

Comuni di Velletri,
Provincia di Roma, Regione Lazio

RNE4 S.R.L.

Viale San Michele del Carso 22, MILANO (MI), 20144

E-mail: infoRNE@refeel.eu

Impianto Agrivoltaico VELLETRI 19.2

VE-19.2_24 – RELAZIONE GEOLOGICA

IL TECNICO	IL PROPONENTE
GEOLOGO	<p>RNE4 S.R.L. Sede legale: Viale San Michele del Carso 22 MILANO (MI), 20144 E-mail: infoRNE@refeel.eu PEC: rne4@legalmail.it Numero REA MI-2659205 P.IVA 12396840964</p>
<p>Francesco CALDARONE Ordine dei Geologi della Regione Puglia - n. 507 geol.caldarone@gmail.com</p> 	
RESPONSABILE TECNICO BELL FIX PLUS SRL	
<p>Cosimo TOTARO Ordine Ingegneri della Provincia di Brindisi - n. 1718 elettrico@bellfixplus.it</p> 	
FEBBRAIO 2023	

Indice

1. Premessa.....	2
2. Collocazione geografica dell'area	3
3. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico.....	8
4. Inquadramento geologico.....	9
4.1 Pozzolane (P ₂) e Tufi grigi (P' ₂).....	9
4.2 Tufiti sabbiose (tq)	9
4.3 "Duna antica" (qd)	12
4.4 Zona superficiale alterata (a ₁)	12
4.5 Terreni alluvionali umiferi (a ₂).....	12
4.6 Terreni palustri (a).....	12
5. Inquadramento idrogeologico.....	13
6.1 Prove penetrometriche tipo S.C.P.T.....	17
6.2 Profilo sismico a rifrazione	18
6.3 Profilo sismico con metodologia MASW.	19
7. Geolitologia e idrogeologia dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico	21
7.1 Geolitologia e caratteristiche tecniche dei terreni	21
7.2 Permeabilità dei terreni	25
8. Caratterizzazione sismica: individuazione della categoria di suolo a mezzo indagine sismica con la metodologia MASW.....	26
8.1 Classificazione sismica.....	26
8.2 Indagine sismica con metodologia MASW	29
8.3 Categoria del suolo di fondazione	30
9. Conclusioni.....	34

Allegati

- RELAZIONE CONCLUSIVA DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITO.

1. Premessa

La società RNE4 S.R.L., con sede legale in Viale San Michele del Carso, 22 - MILANO (MI), 20144 (Numero REA: MI-2659205; P.IVA: 12396840964; PEC: rne4@legalmail.it), ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione di una relazione geologica relativa al progetto di installazione di un *IMPIANTO "AGRIVOLTAICO" DENOMINATO "VELLETRI 19.2"*, della potenza pari a 23.212,80 kWp.

La Società Proponente intende realizzare tale impianto "agrivoltaico", ponendosi come obiettivo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile coerentemente agli indirizzi stabiliti in ambito nazionale e internazionale volti alla riduzione delle emissioni dei gas serra ed alla promozione di un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario.

La vendita dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico sarà regolata da criteri di "market parity", ossia avrà gli stessi costi, se non più bassi, dell'energia prodotta dalle fonti tradizionali (petrolio, gas, carbone).

Lo studio ha per obiettivo quello di definire le componenti litostratigrafiche e idrogeologiche che caratterizzano il sito stesso e l'area in cui esso ricade con l'individuazione delle caratteristiche fisiche dei terreni.

Al fine di ricostruire l'assetto litostratigrafico dell'area oggetto di studio e di una sua caratterizzazione geotecnica, si è proceduto:

- al rilevamento geologico di campagna di dettaglio;
- all'analisi di dati in possesso dello scrivente;
- all'analisi di dati e informazioni desunte da letteratura tecnica;
- all'esecuzione di un piano di investigazione costituito da
 - indagini geologiche dirette: n. 1 prova penetrometrica dinamica tipo S.C.P.T. eseguita con penetrometro super-pesante (DPSH);
 - indagini indirette:
 - o n.5 profili sismici a rifrazione;
 - o n.3 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

Si fornisce, inoltre, un inquadramento geologico e morfologico-strutturale dei luoghi, si identificano le formazioni ed i litotipi presenti in sito, le caratteristiche geostrutturali del sottosuolo e le caratteristiche idrogeologiche anche in riferimento alla natura e collocazione della falda freatica. I dati raccolti hanno consentito di caratterizzare in maniera soddisfacente i terreni coinvolti, salvo poi verificarne l'esatta corrispondenza prima dell'inizio dei lavori.

Le prospezioni geofisiche (indagini sismiche con metodologia MASW) sono state finalizzate all'individuazione della categoria di suolo come previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.01.2018).

La presente è stata redatta in ottemperanza alle disposizioni dettate dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. del 17.01.2018.

2. Collocazione geografica dell'area

L'impianto sorgerà in agro di Velletri, a ca. 10 km S-SW dal medesimo comune di Velletri, a ca. 6 km W dal comune di Cisterna di Latina ed a ca. 6 km E dal comune di Aprilia.

Il sito è individuato alle coordinate geografiche: Latitudine Nord: 41°34'52.17"; Longitudine Est: 12°44'30.06" a quote altimetriche comprese tra 58 e 63 m s.l.m.

L'estensione superficiale totale del sito (area recinzione) risulta pari a ca. 25,46 ha. Il parco FV occuperà un'area pari a 12 ha; sarà realizzato su terreni identificati catastalmente in NCT al foglio 142, p.lle 82, 244 ed al foglio 77, p.lla 1871 (Lotto Cabina).

L'area di intervento ricade sul foglio 158 "Carano" - Tav. I SO della Carta d'Italia I.G.M. scala 1:25.000.

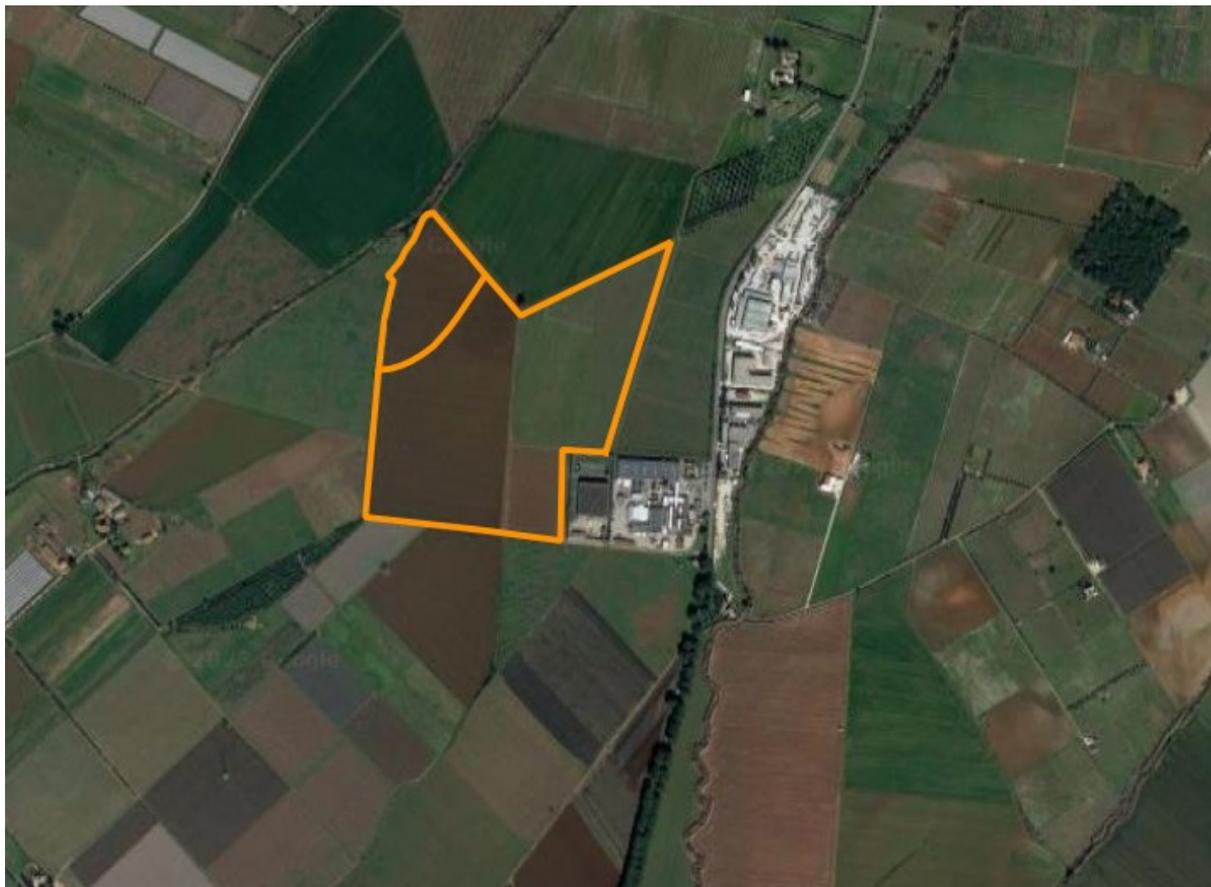


Fig. 2 - Ortofoto dell'area oggetto d'intervento

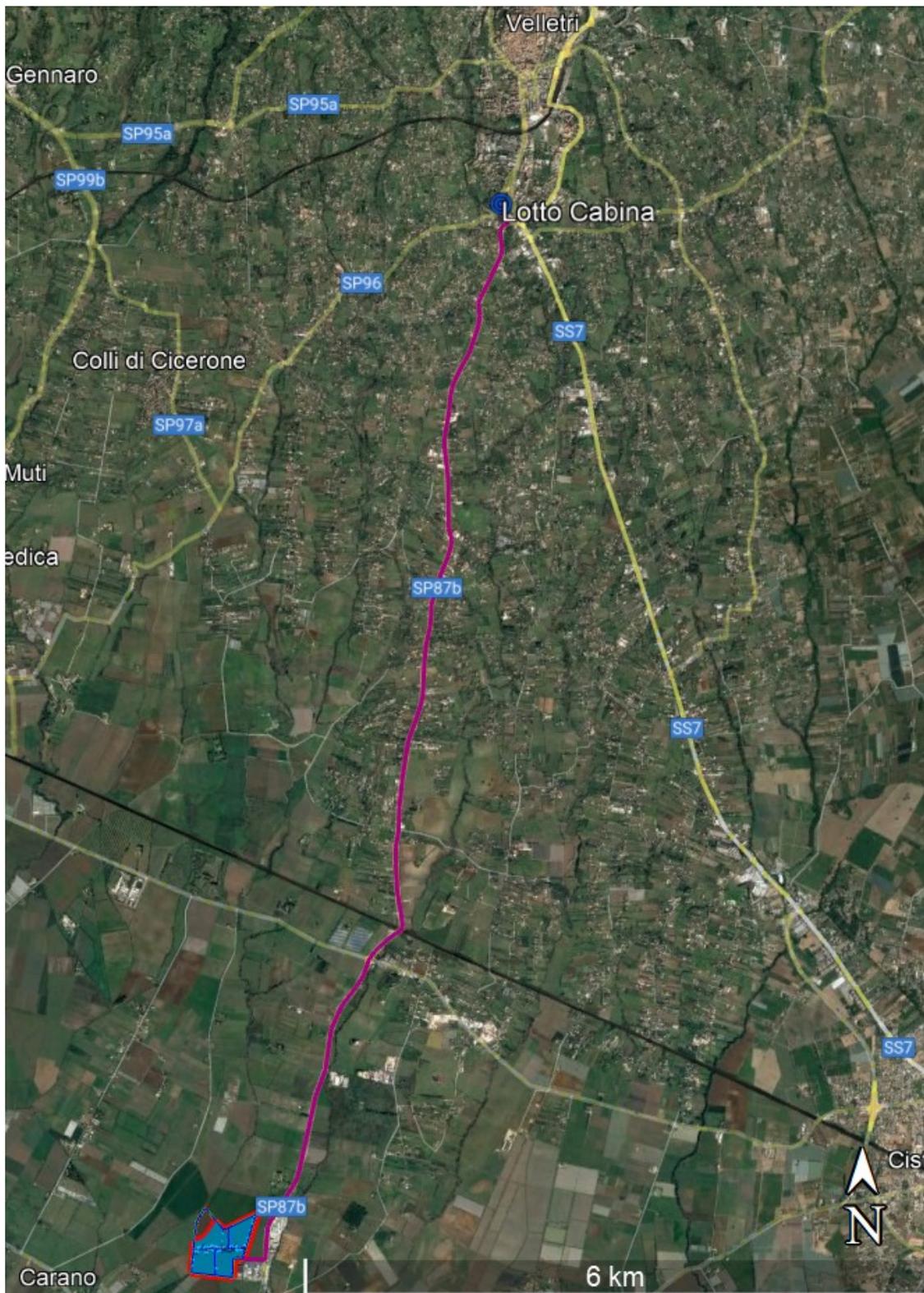


Fig. 3 - Ortofoto dell'area di impianto, del cavidotto e della SST di Velletri

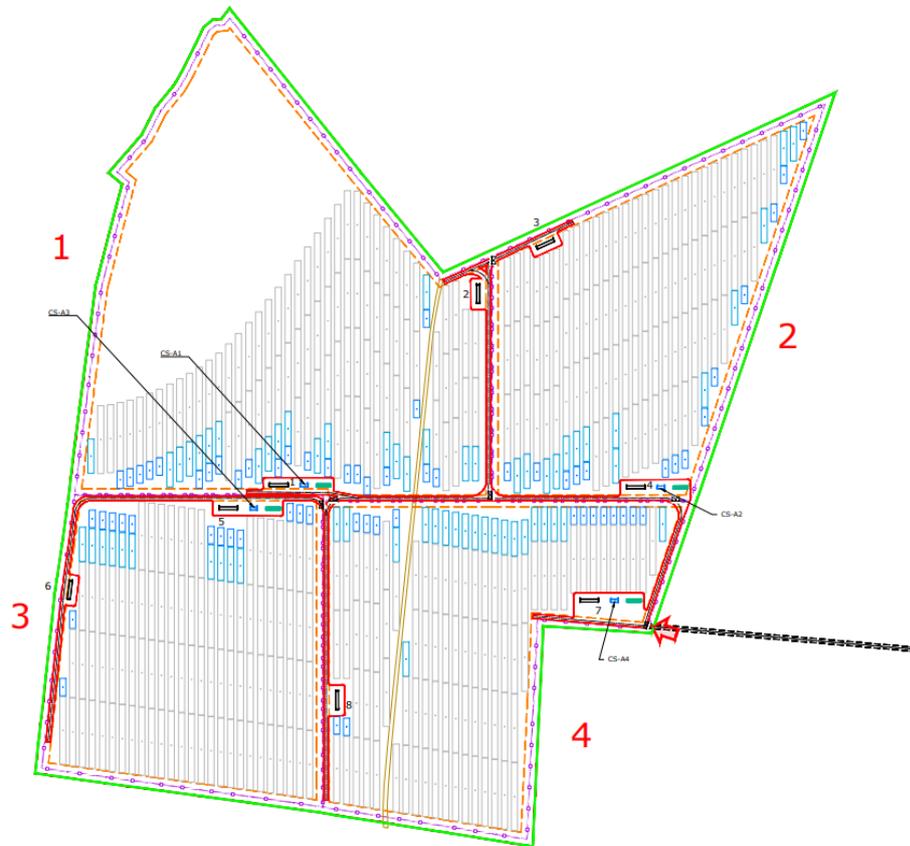


Fig. 4 - Layout di impianto

3. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico

La Pianura Pontina costituisce la porzione meridionale di un'estesa area subsidente che a partire dal Pliocene si creò tra la catena appenninica e la costa (piana costiera). Essa difatti, posta al margine del Mar Tirreno, risulta delimitata a nord dai Colli Albani e ad est dalla catena dei monti Ausoni e Lepini.

Par quanto attiene gli aspetti strutturali, dal Pliocene al Pleistocene un sistema di faglie dirette ad andamento prevalentemente NW-SE e subordinatamente SE-NW ha interessato il margine tirrenico della catena appenninica, in adiacenza all'area attualmente occupata dalla Pianura Pontina, ha determinato la formazione di un profondo graben, colmato da sedimenti marini, fluvio-palustri e subordinatamente piroclastici.

Sondaggi profondi eseguiti nel territorio racchiuso tra i rilievi carbonatici e la Via Appia (Manfredini, 1990) evidenziano, a partire dall'alto: una formazione superiore di ambiente palustre o lacustre, per uno spessore massimo di circa 100 m, costituita da alternanze di argille torbose, sabbie, travertini e rari orizzonti conglomeratici; una formazione inferiore costituita prevalentemente da sabbie limose di ambiente marino, ricche di macrofossili, per uno spessore massimo di 200 m e attribuibili genericamente al Pleistocene.

Al di sotto di questi terreni sono presenti i termini ribassati delle successioni giurassico-cretaciche di altofondo carbonatico che costituiscono le dorsali dei Monti Lepini ed Ausoni.

Spostandosi verso il mare, nel settore indicativamente individuabile a SW della Via Appia, al di sotto dei depositi di duna antica che giungono fino al mare, i sondaggi profondi (Sondaggi Sabaudia, Pontinia e S. Donato, riportati in Conforto et. Alii, 1962 e in Camponeschi e Nolasco, 1983) e le indagini geofisiche effettuate dai diversi autori, non individuano, sino ad oltre 1000 m di profondità i termini calcarei giurassico-cretacici.

Da un punto di vista morfologico, si passa da un assetto tabulare della Piana costiera (il cui andamento è interrotto unicamente dalle ondulazioni degli antichi depositi dunali), ai rilievi collinari, alle forme vallive ed alle propaggini dei Colli Albani, ai ripidi versanti calcarei.

La configurazione attuale del paesaggio della Pianura Pontina è il risultato, principalmente, dell'attività antropica di regimazione e controllo delle acque superficiali. Dal punto di vista morfologico s.s., infatti, il territorio in esame presenta pochi elementi geomorfologici "naturali" mostrando, al contrario, significativi rapporti con elementi antropici. Le culminazioni morfologiche presenti, sono determinate unicamente dalla presenza dell'antico cordone dunale, che può innalzarsi anche di alcune decine di metri dal piano campagna lungo assi allungati in direzione all'incirca NW - SE.

Il sito oggetto del presente studio risulta posto in un'area sub-pianeggiante, con quote altimetriche comprese tra 58 e 63 m s.l.m.

4. Inquadramento geologico

Per le ragioni precedentemente esposte, la Pianura Pontina occupa la fascia costiera fino al Mar Tirreno con una larghezza di 20 km ca., una lunghezza di 50 km ca., in direzione NW-SE. Dal punto di vista geologico nella pianura affiorano depositi pliocenici e quaternari che, dai rilievi, si estendono fino all'attuale linea di costa e vanno ad occludere le strutture che costituiscono il substrato.

Pertanto, la successione sedimentaria, a partire da un ambiente deposizionale di tipo marino è passata ad un ambiente di transizione (costiero) e successivamente ad un sistema continentale di tipo fluvio-lacustre. Questa evoluzione si riflette in una grande variabilità verticale e laterale dei depositi, che sono fluviolacustri, piroclastici, eolici e costieri.

In dettaglio tali sedimenti possono essere raggruppati in alcune grandi classi in relazione alla loro composizione e modalità di deposizione:

- terreni torbosi di origine fluvio-lacustre (Olocene);
- argille marine e di transizione, sabbie e ghiaie continentali e marine (Pleistocene superiore);
- depositi sabbioso-limosi litorali e transizionali (Pleistocene medio);
- piroclastiti ed epivolcaniti (vulcanismo albano);
- argille azzurre con intercalazioni sabbiose (Pliocene - Pleistocene);
- depositi marini detritici (Pliocene).

In sintesi, le formazioni affioranti all'interno dell'area in esame, facendo riferimento alla "Carta Geologica d'Italia" Scala 1:100.000 - Foglio 158 "Latina", sono, a partire dal basso:

4.1 Pozzolane (P₂) e Tufi grigi (P'₂)

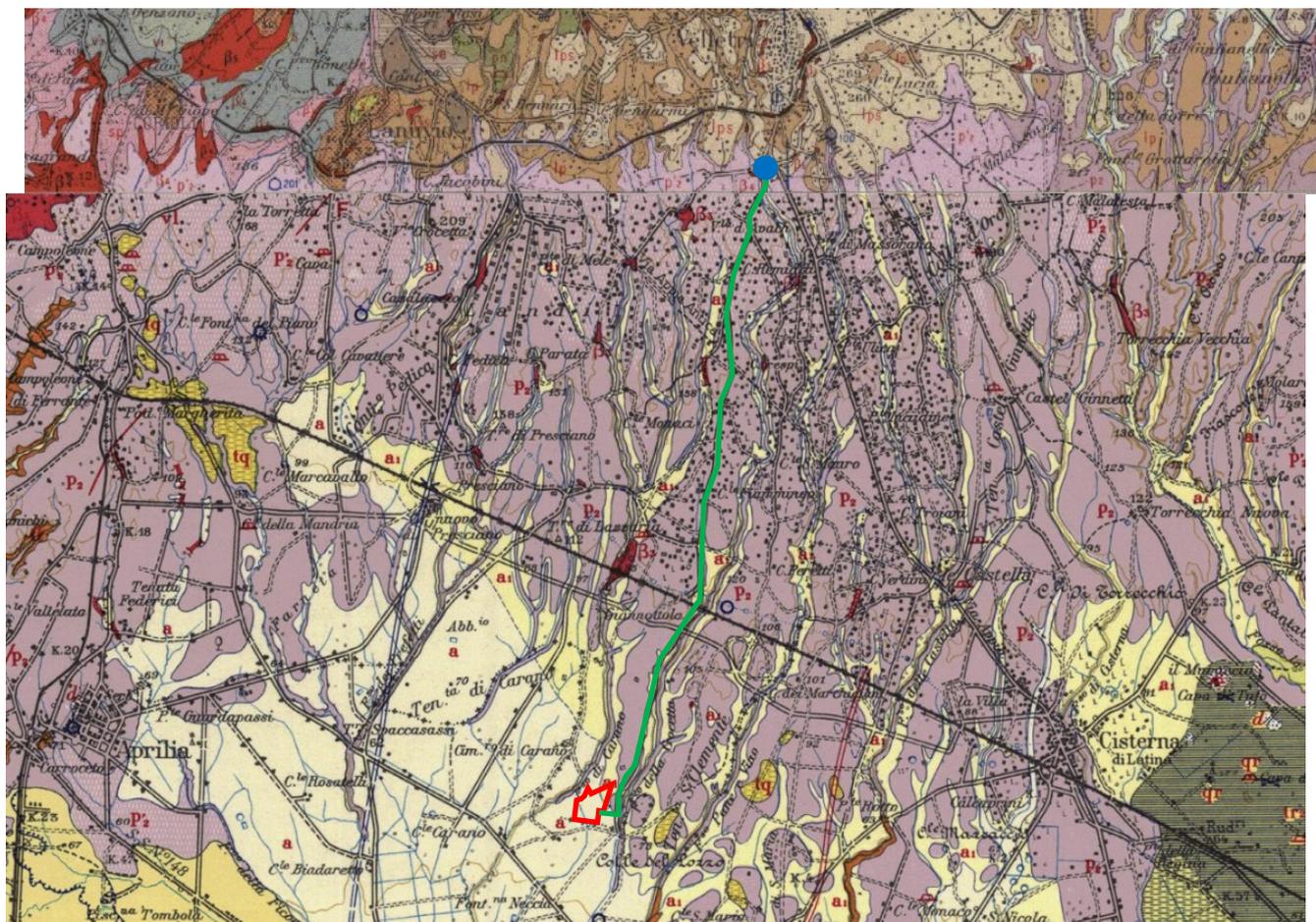
Si tratta di pozzolane superiori grigie in massa, chiamate anche "pozzolanelle" con blocchi rigettati (leucocrati a leucite, ultrafemici a pirosseni, biotititi); pozzolane a scorie nere (P₂).

Superiormente possono riscontrarsi tufi grigi più o meno friabili, abbondantemente leucitici, localmente chiamati "occhio di pesce" con intercalazioni dure di proietti agglomerati. Possono esserci localmente limi straterellati nella parte superiore omogenea; lapilli poco coerenti, talora stratificati (P'₂).

4.2 Tufiti sabbiose (tq)

Si tratta di Tufiti sabbiose e lapilli fluitati in straterelli intercalati che si rinvencono come riempimento di paleofossi incisi nelle formazioni piroclastiche precedenti, anche come diatomiti.

FIG. 5 - CARTA GEOLOGICA



LEGENDA



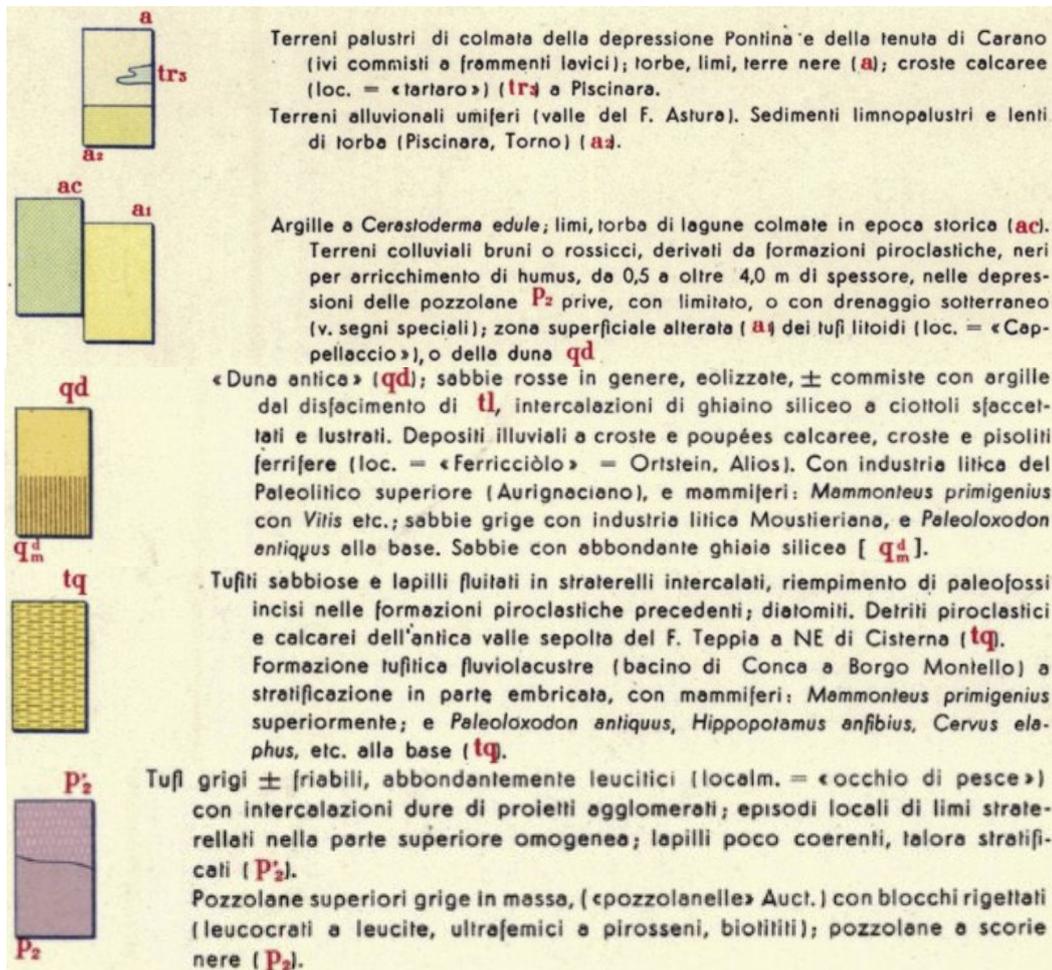
AREA DI IMPIANTO



STAZIONE ELETTRICA



CAVIDOTTO



4.3 "Duna antica" (qd)

Questa formazione si rinviene diffusamente lungo tutta la fascia costiera della Pianura Pontina. E' costituita da sabbie rosse eolizzate, più o meno frammiste ad argille provenienti dal disfacimento del Tufo litoide (tl), con all'interno intercalazioni di ghiaio siliceo a ciottoli sfaccettati e lustrati. Depositi illuviali a croste e poupees calcaree, croste e pisoliti ferrifere. Anche sabbie grigie.

Da un punto di vista cronostratigrafico è imputabile al Pleistocene superiore.

4.4 Zona superficiale alterata (a₁)

Depositi derivanti dal disfacimento dei "Tufi litoidi" (tl - Loc. "Cappellaccio") oppure della "Duna antica" (qd). Si tratta di terreni colluviali bruni o rossicci, derivati da formazioni piroclastiche, neri per arricchimento di humus. Si rinviene a norddest del sito oggetto di studio.

Lo spessore raggiunto è al massimo di pochi metri.

La formazione è attribuibile all'Olocene.

4.5 Terreni alluvionali umiferi (a₂)

Sedimenti limnopalustri e lenti di torba recenti (Olocene).

Si rinvencono a sud del sito lungo il fiume Astura.

4.6 Terreni palustri (a)

Si tratta della formazione direttamente interessata dalle opere da realizzare. E' caratterizzata da terreni palustri recenti di colmata della depressione Pontina e della Tenuta di Carano. Si rinvencono a norddest del comune di Latina.

5. Inquadramento idrogeologico

Come anticipato, la Pianura Pontina è delimitata ad Est dai rilievi carbonatici dei Monti Lepini e la parte più settentrionale dei Monti Ausoni, a Nord dai rilievi vulcanici albanici ad Ovest e a Sud dal Mar Tirreno. La parte emersa della struttura lepina è interessata da un vistoso processo carsico ed ospita una falda imponente; la porzione ribassata sotto la Piana Pontina invece, è coperta da sedimenti plio-quadernari e contiene una ricca falda imprigionata, alimentata lateralmente dal sistema acquifero della dorsale lepina e dei colli albanici.

Il substrato della Pianura Pontina, costituito da rocce calcaree mesozoiche, unitamente ai depositi terrigeni sovrapposti (argille, sabbie, torbe), fungono da serbatoi d'acqua infiltratasi nei rilievi circostanti e sono certamente sede di circolazione idrotermale.

Si hanno così due differenti condizioni idrogeologiche:

- un acquifero carsico esteso nella struttura lepina, sia nella parte emersa che nella parte ribassata;
- un circuito idrotermale che si sviluppa nel sistema di faglie esistente.

L'area in studio si colloca nell'ambito della complessità dell'assetto idrogeologico della Pianura Pontina, schematicamente riferibile ad un acquifero multifalda, causato anche da variazioni verticali di facies, che rappresenta un'unità idrogeologica ben definita, all'interno della quale si rinvenivano falde idriche contenute negli orizzonti litologici a maggiore permeabilità, a profondità diverse. Questi acquiferi ricevono un'alimentazione soprattutto laterale, da parte delle falde delle vulcaniti e, in maggior misura, degli acquiferi carsici dei rilievi lepini.

Il sistema è condizionato, pertanto, dall'articolazione dei complessi geologici recenti e, da settore a settore, dalle interazioni con le formazioni geologiche adiacenti (formazioni vulcaniche dei Colli Albani e formazioni carbonatiche della struttura lepina). Caratterizzato quindi da notevoli eteropie laterali, in assenza di specifiche indagini esplorative, questo assetto non consente, se non nelle linee generali, una chiara definizione dei rapporti tra i diversi corpi idrici così come la stessa distinzione tra circolazione superficiale e circolazione profonda.

I caratteri idrogeologici di questa zona della pianura risentono della variabilità, anche laterale, dei litotipi presenti. I principali livelli produttivi sono rappresentati da strati di materiali granulari (sabbie e piroclastiti), o carbonatici (travertini), cui si interpongono a varie quote termini argillosi e limosi, che ne determinano il confinamento.

In linea generale si osserva una netta correlazione tra la topografia dei terreni e l'andamento della superficie piezometrica; le massime culminazioni della falda (30 ÷ 40 m s.l.m.) si riscontrano nelle porzioni nord occidentali del territorio pontino, in coincidenza delle quote topografiche più elevate e della presenza dei terreni vulcanici dell'apparato albanico, mentre le quote più basse sono omogeneamente distribuite lungo la fascia costiera (inferiori a 2.5 m s.l.m.).

Nei vari settori della Pianura Pontina restano in genere ancora poco conosciuti i rapporti tra le diverse circolazioni idriche. I livelli piezometrici relativi alle differenti circolazioni possono essere riferiti ad un unico serbatoio.

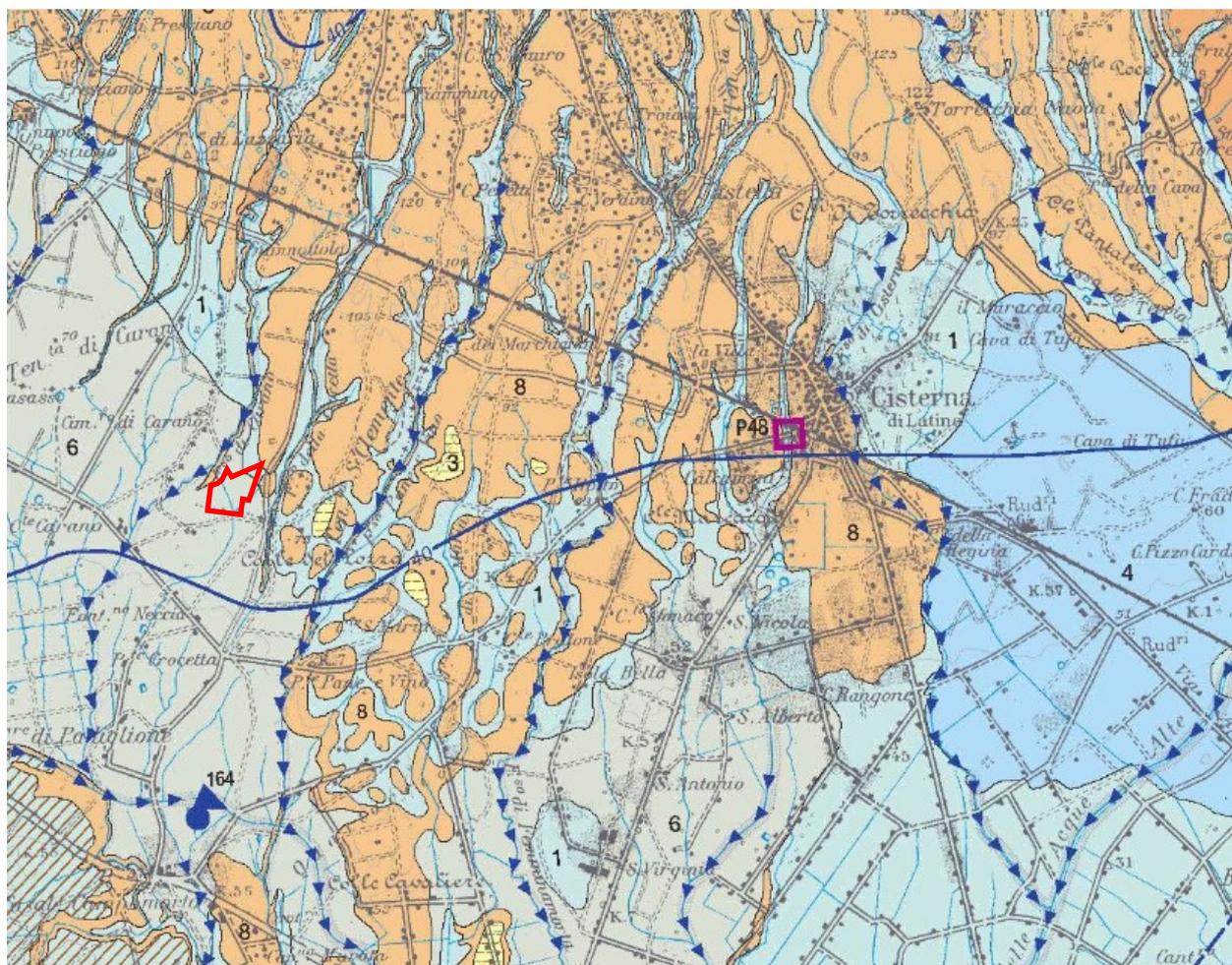
In Fig.6 sono riportati i Complessi idrogeologici estrapolati dalla Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio. L'area oggetto di studio ricade nel *Complesso dei depositi fluvio palustri e lacustri*: si tratta di depositi prevalentemente limo-argillosi in facies palustre, lacustre e salmastra con locali intercalazioni ghiaiose e/o travertinose (Pleistocene-Olocene).

Lo spessore si presenta variabile da pochi metri ad alcune decine di metri. La prevalente componente argillosa di questo complesso impedisce una circolazione idrica sotterranea significativa; la presenza di ghiaie, sabbie e travertini può dare origine a limitate falde locali. Il complesso può assumere il ruolo di *aquiclude* confinando la circolazione idrica sotterranea degli acquiferi carbonatici.

Secondo la suddetta carta, la superficie piezometrica si attesta intorno ai 40 m s.l.m., pertanto il livello statico della falda si collocherebbe a quote orientative di -20 m dal piano campagna, perfettamente in linea con le informazioni assunte in loco.

In ogni caso, alle quote indagate nel corso delle indagini eseguite, non è stata riscontrata presenza di falda freatica. Ciononostante, non si esclude la possibilità di una presenza di modeste falde superficiali sospese, anche a carattere stagionale, in stretta connessione con il regime pluviometrico.

FIG. 6 – CARTA IDROGEOLOGICA DEL TERRITORIO DELLA REGIONE LAZIO (2012)



COMPLESSI IDROGEOLOGICI

- 1** **COMPLESSO DEI DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI - potenzialità acquifera da bassa a medio alta**
 Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazze e coperture eluviali e colluviali (*OLOCENE*). Spessore variabile da pochi metri ad oltre un centinaio di metri. Dove il complesso è costituito dai depositi alluvionali dei corsi d'acqua perenni presenta gli spessori maggiori (da una decina ad oltre un centinaio di metri) e contiene falde multistrato di importanza regionale. I depositi alluvionali dei corsi d'acqua minori, con spessori variabili da pochi metri ad alcune decine di metri, possono essere sede di falde locali di limitata estensione.
- 6** **COMPLESSO DEI DEPOSITI FLUVIO PALUSTRI E LACUSTRI - potenzialità acquifera bassa**
 Depositi prevalentemente limo - argillosi in facies palustre, lacustre e salmastra con locali intercalazioni ghiaiose e/o travertinose (*PLEISTOCENE - OLOCENE*). Spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri. La prevalente componente argillosa di questo complesso impedisce una circolazione idrica sotterranea significativa; la presenza di ghiaie, sabbie e travertini può dare origine a limitate falde locali. Il complesso può assumere il ruolo di acquiclud confinando la circolazione idrica sotterranea degli acquiferi carbonatici (Piana Pontina e di Cassino).



UBICAZIONE DEL SITO OGGETTO DI STUDIO

LEGENDA

LINEAMENTI TETTONICI

-  in affioramento
-  sepolti

SORGENTI PUNTUALI

-  Sorgente con numero di riferimento (Le sorgenti con portata inferiore a 10 L/s non sono numerate)
-  termale ($T \geq 20 \text{ C}^\circ$)
-  minerale (TDS > 750 mg/L)
-  termominerale ($T \geq 20 \text{ C}^\circ$; TDS > 750 mg/L)

Classi di portata portata media misurata (L/s)

-  < 10 L/s
-  da 10 a 50 L/s
-  da 50 a 250 L/s
-  da 250 a 1000 L/s
-  da 1000 a 5000 L/s
-  da 5000 a 10000 L/s
-  >10000 L/s

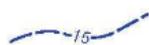
SORGENTI SOTTOMARINE

Classi di portata portata media stimata (L/s)

-  < 100 L/s
-  da 100 a 1000 L/s
-  > 1000 L/s

ISOPIEZE

La piezometria è stata ricostruita solo per gli acquiferi vulcanici e alluvionali

-  Equidistanza 1 m per le isopieze con quota inferiore a 5 m
-  Equidistanza 5 m per le isopieze con quota compresa tra 5 e 20 m
-  Equidistanza 20 m per le isopieze con quota superiore a 20 m

SORGENTI LINEARI

-  Sorgente con numero di riferimento

Classi di portata portata media misurata (L/s)

-  da 10 a 50 L/s
-  da 50 a 250 L/s
-  da 250 a 1000 L/s
-  da 1000 a 5000 L/s
-  da 5000 a 10000 L/s
-  Decremento di portata in alveo
-  Emissione gassosa
-  Stazione pluviometrica
-  Stazione termopluviometrica
-  Stazione idrometrica in telemisura



Territorio urbanizzato
 insediamenti residenziali, produttivi e servizi connessi

6. Indagini eseguite

Come affermato in premessa, per il riconoscimento delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione sono state eseguite (dalla GEOPROVE S.r.l., nel mese di gennaio 2023) le seguenti indagini:

- indagini geologiche dirette: n. 1 prova penetrometrica dinamiche tipo S.C.P.T. eseguite con penetrometro super-pesante (DPSH);
- indagini indirette:
 - o n.5 profili sismici a rifrazione;
 - o n.3 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

6.1 Prove penetrometriche tipo S.C.P.T.

La caratterizzazione geotecnica in sito dei terreni indagati è avvenuta mediante l'esecuzione di n.1 prova con penetrometro dinamico superpesante DPSH, mod. TG 63-200 marca PAGANI (denominata DPSH 1), effettuate a partire dal piano di campagna fino a quota massima pari a - 4,20 m (cfr. *Planimetria ubicazione indagini* e documentazione fotografica in *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito*).

Le prove penetrometriche dinamiche tipo S.C.P.T. sono prove attraverso le quali è possibile determinare la resistenza dinamica di un terreno in situ e valutarne il grado di omogeneità verticale.

Il principio si basa sull'affondamento di una punta conica in un terreno tramite una batteria di aste collegate ad un maglio battente per mezzo di un'incudine. Si misura il numero di colpi necessario per ottenere un abbassamento di 20 cm.

Tali prove sono state realizzate con un penetrometro avente le seguenti caratteristiche:

TG 63-200 EML .C Pagani

CARATTERISTICHE TECNICHE

Rif. Norme	DIN 4094
PESO MASSA BATTENTE : M	63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA : H	0,75m
PESO SISTEMA BATTUTA : Ms	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA: D	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA : A	20,43 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA: α	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA: P1	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : δ	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA: N= N(20)	Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO

E' possibile quindi ricavare una indicazione della resistenza alla punta mediante la formula dell'energia dinamica:

$$R_d = M^2 H / [A E (M + P)]$$

dove:

R_d = resistenza dinamica alla punta;

M = peso del maglio;

A = area della superficie;

E = profondità di infissione per colpo;

P = peso delle aste alla profondità considerata.

In allegato alla presente relazione si riportano i tabulati, relativi alla suddetta prova, contenenti correlazione tra numero dei colpi e parametri geotecnici.

6.2 Profilo sismico a rifrazione

Per la ricostruzione stratigrafica e sismostratigrafica dell'area e per la caratterizzazione meccanica dei litotipi che si rinvengono nell'area sono stati eseguiti n.5 profili sismici a rifrazione (SR1, SR2, SR3, SR4, SR5) ognuno con uno stendimento di lunghezza pari a 33 m.

La sismica a rifrazione consente di valutare, sulla base della misura delle velocità di propagazione delle onde elastiche, le caratteristiche strutturali e di deformabilità dei terreni

Inoltre, permette di delimitare le coperture presenti (depositi eluvio-colluviali, materiale di riporto, ecc.).

L'indagine si basa sulla registrazione dei tempi di arrivo ad una serie di geofoni delle onde elastiche longitudinali generate da impatti sulla superficie del terreno.

Quando le onde sismiche incidono su di una superficie di discontinuità elastica (ovvero una superficie che separa due mezzi sovrapposti aventi natura e proprietà elastiche differenti) si verificano fenomeni di rifrazione e di riflessione. I raggi rifratti possono ritornare in superficie per cui, noti i tempi di percorrenza tra sorgente sonora e geofono, nonché la distanza tra questi due, è possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde longitudinali in ciascun "mezzo sismico" attraversato e da questa risalire anche alle costanti elastiche.

L'elaborazione del profilo sismico è avvenuta mediante apposito algoritmo delle sezioni sismografiche. Tale metodo permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, con un elevato potere risolutivo offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con differenti tecniche di indagine.

L'apparecchiatura adottata per l'esecuzione delle prospezioni è rappresentata da un sismografo 12 canali della *Geometrics* (Sismografo Modulare *GEODE*), costituito da una serie di geofoni di bassa frequenza regolarmente spazati lungo un determinato stendimento e da un sistema che registra l'istante di partenza del treno d'onda ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta per mezzo di una massa battente del peso di 5 Kg.

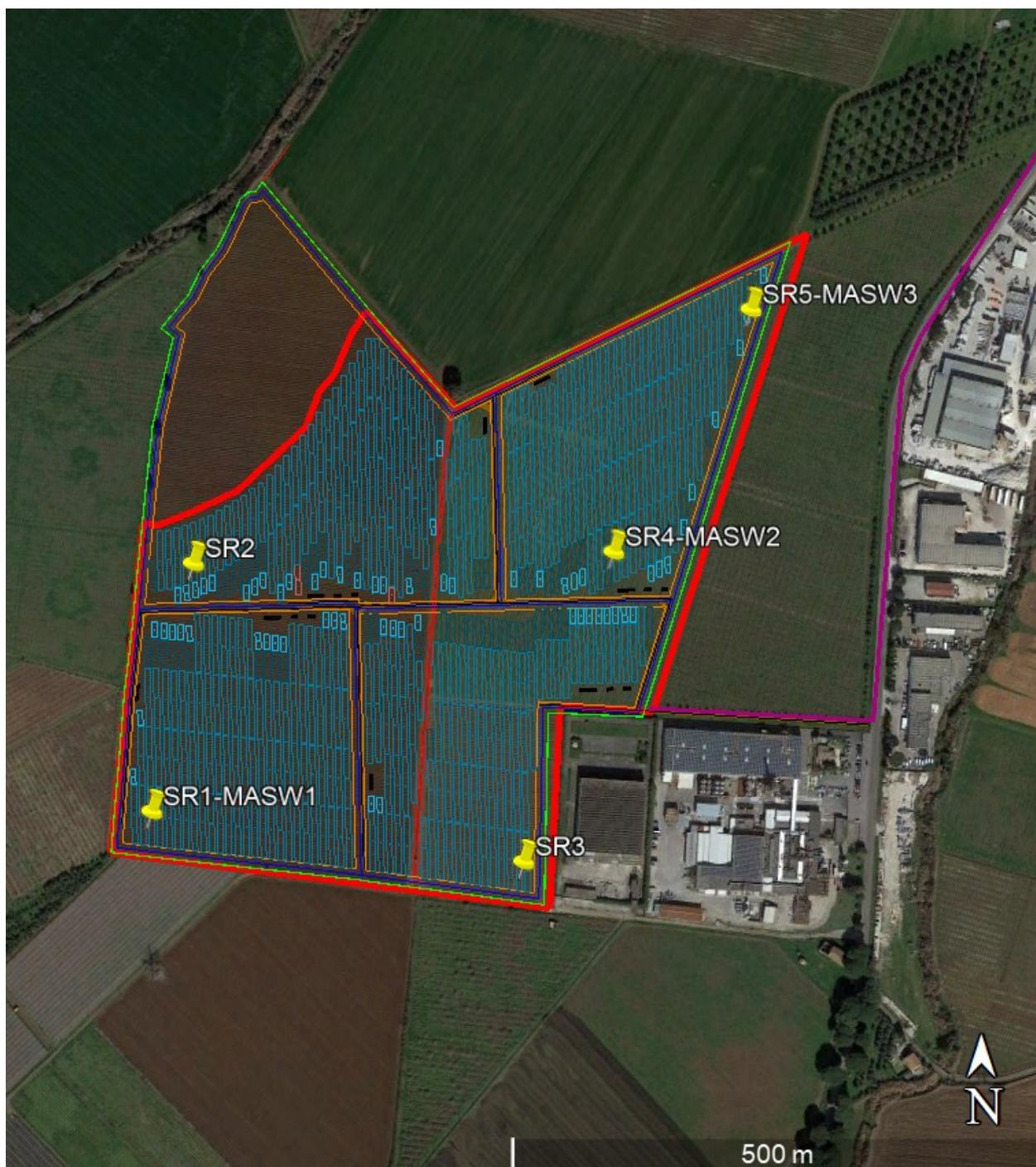
L'analisi dei sismogrammi ha consentito di ricavare i tempi di primo arrivo delle onde sismiche longitudinali tramite i quali sono stati ricavati i diagrammi distanza-tempo (dromocrone) utilizzati sia per il calcolo analitico delle velocità di propagazione delle onde elastiche, sia per l'interpretazione della struttura sotterranea e l'elaborazione della corrispondente sezione sismo-stratigrafica.

Per maggiori dettagli inerenti la tecnica utilizzata e la determinazione dei moduli elastici e delle caratteristiche meccaniche dei litotipi indagati si rimanda alla *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati* al presente lavoro.

6.3 Profilo sismico con metodologia MASW.

Per la presentazione dell'indagine sismica con metodologia MASW si rimanda al Cap. 8 ed alla *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati*.

FIG. 7 - ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINI



Legenda

SR Profilo sismico a rifrazione

MASW Profilo sismico con metodologia MASW

DPSH Prova penetrometrica dinamica

 Linea cavidotto interrato

7. Geolitologia e idrogeologia dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico

7.1 Geolitologia e caratteristiche tecniche dei terreni

I profili sismici eseguiti in sito hanno permesso di ricostruire un modello che mette in evidenza i rapporti tra i diversi sismostrati in base ai tempi di arrivo delle onde sismiche.

In particolare:

- il profilo sismico a rifrazione SR1 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di tre sismostrati, il primo con uno spessore di 0,8 m caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/s, il secondo fino alla quota -4,20 m caratterizzato da una velocità V_p di 700 m/s, il terzo con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media V_p di 900 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR2 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di tre sismostrati, il primo con uno spessore di 0,8 m caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/s, il secondo fino alla quota -4,20 m caratterizzato da una velocità V_p di 600 m/s, il terzo con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media V_p di 1000 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR3 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di tre sismostrati, il primo con uno spessore di 0,8 m caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/s, il secondo fino alla quota -4,20 m caratterizzato da una velocità V_p di 700 m/s, il terzo con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media V_p di 1000 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR4 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di tre sismostrati, il primo con uno spessore di 0,8 m caratterizzato da una velocità V_p di 300 m/s, il secondo fino alla quota -4,20 m caratterizzato da una velocità V_p di 700 m/s, il terzo con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media V_p di 900 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR5 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di tre sismostrati, il primo con uno spessore di 0,8 m caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/s, il secondo fino alla quota -4,20 m caratterizzato da una velocità V_p di 600 m/s, il terzo con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media V_p di 900 m/s.

Per le ricostruzioni delle sezioni sismostratigrafiche si rimanda alla *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati*.

Pertanto, in base all'analisi dei profili simici, la successione stratigrafica nei diversi settori, può essere ricostruita nel seguente modo:

Colonna stratigrafica 1

0,00 m ÷ 0,80 m	terra rossa
0,80 m ÷ 4,20 m	argille
4,20 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 2

0,00 m ÷ 1,20 m	terra rossa
1,20 m ÷ 4,20 m	argille
4,20 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 3

0,00 m ÷ 1,00 m	terra rossa
1,00 m ÷ 4,00 m	argille
4,00 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 4

0,00 m ÷ 1,20 m	terra rossa
1,20 m ÷ 4,00 m	argille
4,00 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 5

0,00 m ÷ 1,00 m	terra rossa
1,00 m ÷ 4,10 m	argille
4,10 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Le prove eseguite hanno restituito un'ottima correlazione in termini di velocità delle onde sismiche, quindi delle caratteristiche litostratigrafiche, a parità di quota di indagine.

La caratterizzazione stratigrafica dell'area in esame è conforme con i dati di letteratura e con quanto riscontrato nella "Carta Geologica d'Italia" 1:100.000 - Foglio 158 "Latina" - utilizzata come riferimento per l'inquadramento geologico.

Per quanto riguarda il cavidotto, il suo tracciato si snoderà interrato lungo la *S.P. 87b*, fino al raggiungimento del lotto interessato dalla cabina di consegna; pertanto gli scavi nei quali verrà alloggiato, che avranno profondità comprese tra 0.50 e 1.20 m, ricadranno verosimilmente nei riempimenti degli strati fondali stradali o, al più, nel suolo e/o gli strati superficiali del sottosuolo (costituito quest'ultimo da depositi pozzolanici).

In Fig. 8 si riporta la colonna stratigrafica con i tre livelli individuati nei profili sismici a rifrazione eseguiti.

Nella tabella seguente vengono riportati i principali moduli e parametri desunti dalla misurazione delle velocità V_s e V_p nel corso dei profili sismici a rifrazione (cfr *Relazione conclusiva delle attività di indagine in Allegati*):

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cm ³)	E (Kg/cm ²)	η
1	400	-	-	-	-	-	-
2	700	250	26	0.02	2.00	117	0.36
3	900	340	27	0.03	2.10	150	0.35

V_p = vel. longit.; V_s = vel. trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace;
 γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

Tab. 1 - Parametri geotecnici e moduli correlati a V_p e V_s

7.2 Permeabilità dei terreni

Prove di permeabilità in pozzetto a carico costante e variabile (tipo Lefranc) condotte in litotipi aventi le medesime caratteristiche fisiche di quelli presenti in zona hanno mostrato valori di permeabilità $k = 10^{-6} \div 10^{-8}$ m/s.

Si tratta di valori che indicano una permeabilità da bassa a molto bassa se si considera che i dati forniti dalla letteratura riportati in Tab. 2 indicano come riferimenti i seguenti valori:

Grado di permeabilità	Valori di K (m/s)
Alto	$>10^{-3}$
Medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
Basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
Molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
Impermeabile	$<10^{-9}$

Tab. 2 - Corrispondenza tra valore e grado di permeabilità

Le prove di permeabilità rappresentano, comunque, prove puntuali che non tengono in considerazione le variazioni laterali dei litotipi quaternari costituenti i terreni sui quali ricade il sito oggetto dello studio.

Valori bassi di permeabilità stanno a significare che all'interno della legge del bilancio idrologico gli afflussi rivenienti sul territorio sono destinati prevalentemente al ruscellamento superficiale e più limitatamente all'infiltrazione nel suolo e sottosuolo.

8. Caratterizzazione sismica: individuazione della categoria di suolo a mezzo indagine sismica con la metodologia MASW

8.1 Classificazione sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, pubblicata in G.U. n. 105 del 8-5-2003 - Suppl. Ordinario n.72, stabilisce che in prima applicazione, sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche sono individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale", elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997.

Tale "Proposta" individua le nuove zone sismiche (quattro) nelle quali è suddiviso l'intero territorio nazionale, classificando sismicamente ciascun comune in una delle quattro zone e comparando detta nuova classificazione con quella previgente. In proposito, si evidenzia che l'ordinanza 3274/03 attribuisce alle singole Regioni la facoltà di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica per quelle costruzioni da edificare sui rispettivi territori in zona sismica classificata 4 e per quegli edifici ed opere strategiche e rilevanti ai fini della protezione civile e dell'eventuale collasso degli stessi, da realizzare ex novo, di cui al DPCM 21/10/2003.

L'esercizio di tale ultima facoltà è consentito, grazie alle tante proroghe succedutesi, fino all'emanazione del D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni" dove al comma 4 viene precisato che "le indicazioni di cui ai punti precedenti non operano per le verifiche tecniche e le nuove progettazioni degli interventi relativi agli edifici di interesse strategico ed a particolari opere infrastrutturali...". Dall'entrata in vigore del decreto, la progettazione dovrà essere elaborata esclusivamente sulla base delle nuove norme tecniche dallo stesso approvate.

Secondo l'ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006, le zone 1, 2 e 3 possono essere ulteriormente divise in sottozone caratterizzate da valori di A_g intermedi rispetto a quelli riportati in tabella ed intervallati da valori non minori di 0.025 g. Le valutazioni di A_g dovranno essere effettuate sulla base di studi di pericolosità condotti su dati aggiornati.

In base alla nuova classificazione sismica la Regione Lazio ha riclassificato il proprio territorio (DGR n. 387 del 22 maggio 2009) abolendo di fatto la classe 4, lasciando invariata la zona 1 e suddividendo la zona 2 e 3 in due rispettive sottozone.

La tabella seguente riporta uno stralcio dalla tabella 3 all'Allegato 1 relativo alla DGR della Regione Lazio n. 387 del 22 maggio 2009.

ZONA	SOTTOZONA	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1		0.25-0.278 g
2	A	0.20-0.25 g
	B	0.15-0.20 g
3	A	0.10-0.15 g
	B	0.062-0.10 g

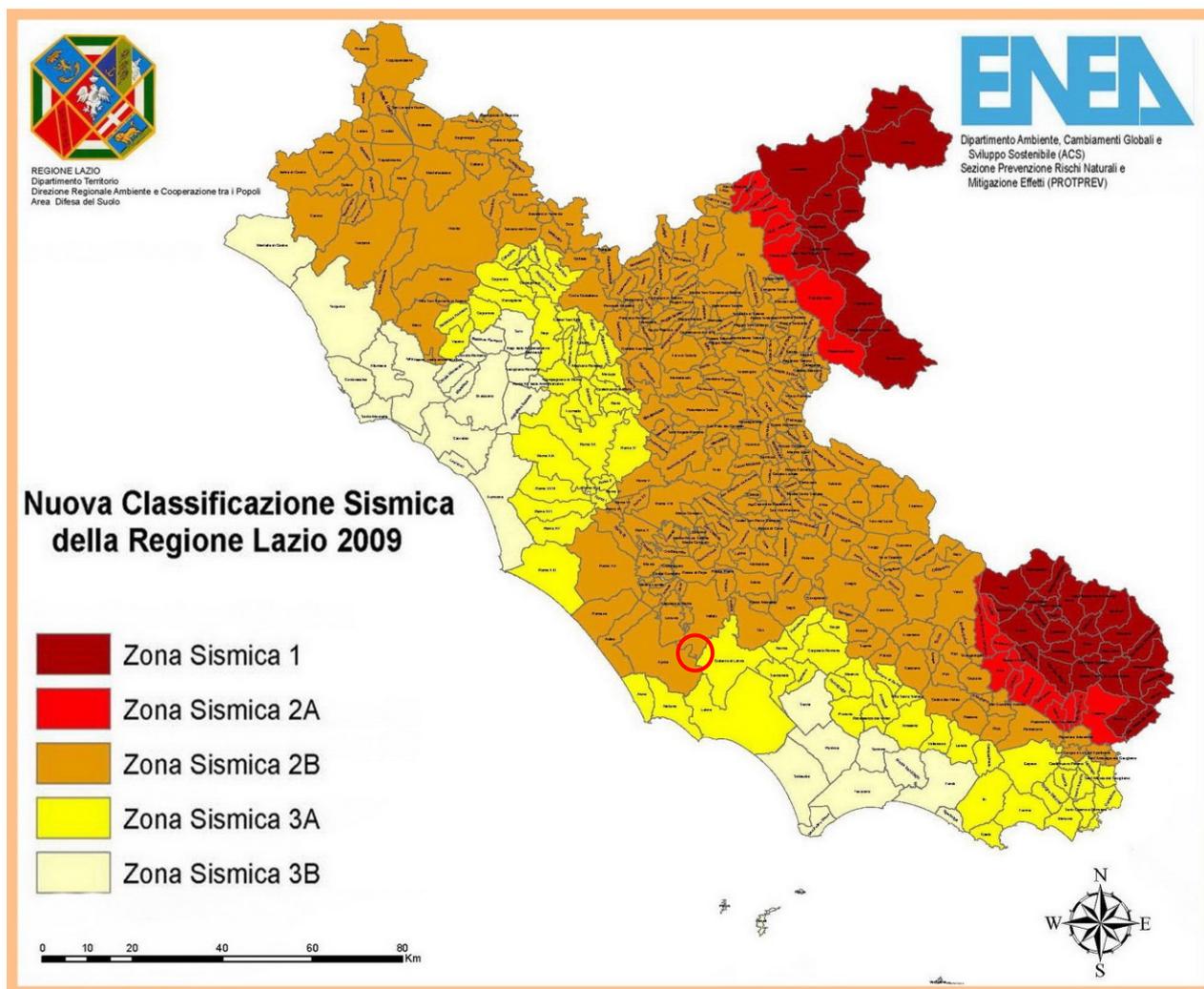
Tab.3: DGR Regione Lazio - Valori di accelerazione orizzontali.

In base alla nuova classificazione quindi, il **Comune di Velletri** è stato inserito in **zona 2B** mostrando, così, un valore di accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compreso/uguale tra 0.15-0.20 g.

Zona sismica 2B	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti. La sottozona 2B indica un valore di $a_g < 0,20g$
------------------------	--

Pur evidenziando che la Microzonazione Sismica di primo livello è stata eseguita nella Regione Lazio, ivi compreso nel comune di Velletri, l'area oggetto di studio ne risulta scoperta e pertanto non si possono fornire informazioni supplementari.

Fig. 9 - NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONE LAZIO (2009)



○ UBICAZIONE DELL'IMPIANTO "VELLETRI 19.2"

8.2 Indagine sismica con metodologia MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) 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; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il *picking* o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s e il parametro $V_{s,eq}$.

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine MASW sono costituite da:

- ✓ un sistema di energizzazione ad impatto verticale per le onde di Rayleigh costituito da una mazza battente verticalmente su piastra metallica posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;
- ✓ un sistema di ricezione costituito da 12 geofoni verticali;
- ✓ un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo e da un notebook PC Windows XP con software di acquisizione dati;

- ✓ un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

8.3 Categoria del suolo di fondazione

Grazie alla tecnica descritta precedentemente è stato possibile giungere all'individuazione della categoria del suolo per l'area indagata.

All'interno del sito oggetto di studio sono stati eseguiti n.3 profili di lunghezza pari a 33 m, di seguito denominati MASW 1, MASW 2, MASW 3.

La $V_{s,eq}$ è stata calcolata con la seguente espressione:

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

Da tale relazione sono emersi i seguenti valori di $V_{s,eq}$.

MASW 1: 347 m/s;

MASW 2: 334 m/s;

MASW 3: 342 m/s;

Per ogni categoria del suolo (A-B-C-D-E) è fissata una descrizione litostratigrafica, con ad essa associati i parametri di riferimento geotecnici e sismici.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni permette di classificare le zone oggetto di indagine come appartenenti a differenti categorie sismiche:

- ✓ *Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;*
- ✓ *Categoria 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;*
- ✓ *Categoria C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;*

- ✓ Categoria D: *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;*
- ✓ Categoria E: *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

In questo lavoro, in base all'analisi dei profili sismici e delle correlazioni relative, si attribuiscono ai suoli di fondazione le seguenti categorie:

- **MASW 1**

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

- **MASW 2**

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

- **MASW 3**

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

Come premesso, con l' "Ordinanza" n° 3274 del 20 Marzo 2003 della "Presidenza del Consiglio dei Ministri" sono state emanate le norme che definiscono i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche ai sensi dell' Art. n° 93, 1g del Decreto Legislativo 112/1998 ai fini della formazione e dell'aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone da parte delle Regioni, ai sensi dell' Art. 94, 2a del medesimo decreto.

In base alla nuova classificazione sismica la Regione Lazio ha riclassificato il proprio territorio (DGR n. 387 del 22 maggio 2009) abolendo di fatto la classe 4, lasciando invariata la zona 1 e suddividendo la zona 2 e 3 in due rispettive sottozone.

In base alla nuova classificazione quindi, **il Comune di Velletri è stato inserito in zona 2B** mostrando, così, un valore di accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compreso/uguale tra 0.15-0.20 g.

"Zona 2B": Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti."

Sulla base delle recenti disposizioni previste dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (17/01/2018) si definiscono, per l'opera in progetto, i seguenti parametri sismici:

Comune di Velletri

Codice ISTAT: 12058111

Coordinate sito Progetto "VELLETRI 19.2":
Longitudine = 12.741683° E;
Latitudine = 41.581158° N

Nodi intorno al sito: 29848 29847 30069 30070

Vita nominale dell'opera: VN = 50 anni (due volte il periodo di resa dei pannelli fotovoltaici)

Classe d'uso: III (opera di rilevante importanza in zona sismica 2B)

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

Periodo di ritorno T_r (anni)		Parametri di pericolosità sismica		
		a_g (g/10)	F_0 (adim)	T_c^* (sec)
SLO	45.16	0.52744038	2.50727843	0.26750463
SLD	75.43	0.68581611	2.45072060	0.27995413
SLV	711.84	1.59420052	2.58387661	0.28325631
SLC	1462.18	2.02192357	2.54047729	0.28883610

Dai valori ottenuti è possibile ricavare gli spettri da utilizzare per l'analisi sismica della struttura.

Dove: SL = Stato Limite considerato; Tr = Tempo di ritorno (anni); a_g = Accelerazione orizzontale massima al sito; Fo = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; Tc* = Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Popolazione residente	53.365
Densità per Km²	471,4
Zona sismica (DGR n. 387/2009)	2B

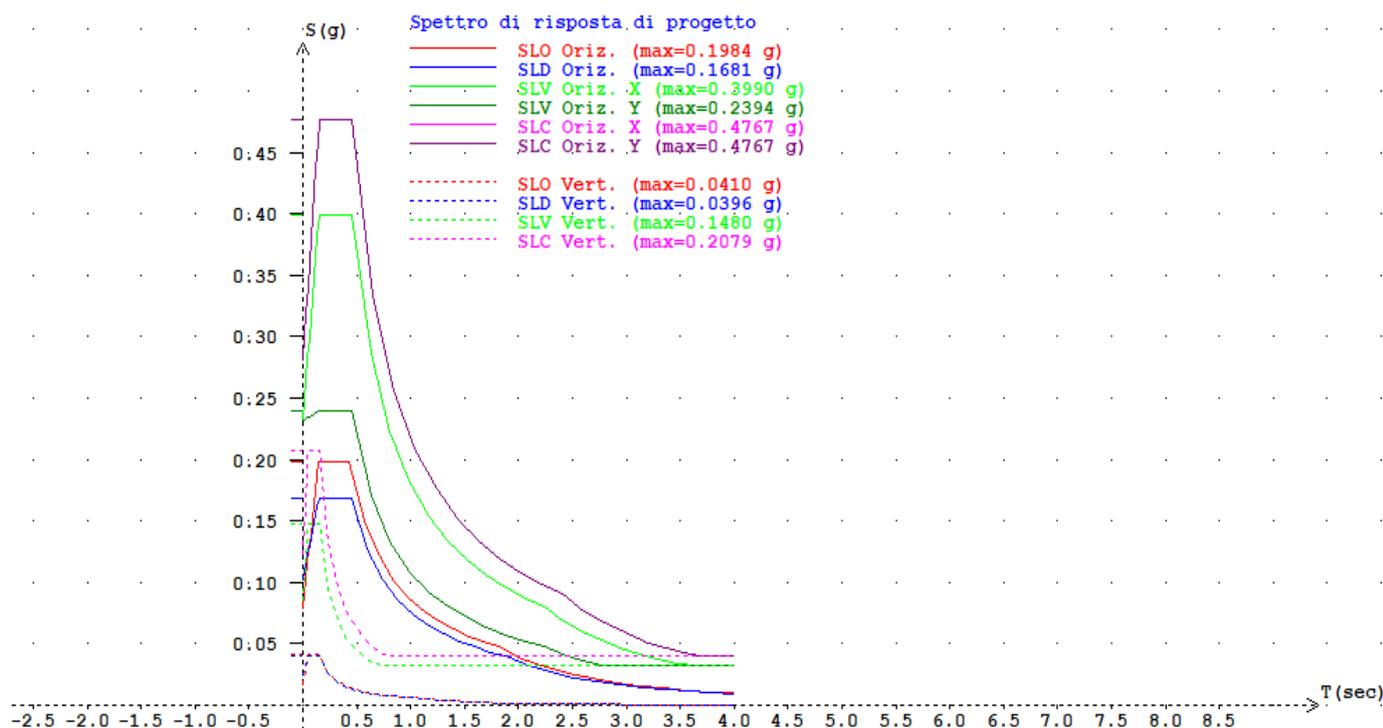


Fig. 10 - Spettri di risposta sismica di progetto - Velletri

Le elaborazioni riportate sono state effettuate con il software *Spettri ver. 2.3* della *Ingegneria Soft.com*.

9. Conclusioni

La società RNE4 S.R.L., con sede legale in Viale San Michele del Carso, 22 - MILANO (MI), 20144 (Numero REA: MI-2659205; P.IVA: 12396840964; PEC: rne4@legalmail.it), ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione di una relazione geologica relativa al progetto di installazione di un *IMPIANTO "AGRIVOLTAICO" DENOMINATO "VELLETRI 19.2"*, della potenza pari a 23.212,80 kWp.

La Società Proponente intende realizzare tale impianto "agrivoltaico", ponendosi come obiettivo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile coerentemente agli indirizzi stabiliti in ambito nazionale e internazionale volti alla riduzione delle emissioni dei gas serra ed alla promozione di un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario.

Al fine di ricostruire l'assetto litostratigrafico dell'area oggetto di studio e di una sua caratterizzazione geotecnica, si è proceduto:

- al rilevamento geologico di campagna di dettaglio;
- all'analisi di dati in possesso dello scrivente;
- all'analisi di dati e informazioni desunte da letteratura tecnica;
- all'esecuzione di un piano di investigazione costituito da
 - indagini geologiche dirette: n. 1 prova penetrometrica dinamiche tipo S.C.P.T. eseguite con penetrometro super-pesante (DPSH);
 - indagini indirette:
 - o n.5 profili sismici a rifrazione;
 - o n.3 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

Lo studio ha evidenziato che:

- nell'area in cui sorgerà l'impianto i litotipi che interesseranno direttamente la struttura in progetto appartengono alla formazione "*Terreni palustri (a)*" caratterizzata da terreni palustri recenti di colmata della depressione Pontina e della Tenuta di Carano, con copertura di terreno vegetale;
- in base all'analisi dei profili sismici, la successione stratigrafica nei diversi settori, può essere ricostruita nel seguente modo:

Colonna stratigrafica 1

0,00 m ÷ 0,80 m	terra rossa
0,80 m ÷ 4,20 m	argille
4,20 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 2

0,00 m ÷ 1,20 m	terra rossa
1,20 m ÷ 4,20 m	argille
4,20 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 3

0,00 m ÷ 1,00 m	terra rossa
1,00 m ÷ 4,00 m	argille
4,00 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 4

0,00 m ÷ 1,20 m	terra rossa
1,20 m ÷ 4,00 m	argille
4,00 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose

Colonna stratigrafica 5

0,00 m ÷ 1,00 m	terra rossa
1,00 m ÷ 4,10 m	argille
4,10 m ÷ prof. non indagata	sabbie limose.

- Per quanto riguarda il cavidotto, il suo tracciato si snoderà interrato lungo la S.P. 87b, fino al raggiungimento del lotto interessato dalla cabina di consegna; pertanto gli scavi nei quali verrà alloggiato, che avranno profondità comprese tra 0.50 e 1.20 m, ricadranno verosimilmente nei riempimenti degli strati fondali stradali o, al più, nel suolo e/o gli strati superficiali del sottosuolo (costituito quest'ultimo da depositi pozzolanici).
- Nel corso delle indagini eseguite, non è stata riscontrata presenza di falda freatica. Da informazioni assunte in loco e da letteratura, il livello statico della falda si collocherebbe a quote orientative di -20 m dal piano campagna
Ciononostante, non si esclude la possibilità di una presenza di modeste falde superficiali sospese, anche a carattere stagionale, in stretta connessione con il regime pluviometrico.
- Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove *"Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni"*, l'analisi dei profili

sismici con metodologia MASW e le correlazioni relative, hanno permesso di assegnare ai terreni di fondazione, le seguenti categorie di suoli:

- **MASW 1**

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

- **MASW 2**

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

- **MASW 3**

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

- secondo la DGR n. 387/2009, il comune di Velletri è inserito in Zona sismica 2B.

Durante l'esecuzione degli scavi è necessaria l'adozione di strutture di sostegno partendo dal presupposto che le azioni dovute al terreno, all'acqua ed ai sovraccarichi anche transitori devono essere calcolate e composte in modo da pervenire di volta in volta alle condizioni più sfavorevoli.

Dovendo sempre sopporre un certo grado di imprevedibilità che è proprio delle formazioni geolitologiche, il progettista e/o direttore dei lavori deve verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto e l'effettiva situazione riscontrata, differendo, in caso contrario, le soluzioni progettuali sulla scorta di ulteriori indagini.

Redatta nel mese di febbraio 2023

dott. geol. Francesco Caldarone



ALLEGATI

LABORATORIO MATERIALI DA COSTRUZIONE
LABORATORIO TERRE E ROCCE
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

GEOPROVE S.R.L.

COMUNE DI VELLETRI (PROV. DI ROMA)

COMMITTENTE: Dott. Geol. Francesco Caldarone

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE
ESEGUITE PRESSO UN'AREA INTERESSATA
DAL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Ruffano, Gennaio 2023

IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Geol. Marcello DE DONATIS



Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su materiali da costruzione DM 275 del 12 giugno 2018.

Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su terre, rocce e prove in sito DM 278 del 14 giugno 2018.



ISO 14001:2015, n. SA 00014/19
OHSAS 18001:2007, n. SA.00015/19



SOA OS208 II Livello



Organismo di Certificazione
AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001

GEOPROVE S.R.L. P. IVA 03940580750 • Capitale Sociale € 500.000,00 • Iscrizione alla CCIAA 255978

Sede Legale e Laboratorio Terre e Rocce Via Il Giugno 2, 73049 Ruffano (LE) • Laboratorio Materiali Via Benedetto Falcone snc ZI 73049 Ruffano (LE) •

Unità Locale Via Olanda, Zona Industriale Surbo, 73010 Lecce (LE) • Telefono e Fax 0833 692992 • Cell. 329 359 9093 | www.geoprove.eu • info@geoprove.eu

INDICE

<i>INDICE</i>	1
<i>PREMESSA</i>	2
<i>INDAGINE GEOGNOSTICA</i>	3
<i>Prova penetrometrica dinamica continua (DPSH)</i>	4
<i>Profili sismici a rifrazione</i>	6
<i>Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)</i>	27

PREMESSA

Nel mese di Gennaio 2023, la Società Geoprove S.r.l. di Ruffano, eseguiva delle indagini allo scopo di ricostruire il modello geologico-stratigrafico e di caratterizzare meccanicamente e sismicamente un'area interessata dal progetto di un impianto fotovoltaico situato nel Comune di Velletri (RM).

La campagna d'indagini è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi occorrenti per la previsione del comportamento dell'opera in rapporto alle caratteristiche del terreno.

Sono stati pertanto eseguiti:

- n.1 prova penetrometrica dinamica continua - DPSH;
- n.5 profili sismici a rifrazione;
- n.3 profili sismici con metodologia MASW.

INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi di supporto alla progettazione.

Sono stati pertanto eseguiti:

- n.1 prova penetrometrica dinamica continua - DPSH;
- n.5 profili sismici a rifrazione;
- n.3 profili sismici con metodologia MASW.

Prova penetrometrica dinamica continua (DPSH)

Il sondaggio penetrometrico dinamico consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica battendo sulle aste con un maglio a caduta libera e contando il numero di colpi necessari all'avanzamento della punta, di successive quantità costanti.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro TG 63-200 della PAGANI, le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

- Maglio a caduta libera Kg 63.5
- Aste in acciaio speciale $\phi = 50.8$ mm; L = 100 cm; Kg = 6.3
- Punta conica della superficie 20.43 cm²;
- Altezza di caduta libera maglio 75 cm.

Di seguito si allegano gli istogrammi penetrometrici, con i numeri di colpi registrati durante l'indagine.

I dati penetrometrici sono stati successivamente elaborati secondo le più assodate metodologie in uso, arrivando ad associare a ciascuna prova una colonna geotecnica interpretativa (vedi grafico allegato).

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della GeoStru software s.a.s. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.



UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE - DPSH

LEGENDA

DPSH
● Prova penetrometrica - DPSH



Prova penetrometrica – DPSH 1

La prova DPSH 1 ha permesso di individuare le seguenti litologie:

- da 0.00 a 1.20 metri Terra rossa
- da 1.20 a 4.20 metri Argille



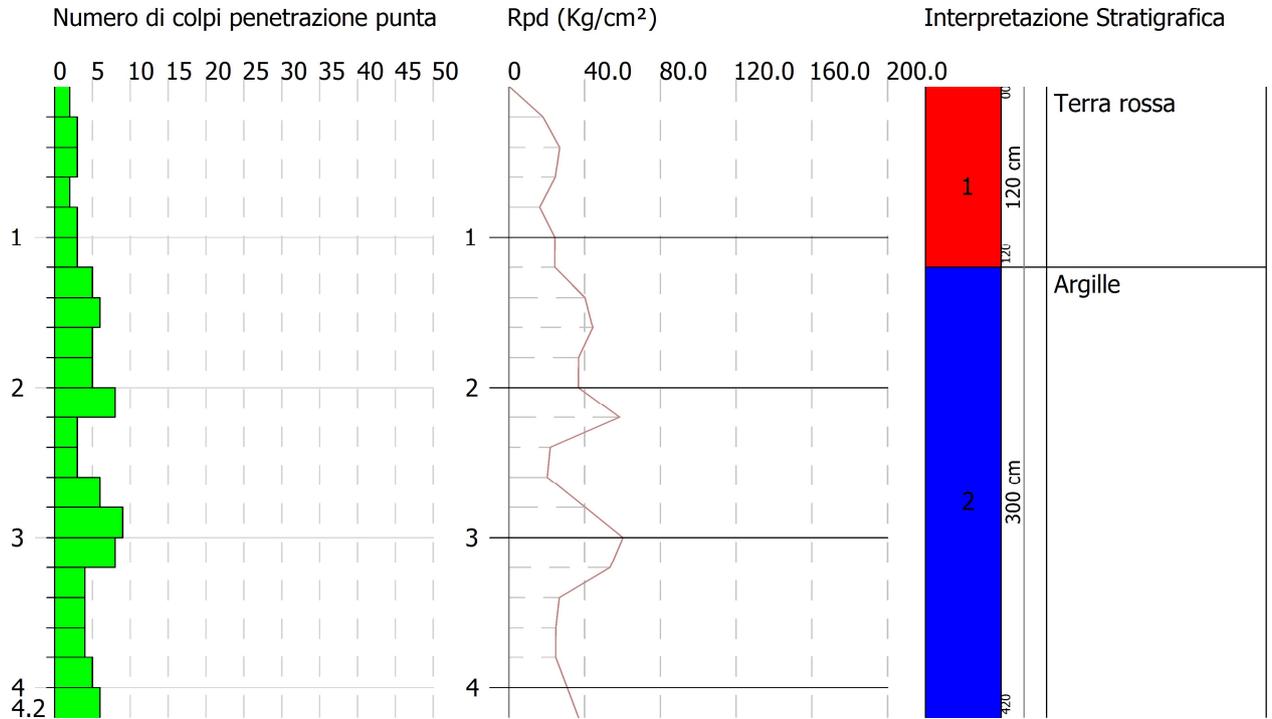
Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Dott. Geol. Francesco Caldarone
Descrizione: Impianto Fotovoltaico
Localita': Velletri

18/01/2023

Scala 1:50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Dott. Geol. Francesco Caldarone Descrizione: Impianto Fotovoltaico Localita': Velletri	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_i \cdot N$$

Dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (Liao \text{ e } Whitman \text{ 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,

- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .

- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_o)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c
-

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).

- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA ...DPSH 1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 18/01/2023

Profondita' prova 4.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	3	0.851	26.82	31.52	1.34	1.58
0.60	3	0.847	24.50	28.93	1.23	1.45
0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	3	0.836	24.19	28.93	1.21	1.45
1.40	5	0.833	40.16	48.22	2.01	2.41
1.60	6	0.830	44.35	53.47	2.22	2.67
1.80	5	0.826	36.82	44.55	1.84	2.23
2.00	5	0.823	36.68	44.55	1.83	2.23
2.20	8	0.820	58.46	71.29	2.92	3.56
2.40	3	0.817	21.84	26.73	1.09	1.34
2.60	3	0.814	20.23	24.85	1.01	1.24
2.80	6	0.811	40.32	49.69	2.02	2.48
3.00	9	0.809	60.27	74.54	3.01	3.73
3.20	8	0.806	53.40	66.25	2.67	3.31
3.40	4	0.803	26.61	33.13	1.33	1.66
3.60	4	0.801	24.78	30.94	1.24	1.55
3.80	4	0.798	24.70	30.94	1.24	1.55
4.00	5	0.796	30.79	38.68	1.54	1.93
4.20	6	0.794	36.84	46.41	1.84	2.32

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tension e efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	2.67	26.44	Incoerente	0	1.49	1.88	0.09	1.47	3.92	Terra rossa
4.2	5.4	45.62	Coesivo	0	1.9	1.9	0.46	1.47	7.94	Argille

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Terzaghi-Peck	0.50

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Robertson (1983)	15.88

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	82.78

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Apollonia	79.40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Meyerhof	1.90

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Meyerhof	1.90

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (2) Argille	7.94	1.20-4.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	118.59

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Meyerhof 1957	46.8

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Sowers (1961)	26.1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	45.64

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	55.48

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Classificazione A.G.I	SCIOLTO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m ³)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Terzaghi-Peck 1948	1.40

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Terzaghi-Peck 1948	1.87

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	(A.G.I.)	0.35

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Ohsaki (Sabbie pulite)	234.75

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Ohta & Goto (1978) Limi	78.51

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Navfac 1971- 1982	0.73

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terra rossa	3.92	0.00-1.20	3.92	Robertson 1983	7.84

Profili sismici a rifrazione

La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni, con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo la linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P), al fine di determinare la velocità (V_p) con cui tali onde coprono le distanze tra la sorgente ed i vari ricevitori.

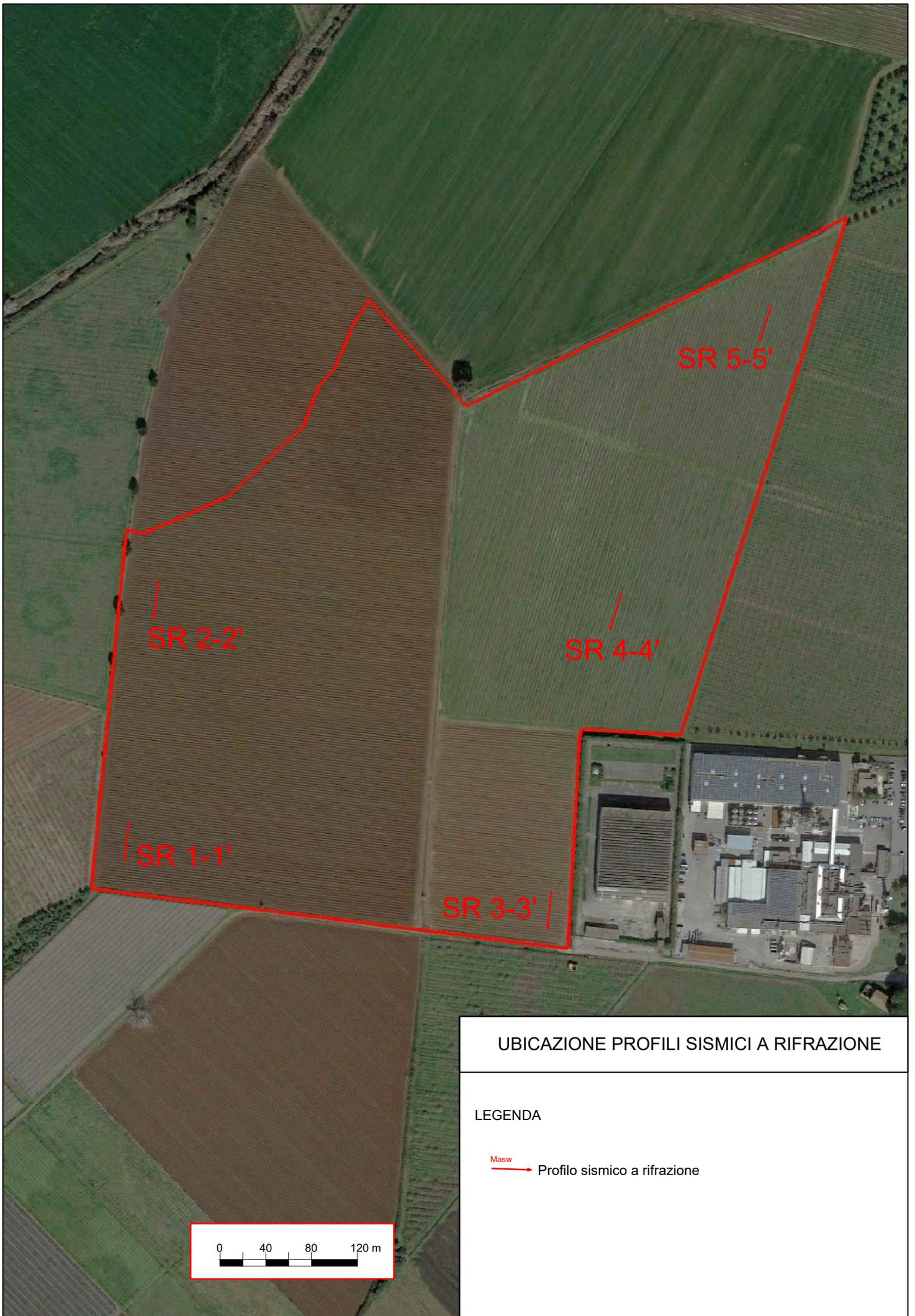
I dati così ottenuti si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge di Snell, ci permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati.

I profili sismici sono stati eseguiti adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri; in totale sono stati eseguiti 5 profili così come riportati nella planimetria seguente.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 kg ed una piastra rettangolare.

Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod. Geode, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei dati di campagna, essa è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo di Palmer e delle intercette.



UBICAZIONE PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE

LEGENDA

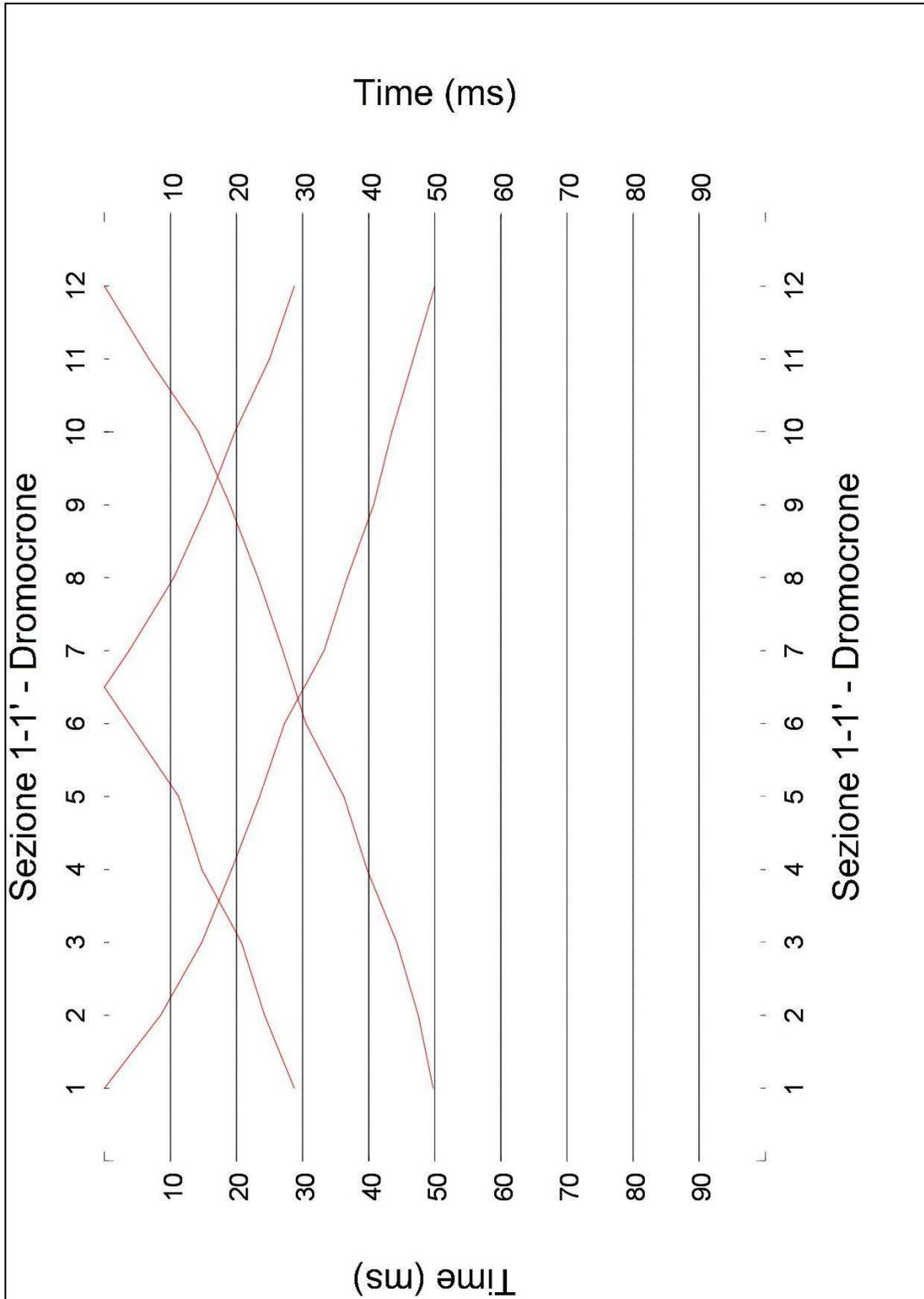
Masw → Profilo sismico a rifrazione

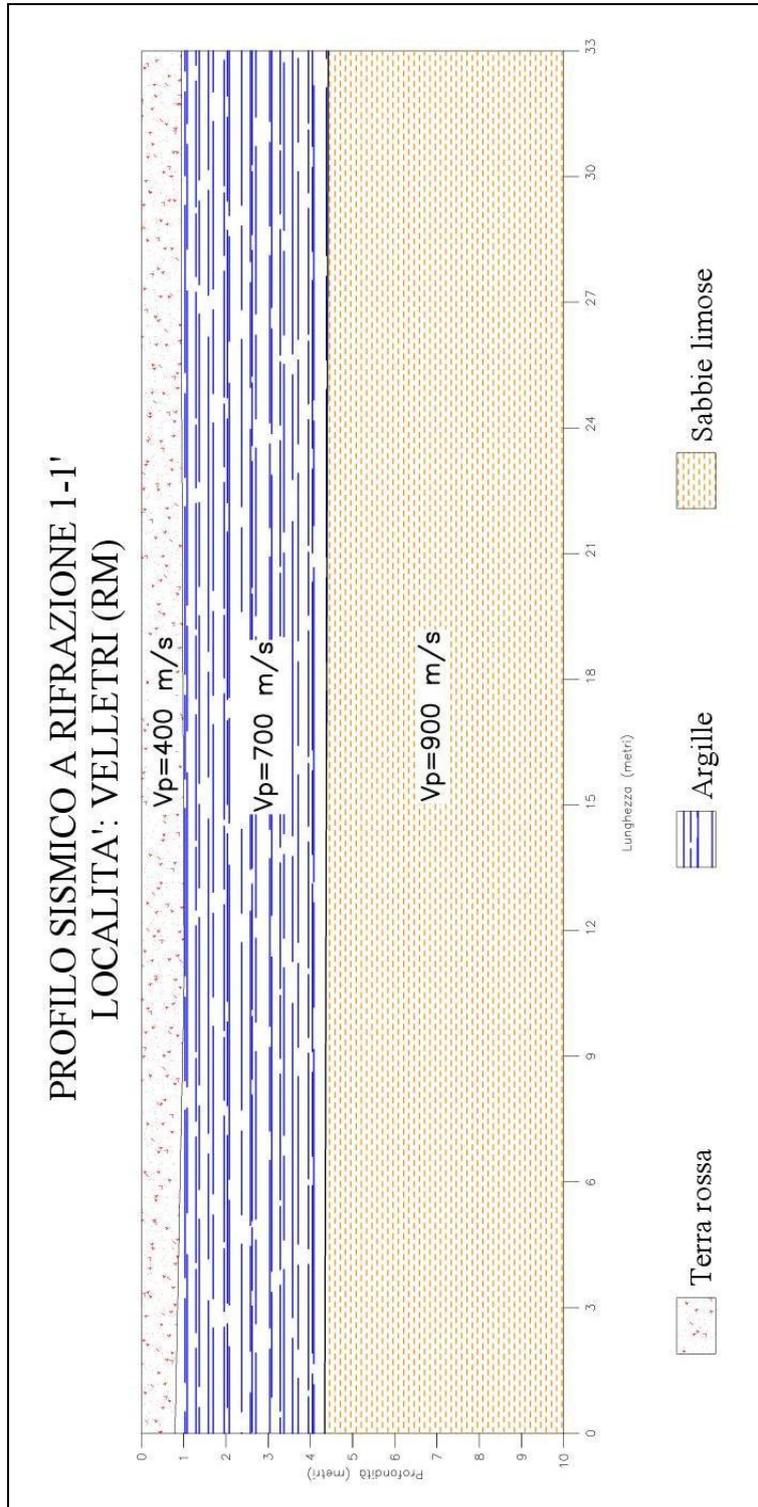
Profilo sismico SR 1-1'

Il profilo sismico a rifrazione 1-1' ha permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 0.8 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/sec è riconducibile a della terra rossa di copertura; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 700 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille. Ad una profondità di circa 4.20 metri si rinviene il terzo sismostrato che essendo caratterizzato da velocità V_p di 900 m/sec è riconducibile a delle sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 1-1'





Dalla misurazione delle velocità V_p e V_s , si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cm ³)	E (Kg/cmq)	η
1	400	-	-	-	-	-	-
2	700	250	26	0.02	2.00	117	0.36
3	900	340	27	0.03	2.10	150	0.35

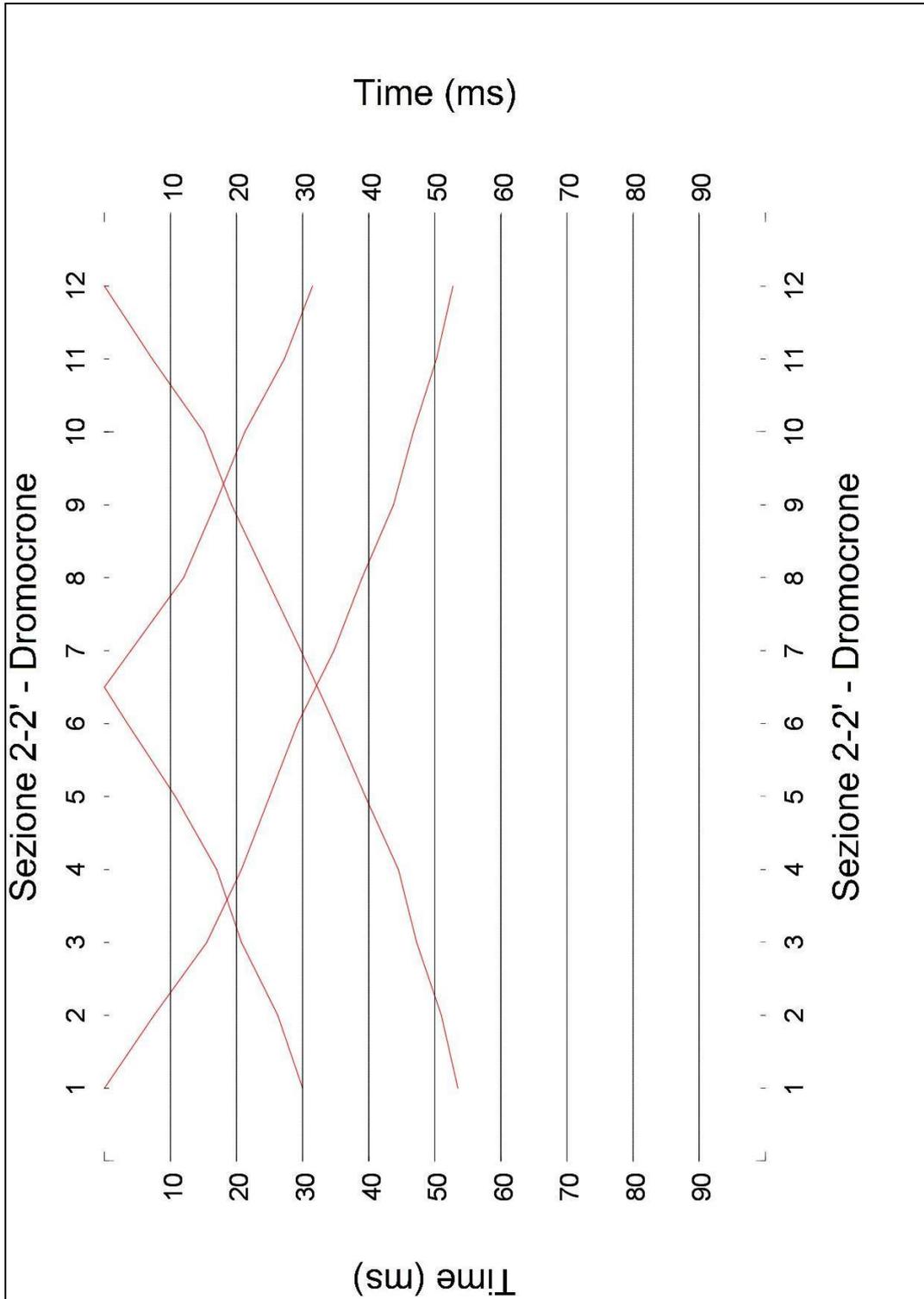
V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace;
 γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

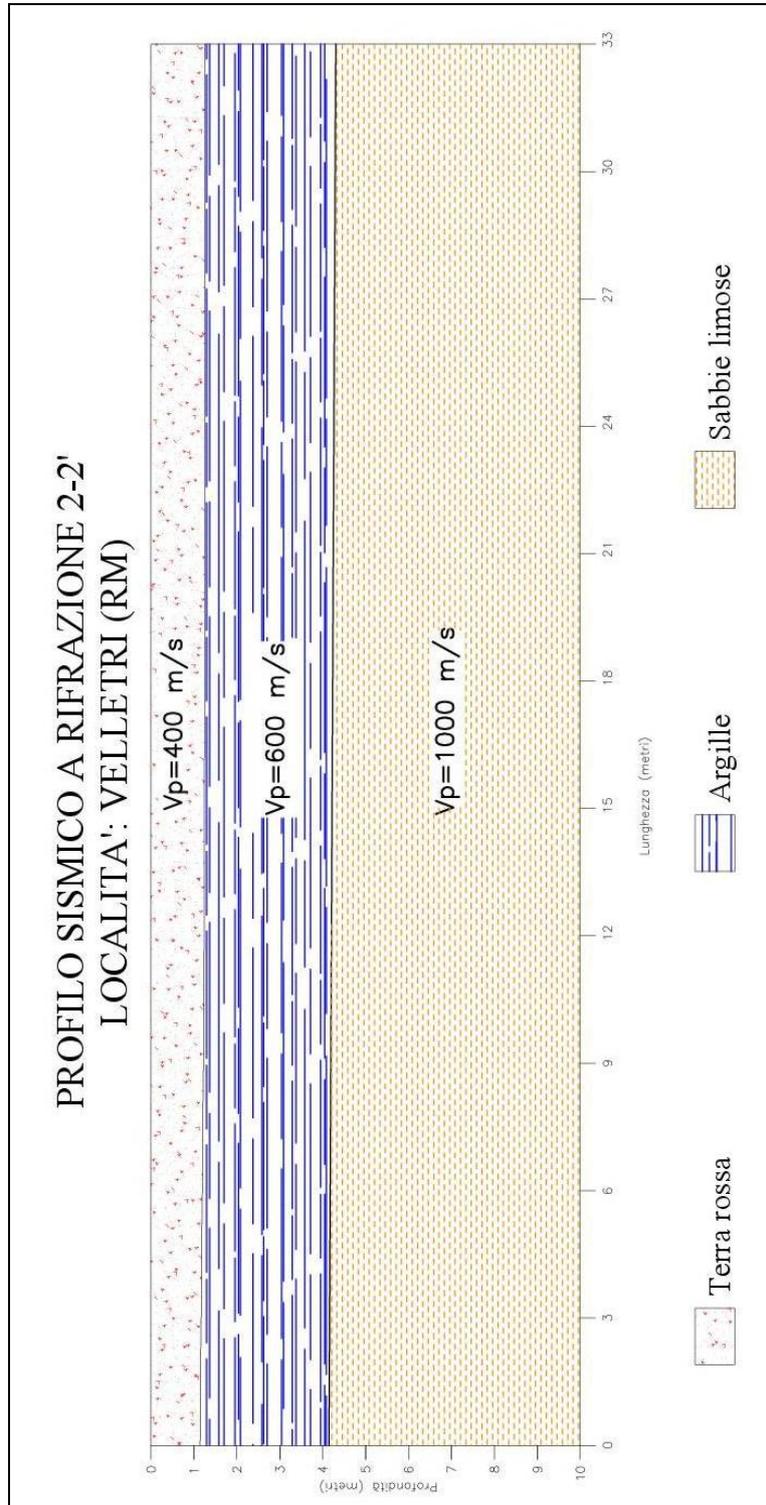
Profilo sismico SR 2-2'

Il profilo sismico a rifrazione 2-2' ha permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.20 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/sec è riconducibile a della terra rossa di copertura; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 600 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille. Ad una profondità di circa 4.20 metri si rinviene il terzo sismostrato che essendo caratterizzato da velocità V_p di 1000 m/sec è riconducibile a delle sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 2-2'





Dalla misurazione delle velocità V_p e V_s , si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cmc)	E (Kg/cmq)	η
1	400	-	-	-	-	-	-
2	600	240	26	0.02	1.95	100	0.37
3	1000	380	28	0.03	2.15	180	0.34

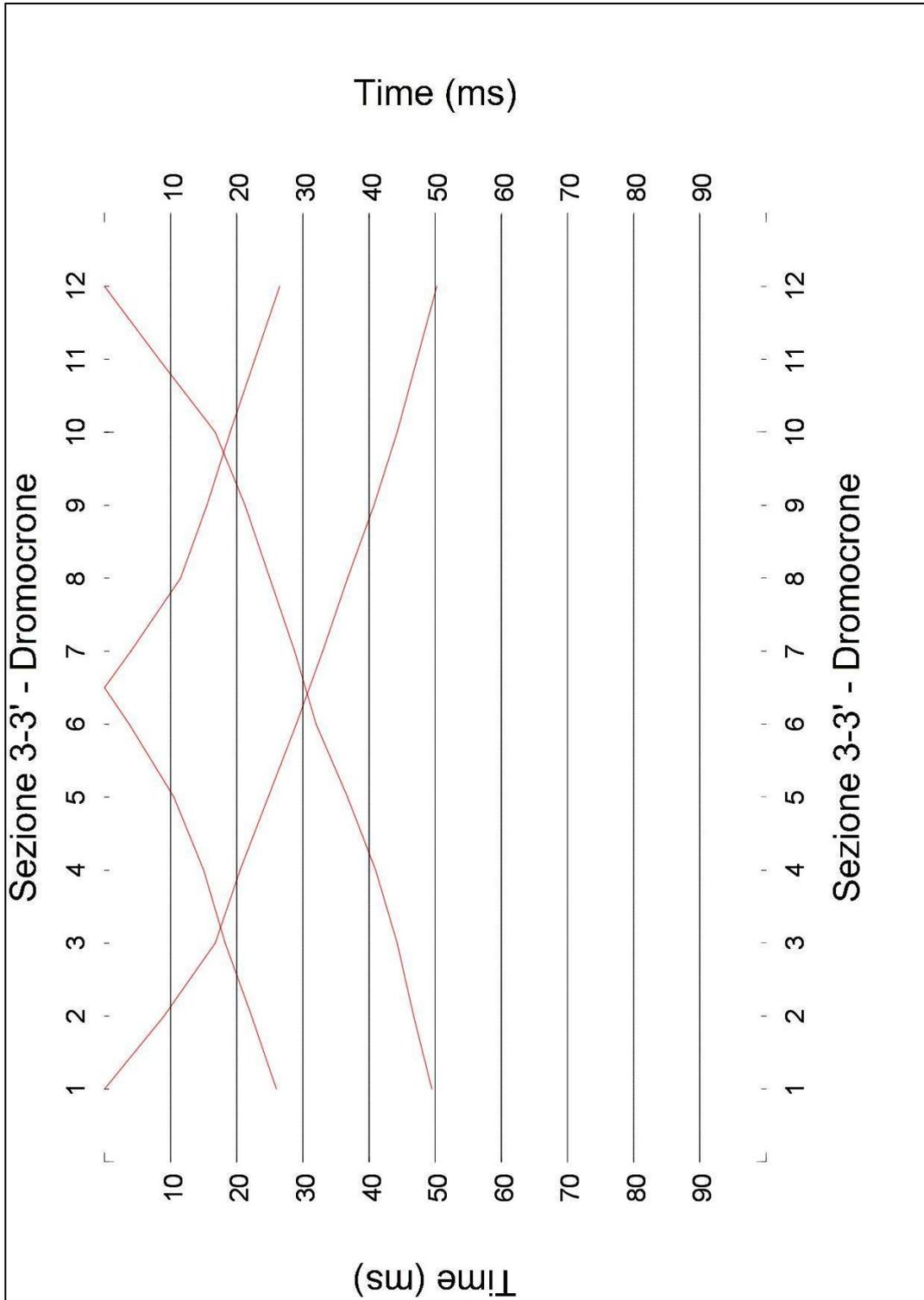
V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace;
 γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

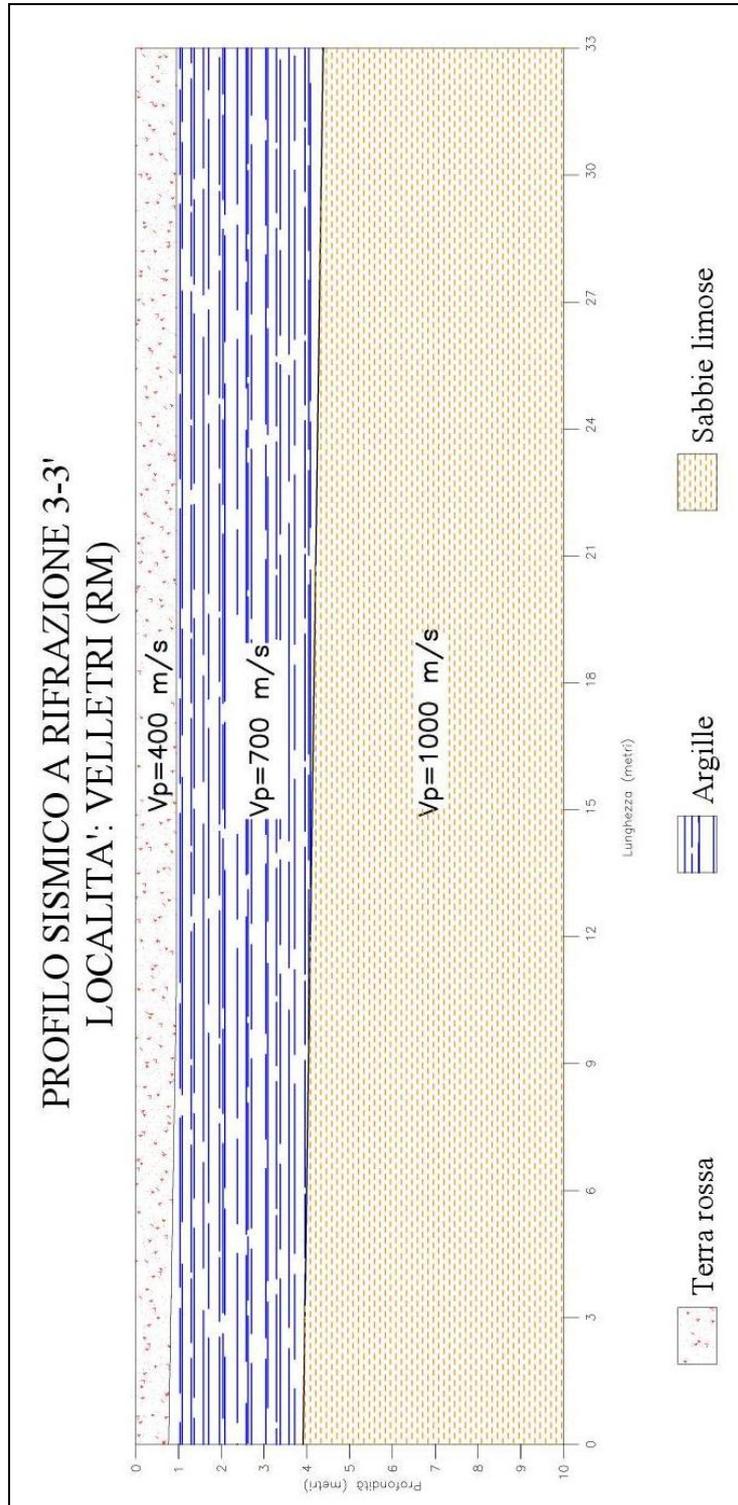
Profilo sismico SR 3-3'

Il profilo sismico a rifrazione 3-3' ha permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.00 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/sec è riconducibile a della terra rossa di copertura; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 700 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille. Ad una profondità di circa 4.00 metri si rinviene il terzo sismostrato che essendo caratterizzato da velocità V_p di 1000 m/sec è riconducibile a delle sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 3-3'





Dalla misurazione delle velocità V_p e V_s , si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cm ³)	E (Kg/cmq)	η
1	400	-	-	-	-	-	-
2	700	250	26	0.02	2.00	117	0.36
3	1000	380	28	0.03	2.15	180	0.34

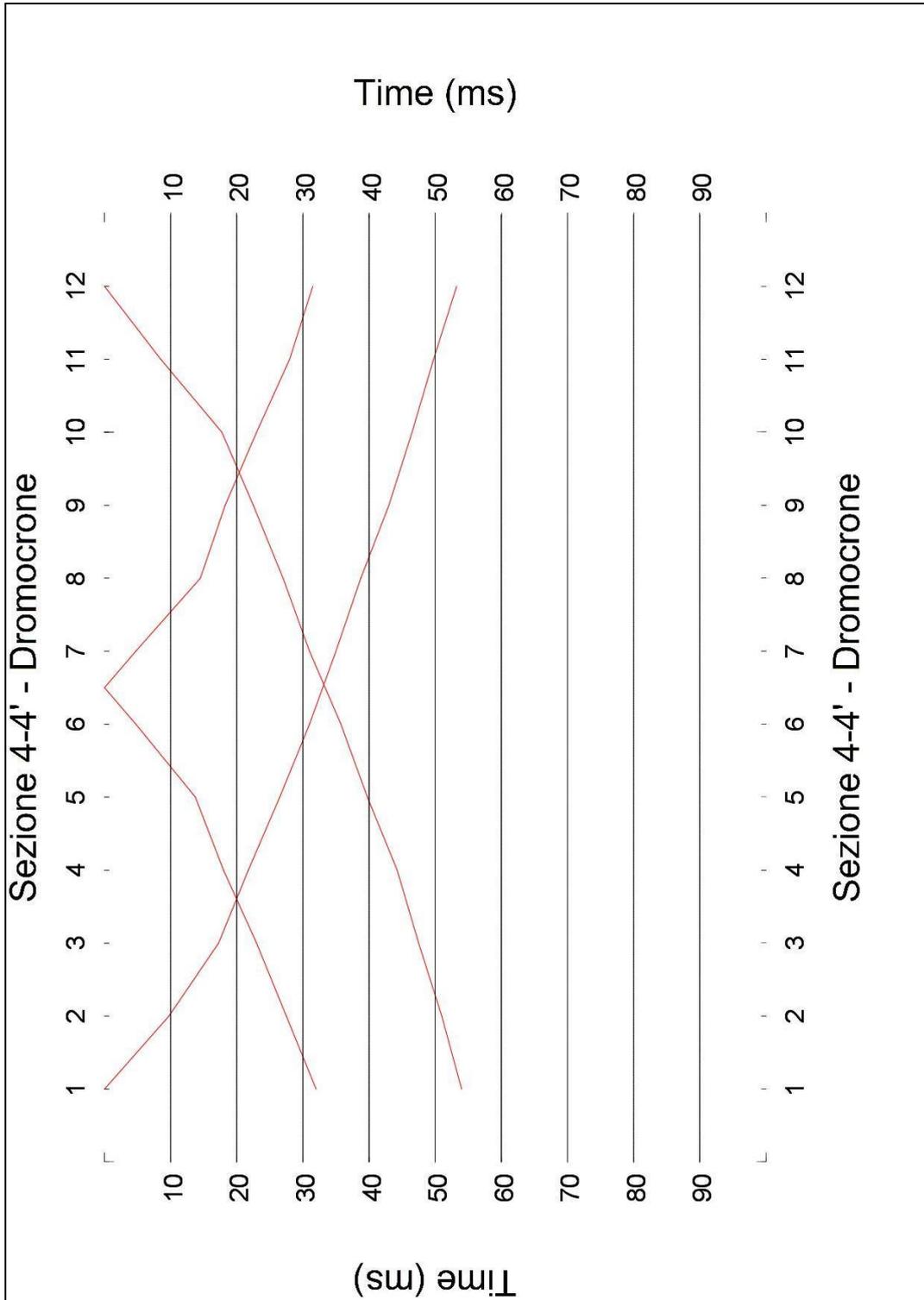
V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace;
 γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

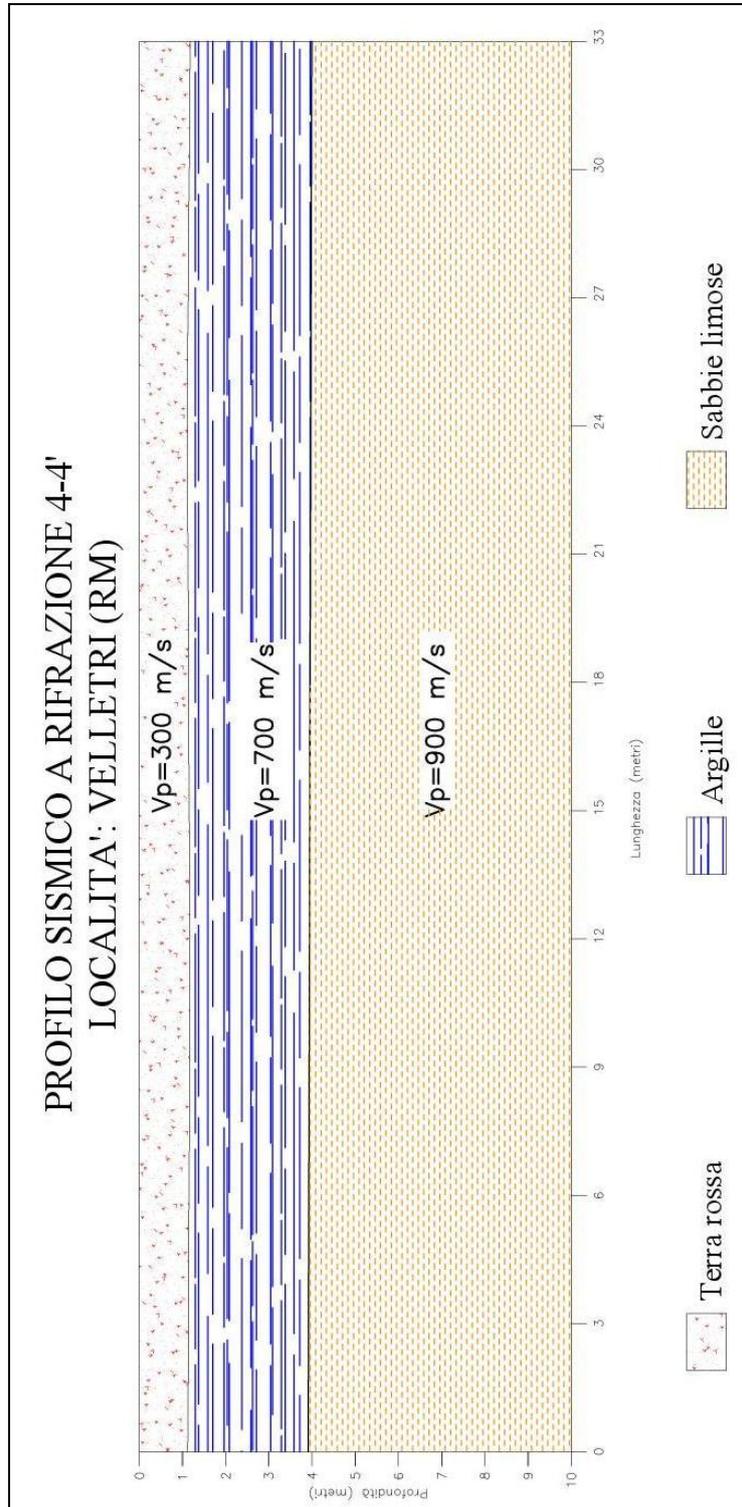
Profilo sismico SR 4-4'

Il profilo sismico a rifrazione 4-4' ha permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.20 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 300 m/sec è riconducibile a della terra rossa di copertura; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 700 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille. Ad una profondità di circa 4.00 metri si rinviene il terzo sismostrato che essendo caratterizzato da velocità V_p di 900 m/sec è riconducibile a delle sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 4-4'





Dalla misurazione delle velocità V_p e V_s , si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cmc)	E (Kg/cmq)	η
1	300	-	-	-	-	-	-
2	700	250	26	0.02	2.00	117	0.36
3	900	340	27	0.03	2.10	150	0.35

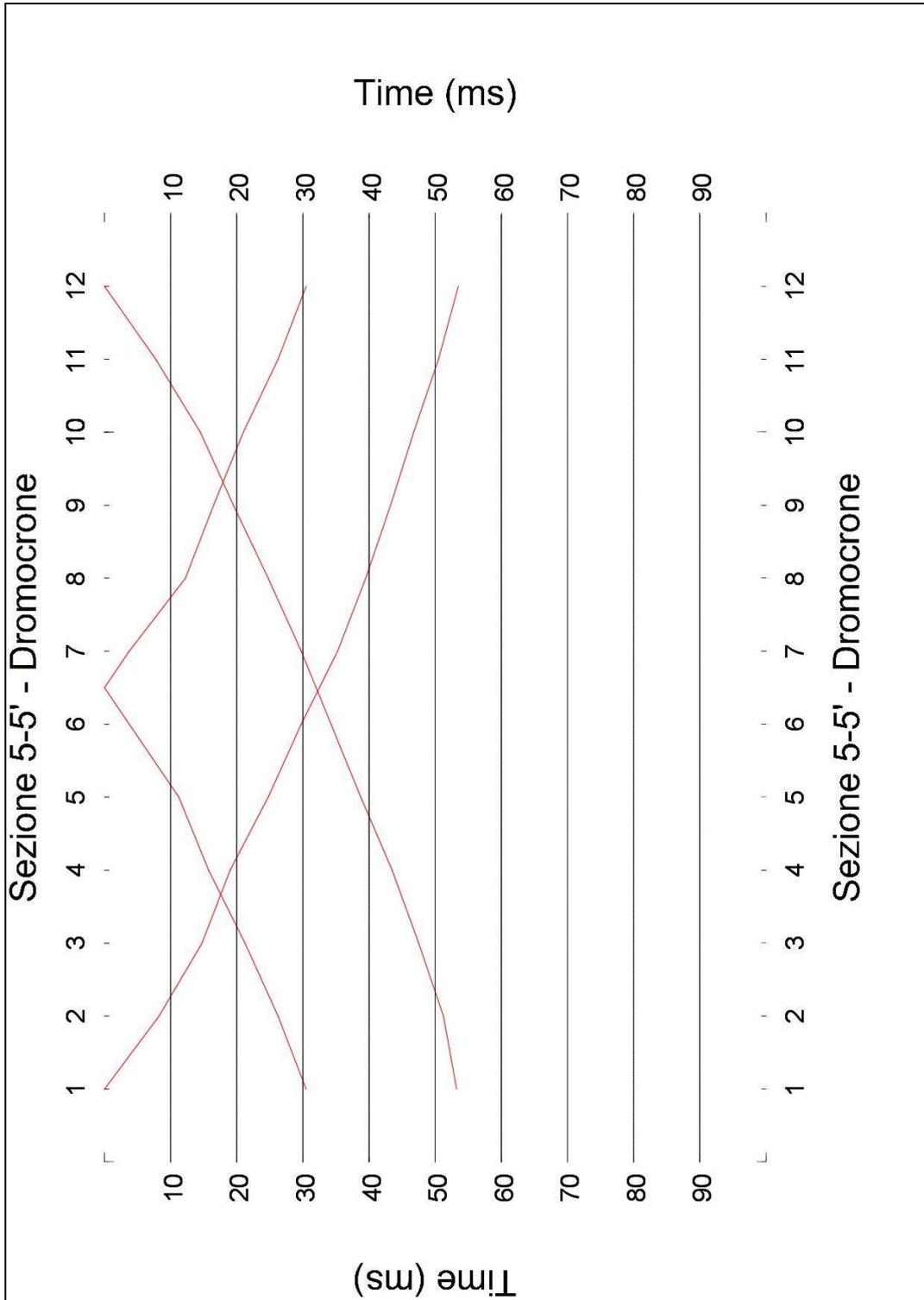
V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace;
 γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

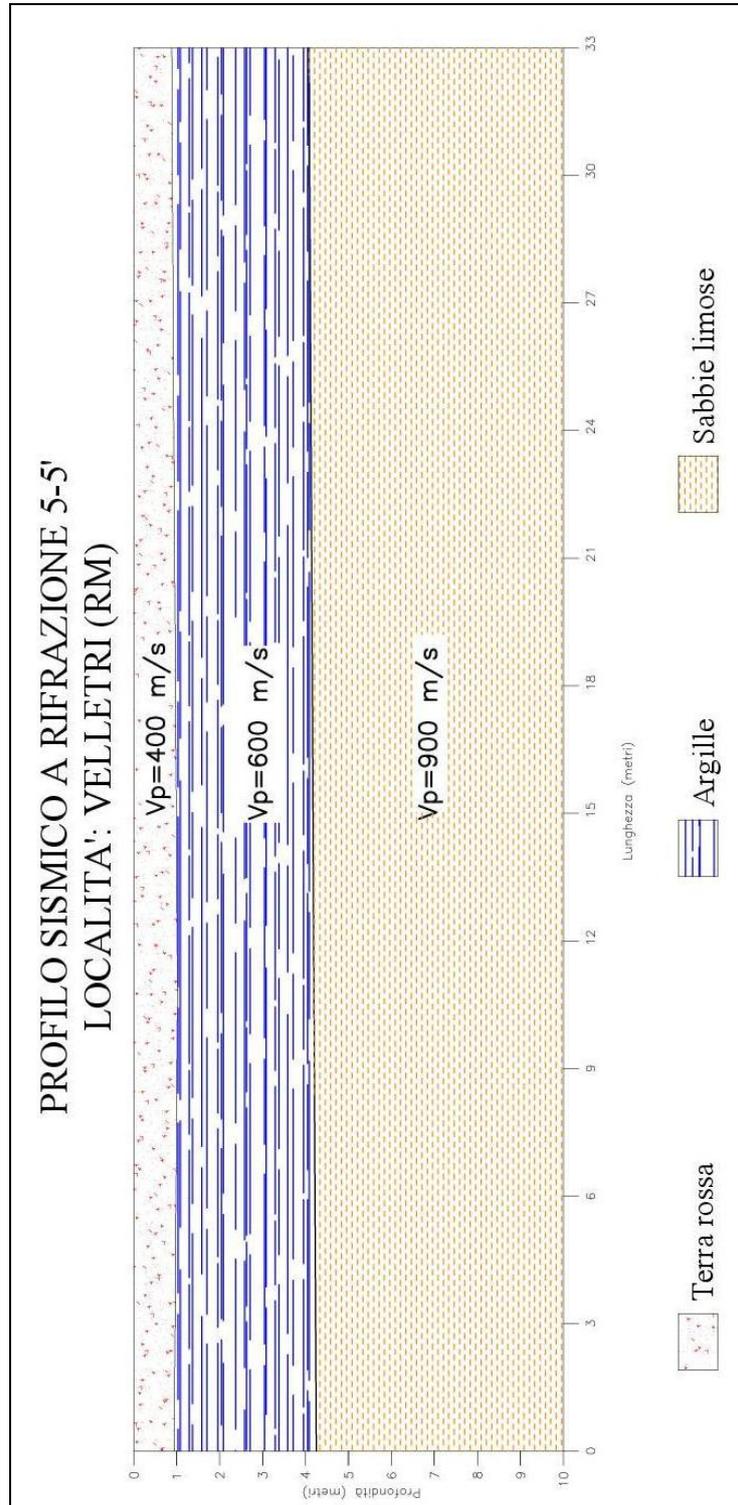
Profilo sismico SR 5-5'

Il profilo sismico a rifrazione 5-5' ha permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.00 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 400 m/sec è riconducibile a della terra rossa di copertura; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 600 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille. Ad una profondità di circa 4.10 metri si rinviene il terzo sismostrato che essendo caratterizzato da velocità V_p di 900 m/sec è riconducibile a delle sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 5-5'





Dalla misurazione delle velocità V_p e V_s , si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cmc)	E (Kg/cmq)	η
1	300	-	-	-	-	-	-
2	600	240	26	0.02	1.95	100	0.37
3	900	340	27	0.03	2.10	150	0.35

V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace;
 γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

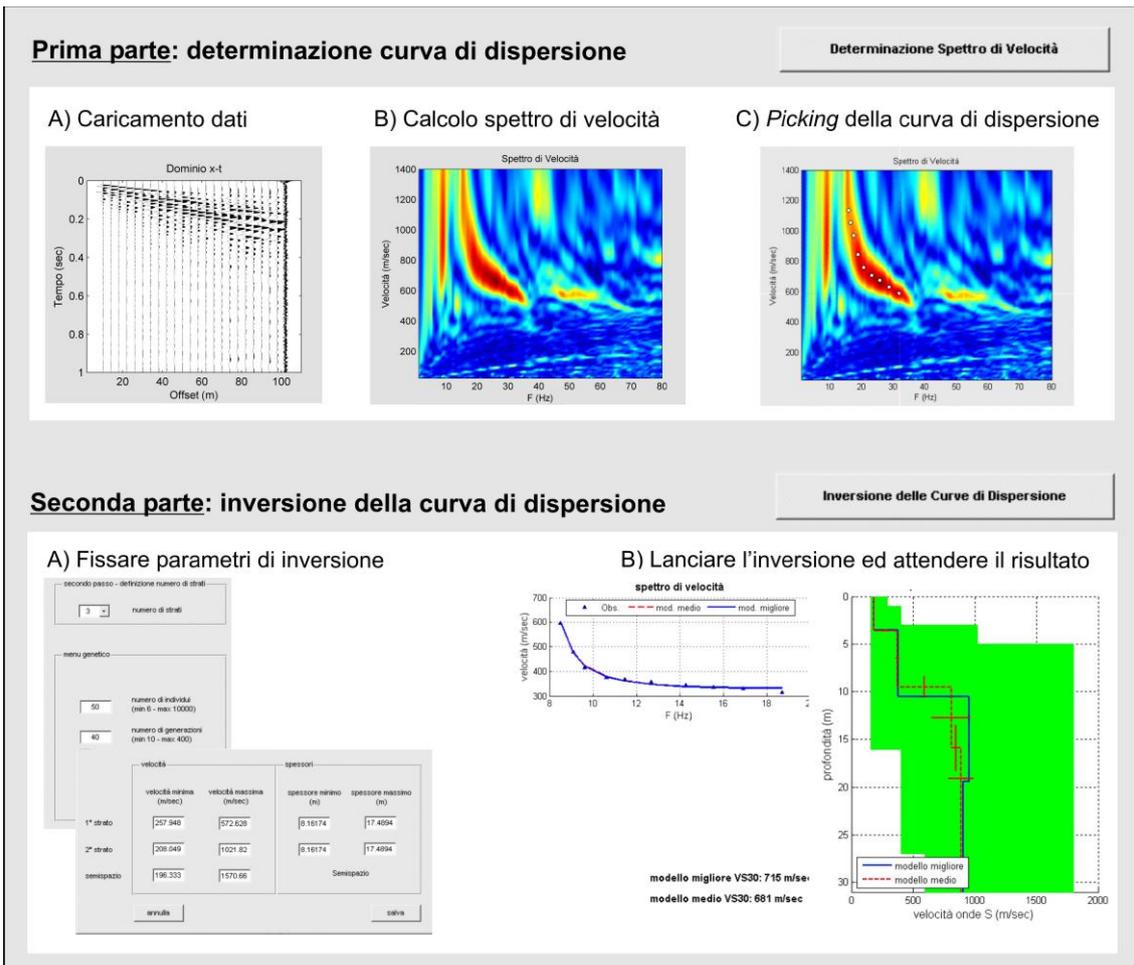
Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione dell'area investigata sono state eseguite delle indagini sismiche con metodologia MASW.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), 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. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni (da 4.5 Hz) e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede almeno i seguenti passi:

- Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni
- Estrazione dei modi dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;
- Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali delle VS.



Gli algoritmi genetici rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta infatti ad attrarre il

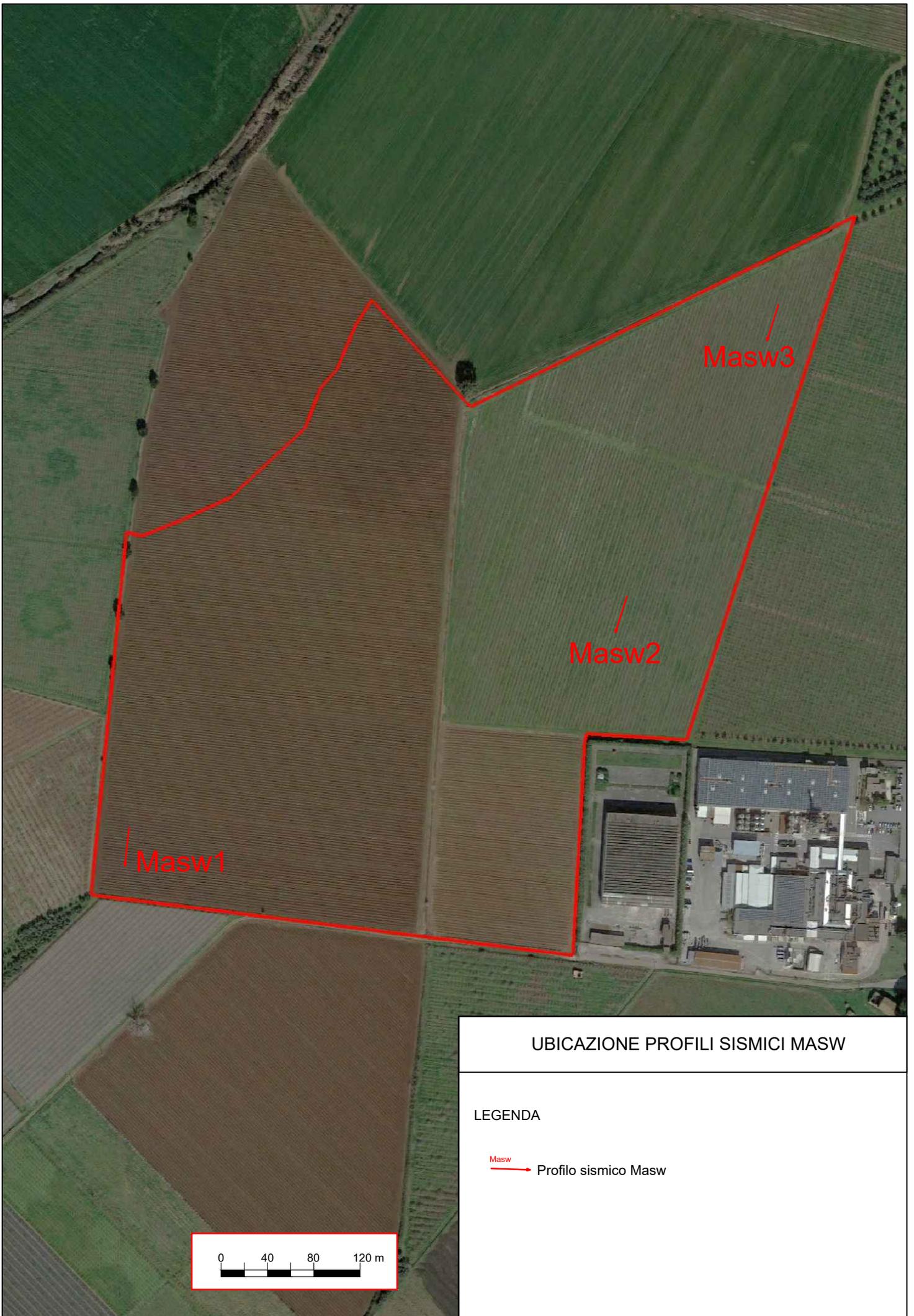
modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

La $V_{s_{eq}}$ è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum h_i/V_i}$$

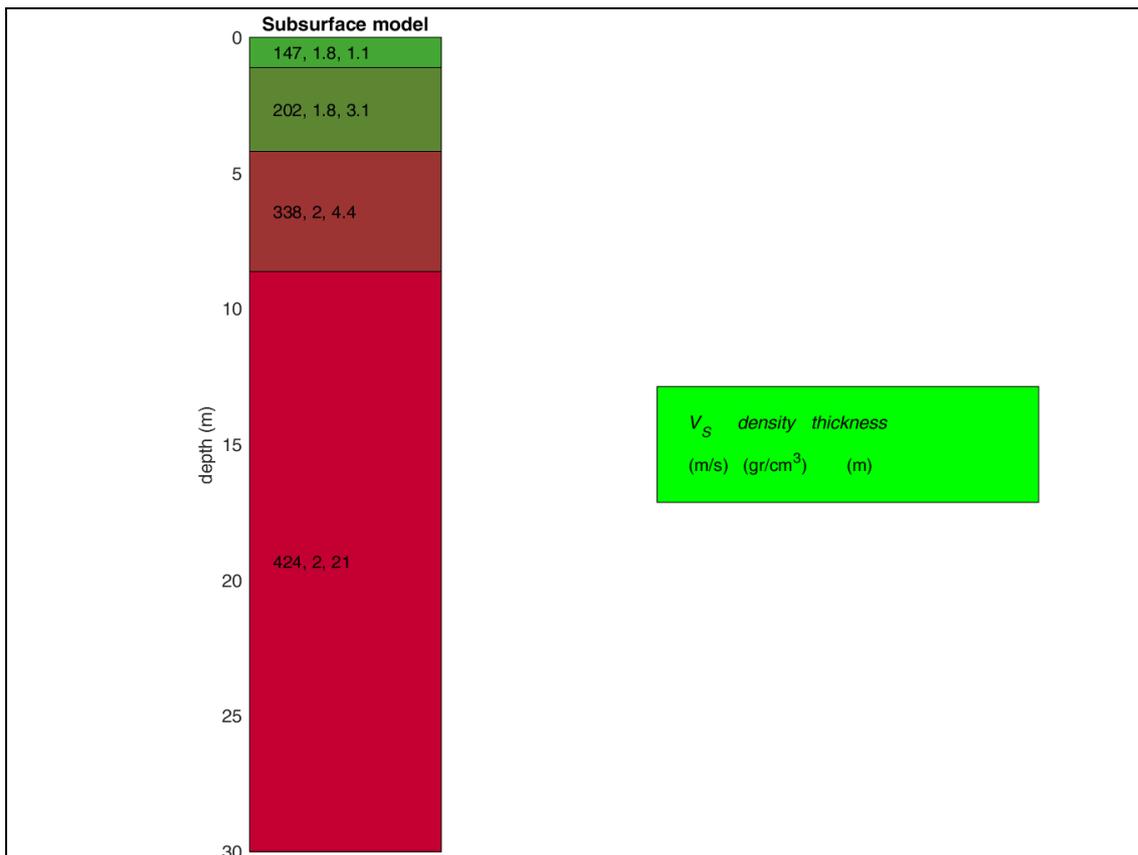
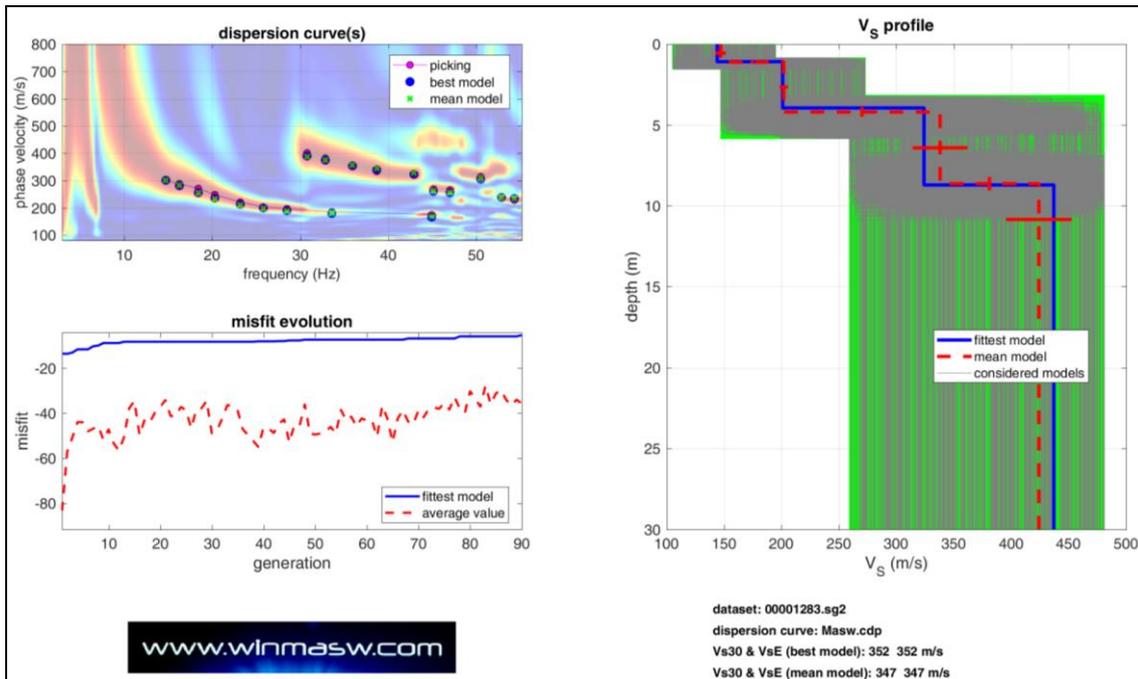


UBICAZIONE PROFILI SISMICI MASW

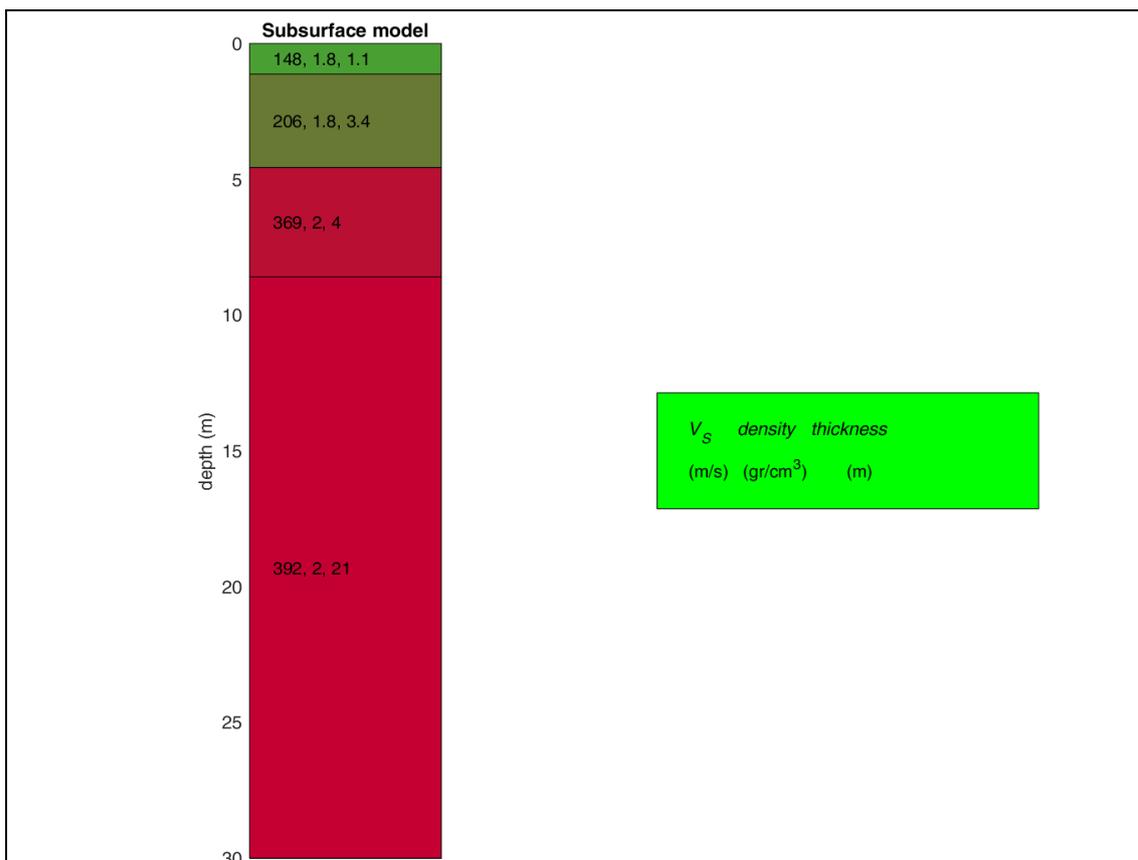
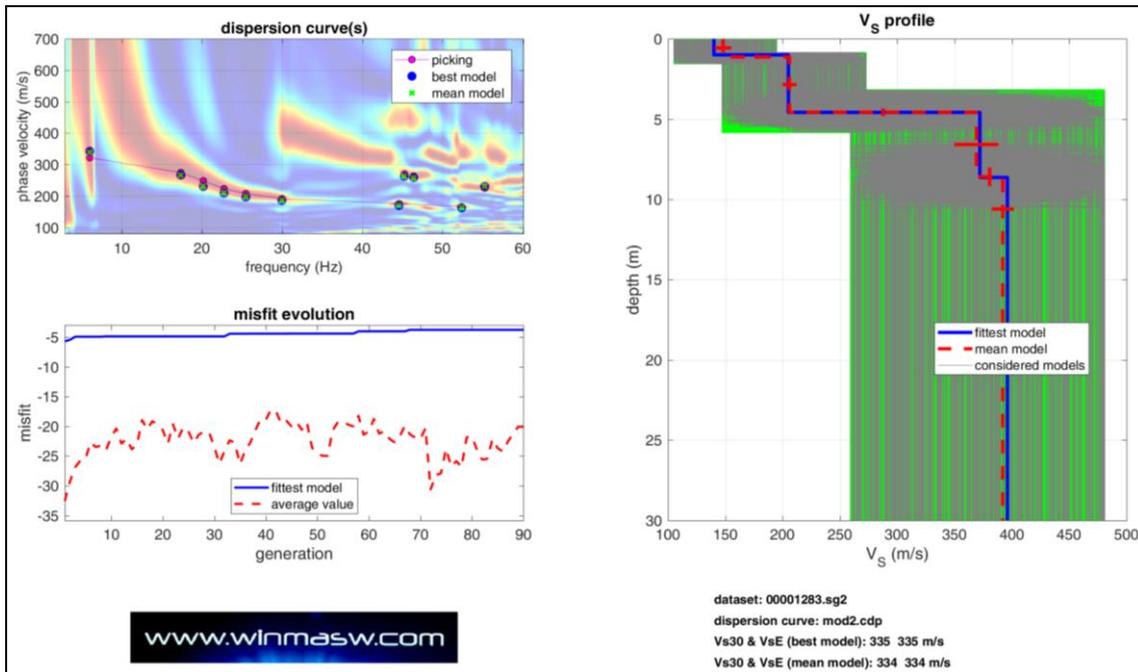
LEGENDA

Masw → Profilo sismico Masw

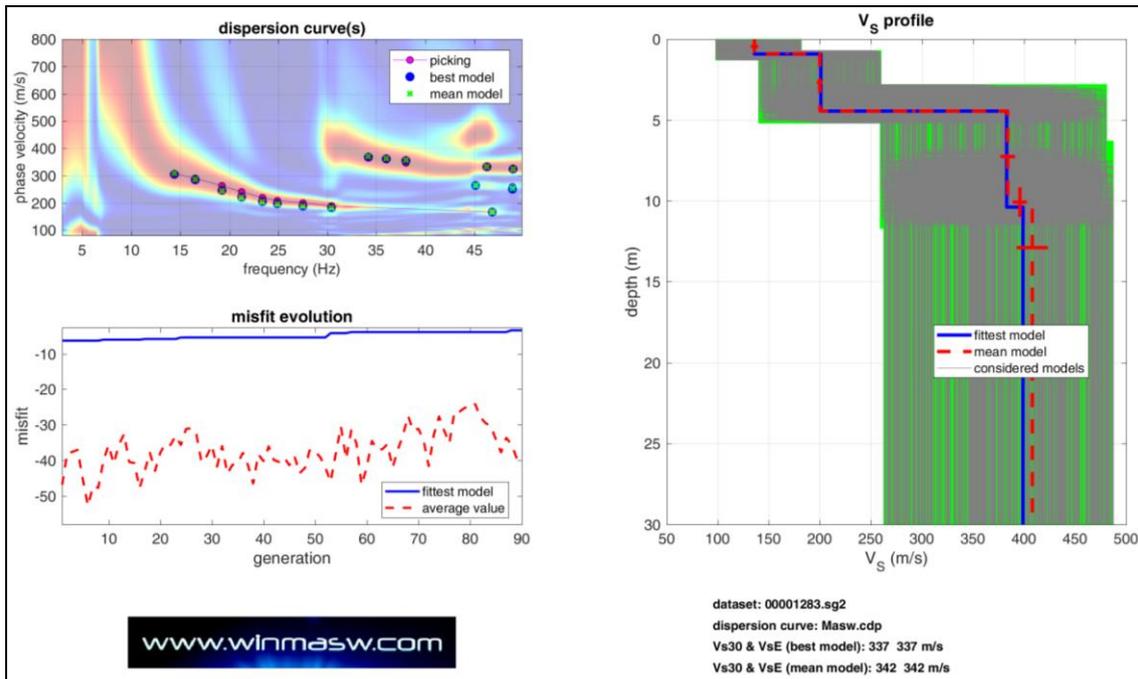
Profilo sismico Masw 1



Profilo sismico Masw 2



Profilo sismico Masw 3



Le categorie di suolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni” sono le seguenti:

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

Alla luce di quanto detto, avendo ottenuto un valore di V_{seq} di:

Masw 1 = 347 m/sec

Masw 2 = 334 m/sec

Masw 3 = 342 m/sec

Il sottosuolo in corrispondenza dei profili Masw rientra nella categoria C con valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Ruffano, gennaio 2023

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Geol. Marcello DE DONATIS

