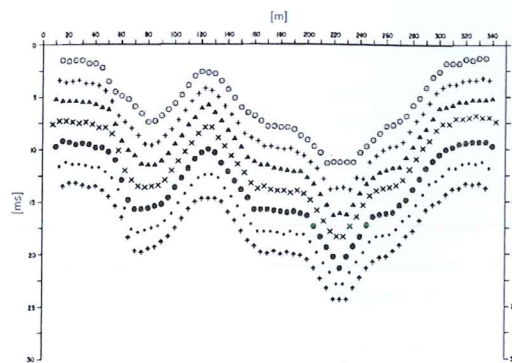
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



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

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

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

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

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

3. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE

3.1 MASW – STENDIMENTO 1.

Il profilo sismico è stato ubicato come mostrato nella figura successiva, caratterizzato da:

LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 23 Mt;

DISTANZA INTERGEOFONICA = 1 Mt

Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una massa pari a 10.00 kg eseguendo tre scoppi (shot) posti a -3mt dal 1° geofono come da schema sottostante.

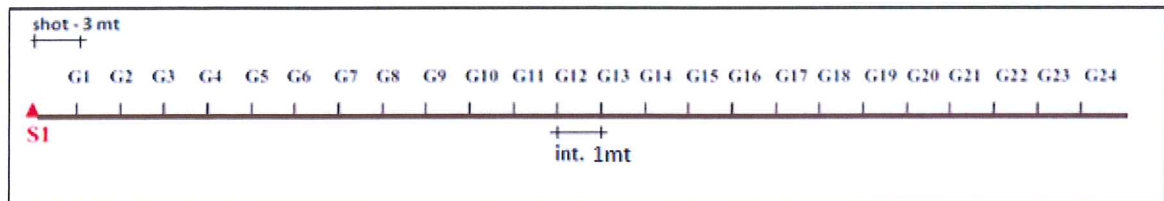


Fig. 3: schema relativo allo stendimento. In rosso è evidenziato il punto di energizzazione.

Dalle singole acquisizioni è stato generato, mediante una procedura detta STACKING, un sismogramma filtrato, con riduzione del disturbo di fondo.

	Tracce
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	0.50

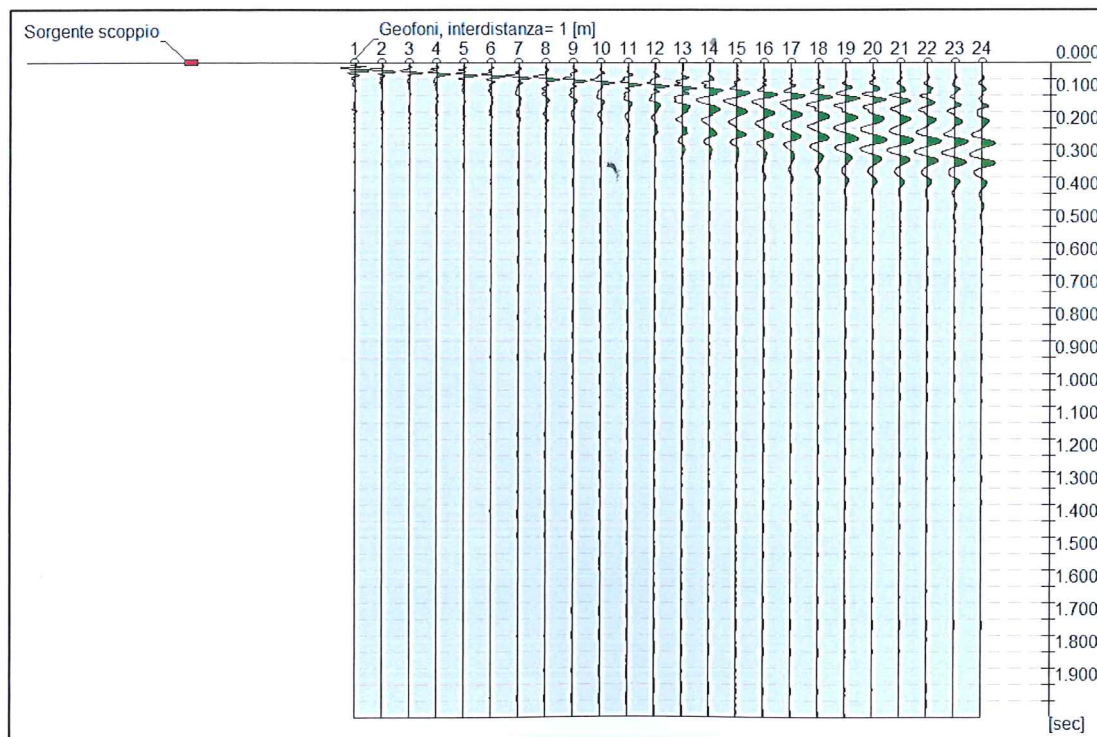


Fig. 4: sismogramma acquisito.

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **EasyMASW** della GEOSTRU per ottenere il grafico di dispersione e l'elaborazione del profilo di V_{s30} .

Analisi spettrale

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

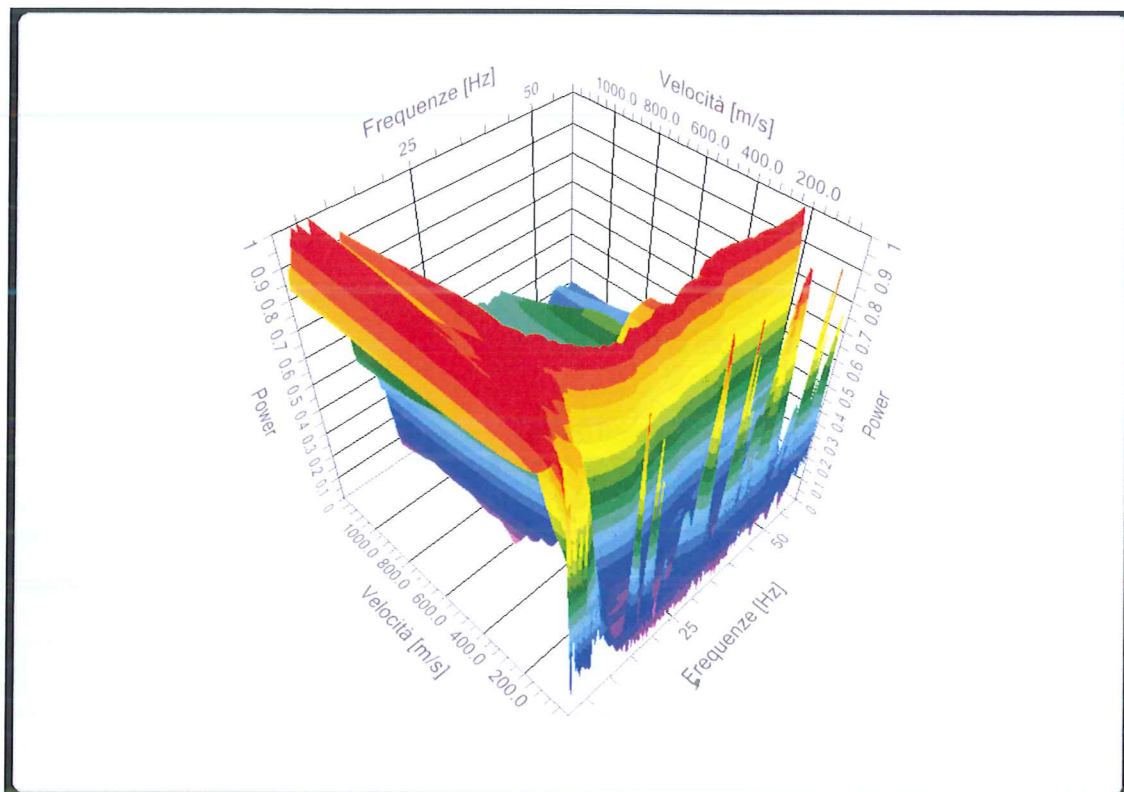


Fig. 5: spettro Velocità di fase/frequenze

RISULTATI PER LA RICOSTRUZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE:

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	11.7	398.2
2	12.9	324.7
3	14.8	263.4
4	16.7	231.5
5	22.0	221.7
6	26.8	214.3
7	30.4	214.3
8	35.5	216.8
9	39.9	216.8
10	49.7	214.3
11	54.3	214.3

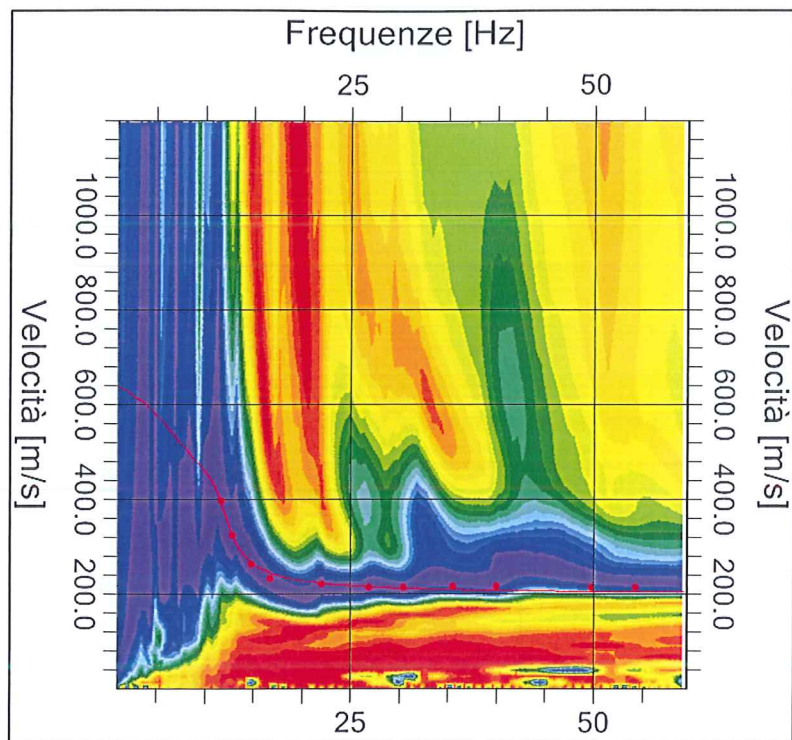


Fig. 6: Curva di dispersione

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	6.00	6.00	1800.0	0.3	No	430.2	230.0
2	8.50	2.50	1800.0	0.3	No	447.0	238.9
3	30.0	21.50	1800.0	0.3	No	1233.2	659.1

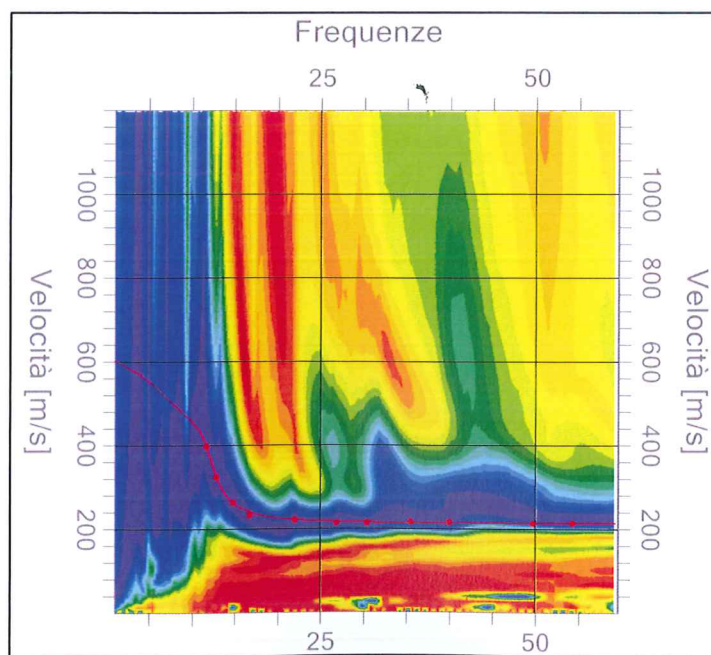


Fig. 7: Curva di Inversione con picking nel diagramma Frequenze/Velocità

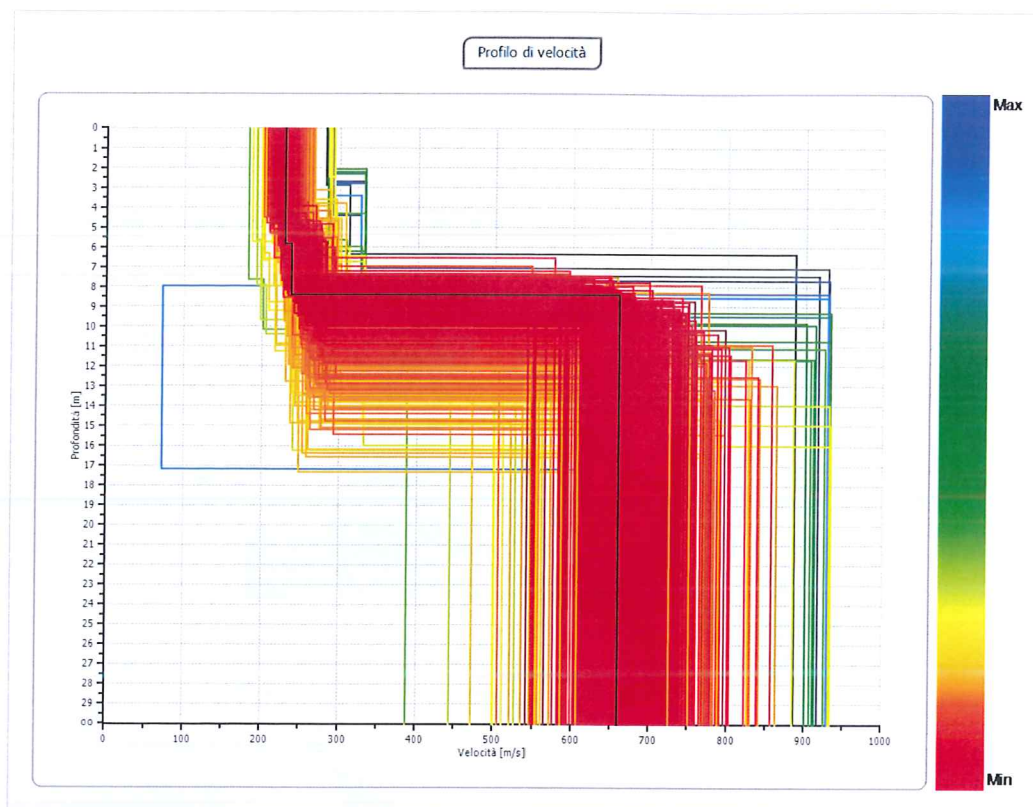


Fig. 8: profilo sismico determinato dalla trasformata di Fourier nella Curva d'Inversione

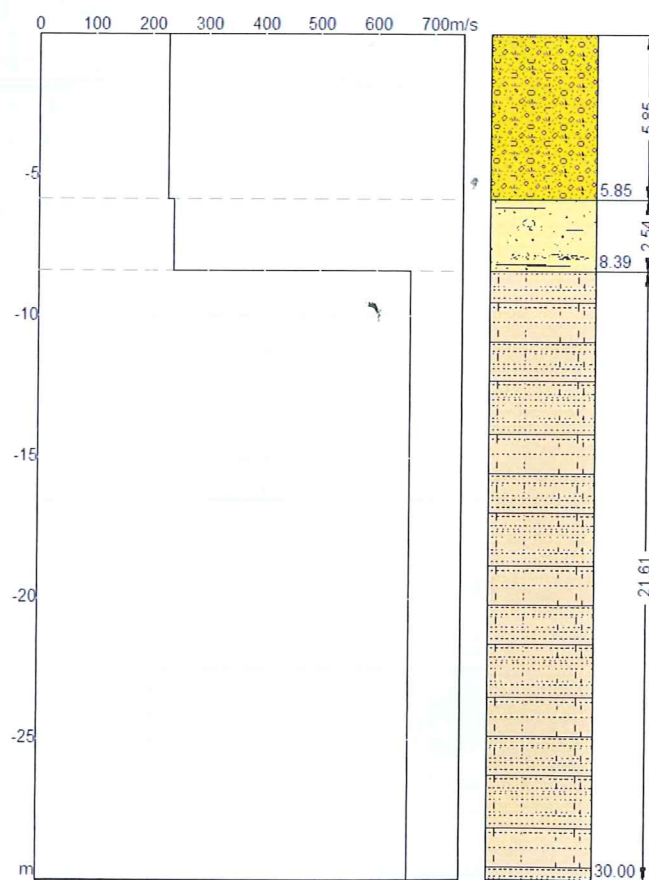


Fig. 9: colonna sismo-stratigrafica derivata dal profilo sismico.

Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=0.00 m)	435
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

3.2 RIFRAZIONE - STENDIMENTO 1

Il profilo sismico in oggetto è stato ubicato come mostrato nella figura seguente, caratterizzato da:

LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 23 Mt;

DISTANZA INTERGEOFONICA = 1 Mt

Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza **battente di massa pari a 10.00 kg** effettuando scoppi specifici ubicati in punti ben precisi lungo ciascuno stendimento stesso:

- Due scoppi simmetrici (**off-shots**) esterni allo stendimento ad una distanza di 3,00 metri dal geofono più vicino;
- Uno scoppio (**mid-shot**) al centro dello stendimento stesso.

Sullo stesso stendimento SS1 è stata eseguita una indagine MASW con scoppio posto a -2mt dal 1° geofono come da schema sottostante.

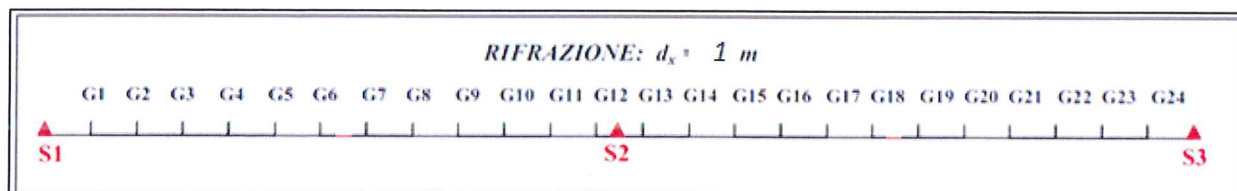


Fig. 10: schema relativo allo stendimento. In rosso, sono evidenziati i punti di energizzazione.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 8.000 campioni al secondo per un totale di 0.25 secondi di acquisizione.

In precedenza sono stati riportati le forme d'onda. In questo caso i dati di picking sono stati elaborati con il software "**EasyRefract**" software per la sismica a rifrazione della GEOSTRU.

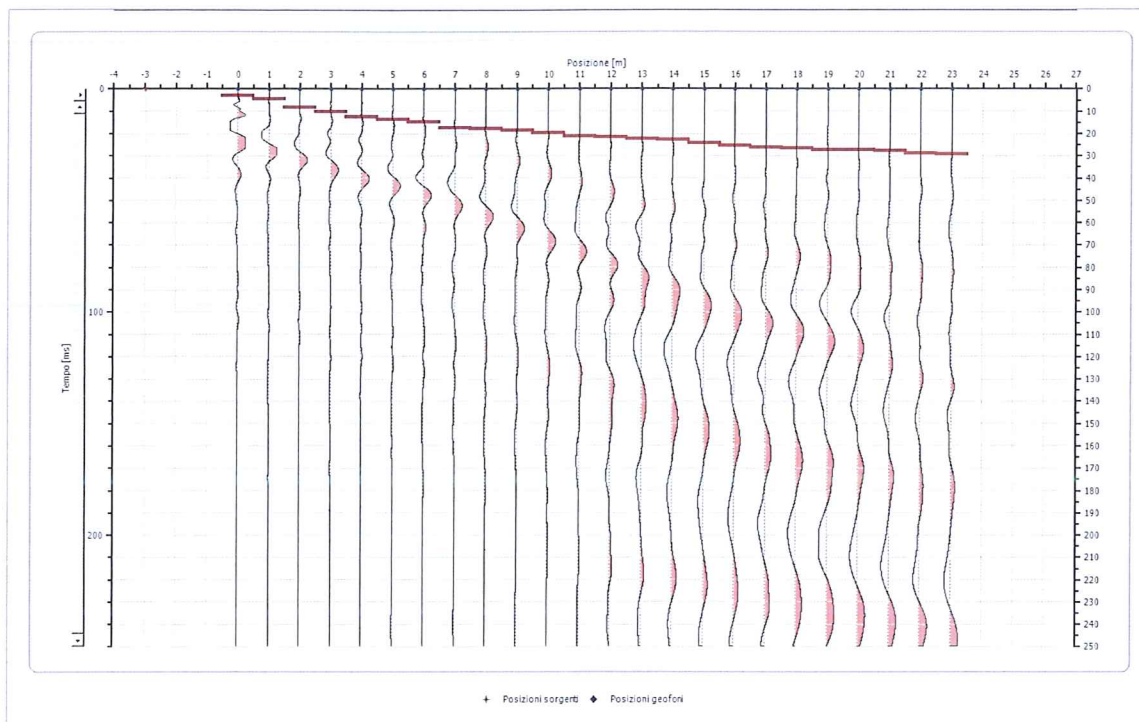
Geometria geofoni

Geofoni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Posizione X [m]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Posizione Z [m]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

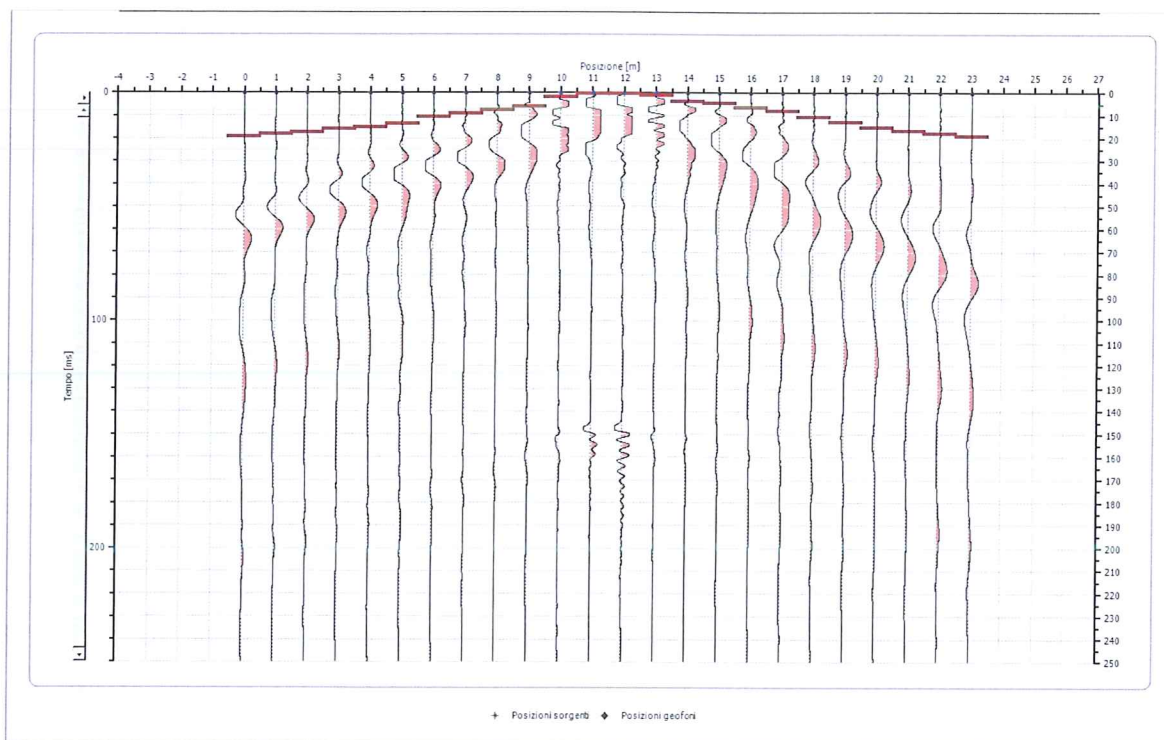
Posizione sorgente X -3 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	2.9224
1.0	4.6880
2.0	8.2801
3.0	10.4110
4.0	12.4810
5.0	13.5160
6.0	14.7032
7.0	17.3516
8.0	17.7778
9.0	18.6301
10.0	19.6895
11.0	21.1872
12.0	21.6438
13.0	22.3744
14.0	23.0046
15.0	24.2009
16.0	25.4155
17.0	26.1187
18.0	26.7215
19.0	27.2237
20.0	27.4247
21.0	27.9452
22.0	28.7671
23.0	29.4338

Battuta 2

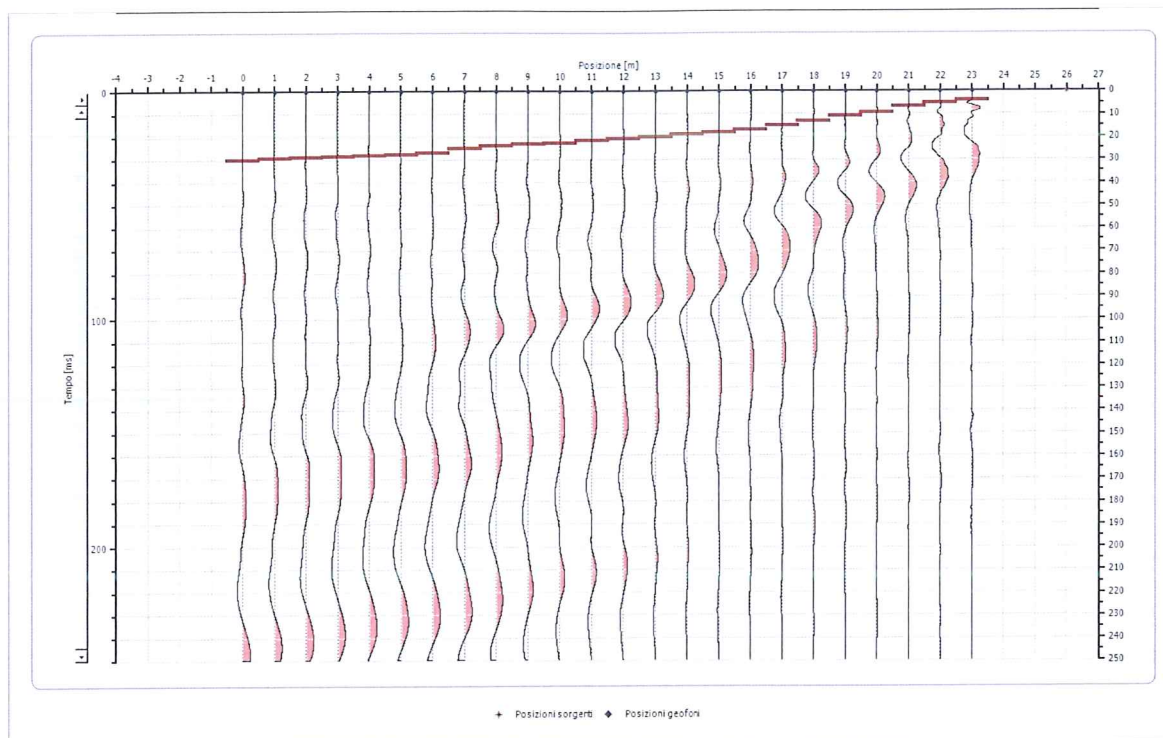
Posizione sorgente X 12 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	19.2998
1.0	18.4475
2.0	17.4125
3.0	15.8904
4.0	15.0989
5.0	13.6986
6.0	10.7154
7.0	9.0107
8.0	7.4277
9.0	6.0883
10.0	1.7656
11.0	0.3653
12.0	0.4262
13.0	1.2177
14.0	3.7139
15.0	4.3836
16.0	6.5753
17.0	7.8539
18.0	10.4718
19.0	12.9680
20.0	15.0381
21.0	16.5601
22.0	18.0213
23.0	18.9346

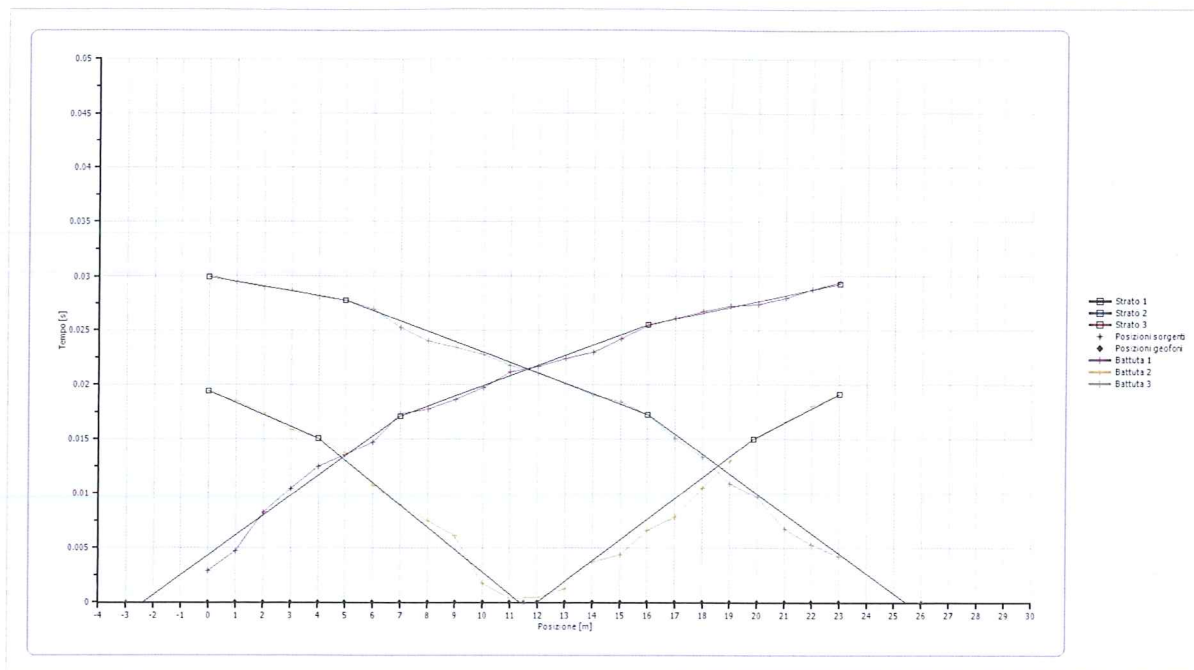
Battuta 3

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

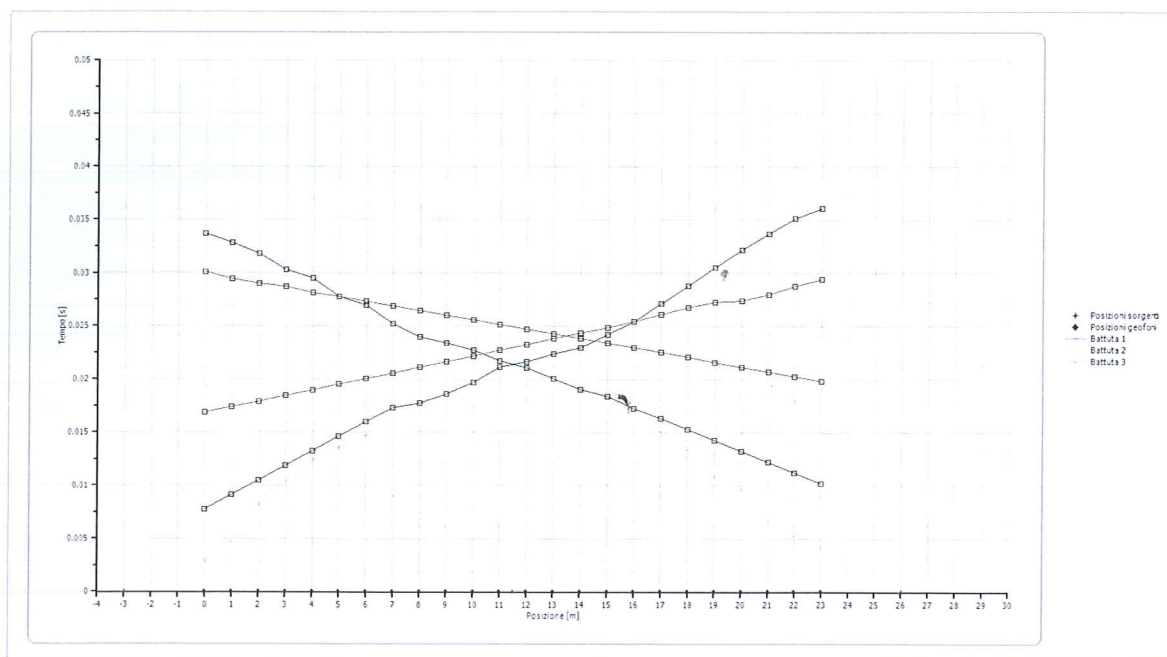


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	30.0457
1.0	29.4064
2.0	28.9498
3.0	28.6758
4.0	28.1279
5.0	27.7626
6.0	26.9406
7.0	25.2055
8.0	24.0183
9.0	23.3790
10.0	22.7397
11.0	21.7352
12.0	21.0959
13.0	20.0913
14.0	19.0868
15.0	18.3836
16.0	17.2785
17.0	15.0685
18.0	13.3333
19.0	10.8676
20.0	9.6804
21.0	6.7306
22.0	5.2968
23.0	4.2009

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.2	7.1	--
G= 1.0 [m]	1.4	6.9	--
G= 2.0 [m]	1.5	6.9	--
G= 3.0 [m]	1.5	7.0	--
G= 4.0 [m]	1.7	6.9	--
G= 5.0 [m]	1.5	7.1	--
G= 6.0 [m]	1.7	7.0	--
G= 7.0 [m]	1.6	7.1	--
G= 8.0 [m]	1.3	7.4	--
G= 9.0 [m]	1.4	7.4	--
G= 10.0 [m]	1.5	7.3	--
G= 11.0 [m]	1.7	7.2	--
G= 12.0 [m]	1.7	7.3	--
G= 13.0 [m]	1.6	7.4	--
G= 14.0 [m]	1.4	7.6	--
G= 15.0 [m]	1.6	7.5	--
G= 16.0 [m]	1.6	7.5	--
G= 17.0 [m]	1.9	7.5	--
G= 18.0 [m]	2.1	7.4	--
G= 19.0 [m]	2.3	7.2	--
G= 20.0 [m]	2.5	6.9	--
G= 21.0 [m]	2.7	6.8	--
G= 22.0 [m]	2.9	6.9	--
G= 23.0 [m]	2.8	7.0	--
Velocità [m/sec]	538.9	919.9	2047.8

Altri parametri geotecnici

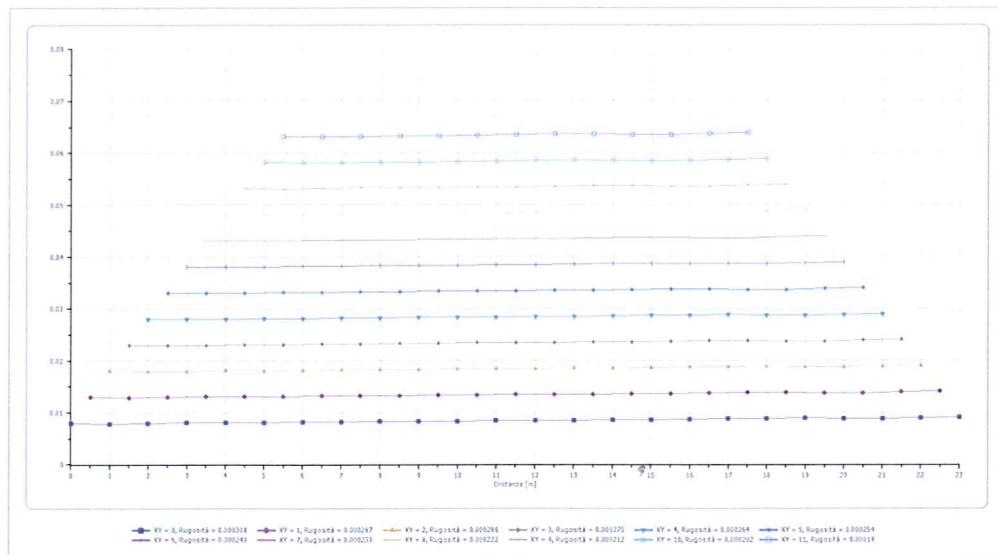
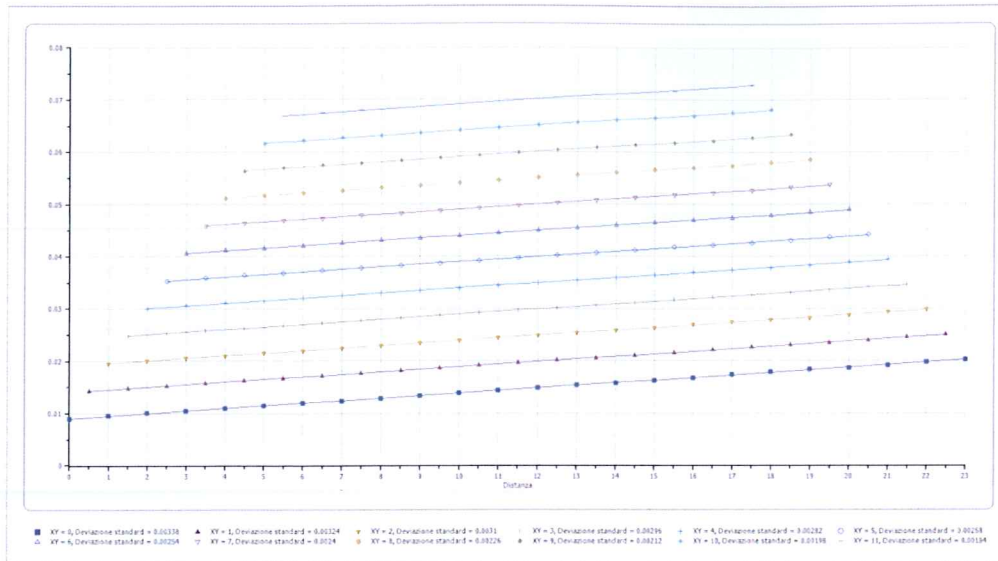
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.35	0.35	0.35
Densità [kg/m³]	1800.00	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	538.93	919.89	2047.84
Vs [m/s]	258.89	441.90	983.75
G0 [MPa]	120.65	351.49	1741.98
Ed [Mpa]	522.80	1523.14	7548.57
M0 [MPa]	402.15	1171.65	5806.59
Ey [Mpa]	325.74	949.03	4703.34

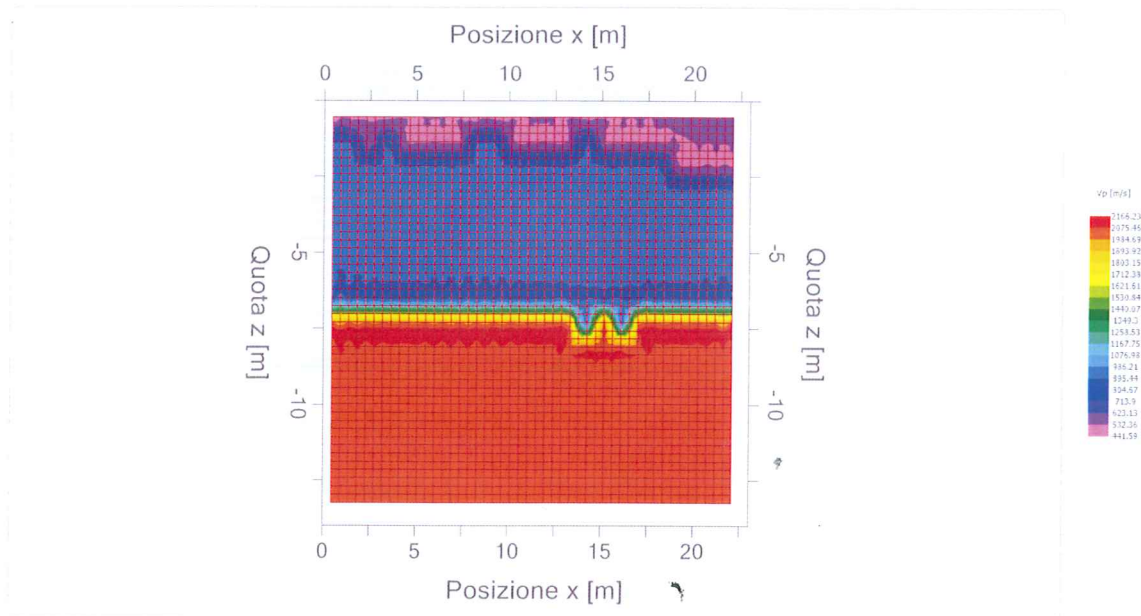
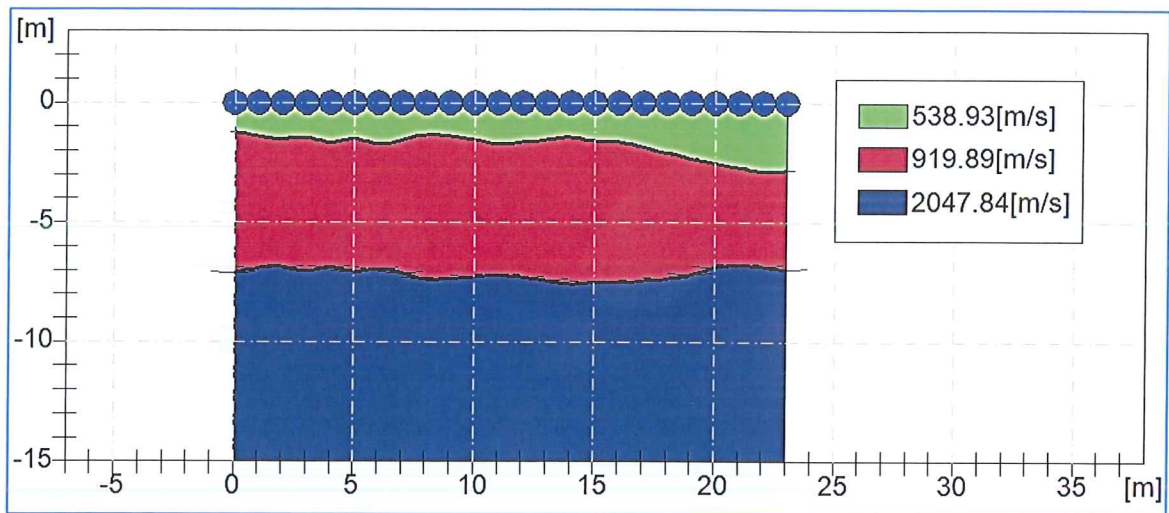
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





4. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1: STENDIMENTO SISMICO ESEGUITO IN SITO.



FOTO 2: ACQUISIZIONE DEL SEGNALE IN ODA P (II SHOT)

IL GEOLOGO:

