

Comune di Manciano,  
Provincia di Grosseto, Regione Toscana



## ARNG SOLAR VI S.R.L.

Viale Giorgio Ribotta 21, Eurosky Tower Interno 0B3

ROMA (RM), 00144

PEC: arngsolar6@pec.it

### Impianto Agrivoltaico "MANCIANO 24.48" MAN24.48\_24 – RELAZIONE GEOLOGICA

IL TECNICO	IL PROPONENTE
<b>GEOLOGO</b>	<b>ARNG SOLAR VI S.R.L.</b> Sede legale: Viale Giorgio Ribotta 21 ROMA (RM), 00144 PEC: arngsolar6@pec.it Numero REA RM - 1688886 P.IVA 02352340687
<p><b>Francesco CALDARONE</b> Ordine Geologi della Regione Puglia - n. 507 PEO: <a href="mailto:geol.caldarone@gmail.com">geol.caldarone@gmail.com</a> PEC: <a href="mailto:fcaldarone@pec.epap.it">fcaldarone@pec.epap.it</a></p> 	
<b>RESPONSABILE TECNICO BELL FIX PLUS SRL</b>	
<p><b>Cosimo TOTARO</b> Ordine Ingegneri della Provincia di Brindisi - n. 1718 <a href="mailto:elettrico@bellfixplus.it">elettrico@bellfixplus.it</a></p> 	

GIUGNO 2023

## Indice

1. Premessa.....	2
2. Collocazione geografica dell'area .....	3
3. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico.....	8
4. Inquadramento geologico .....	9
4.1 Scisti filladici (f <sup>1</sup> ).....	9
4.2 Calcare cavernoso (T <sup>6-5</sup> ).....	9
4.3 “Serie Comprensiva” - P.....	10
4.4 “Conglomerati, argille e sabbie” - M <sub>cg</sub> <sup>5-2</sup> .....	10
4.5 “Sabbie, conglomerati e argille” - Q <sup>T-5</sup> .....	10
4.6 “Alluvioni, detriti e sabbie” - a <sup>1</sup> .....	11
4.7 “Travertini” - tr <sup>1</sup> .....	11
5. Inquadramento idrogeologico.....	16
6.1 Prove penetrometriche tipo S.C.P.T.....	19
6.2 Profilo sismico a rifrazione .....	20
6.3 Profilo sismico con metodologia MASW. ....	21
7. Geolitologia e idrogeologia dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico .....	23
7.1 Geolitologia e caratteristiche tecniche dei terreni .....	23
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 .....	28
8.3 Categoria del suolo di fondazione .....	29
9. Conclusioni .....	33

**Allegati**

- RELAZIONE CONCLUSIVA DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITO.

## 1. Premessa

La società ARNG SOLAR VI S.R.L., con sede legale in Viale Giorgio Ribotta, 21 - 00144 - Roma (RM) C.F e P.IVA: 02352340687 PEC: arngsolar6@pec.it, ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione di una relazione geologica relativa al progetto di installazione di un *IMPIANTO “AGRIVOLTAICO” DENOMINATO “MANCIANO 24.48”*, della potenza pari a 27.550,32 kWp.

La Società Proponente intende realizzare un impianto “agrivoltaico” nel Comune di Manciano (GR), 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 e adottare anche soluzioni volte a preservare la continuità delle attività agricola e pastorale sul sito di installazione.

La vendita dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico 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. 6 prove penetrometriche dinamiche tipo S.C.P.T. eseguite con penetrometro super-pesante (DPSH);
  - indagini indirette:
    - o n.6 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 eventuale 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 Manciano (GR), a ca. 14 km a S-SE del comune di Manciano ed a 50 km SE dal comune di Grosseto.

Le aree di impianto sono individuate alle coordinate geografiche: Latitudine Nord: 42°27'56.08"; Longitudine Est: 11°35'29.39" a quote altimetriche comprese tra 106 e 192 m s.l.m.

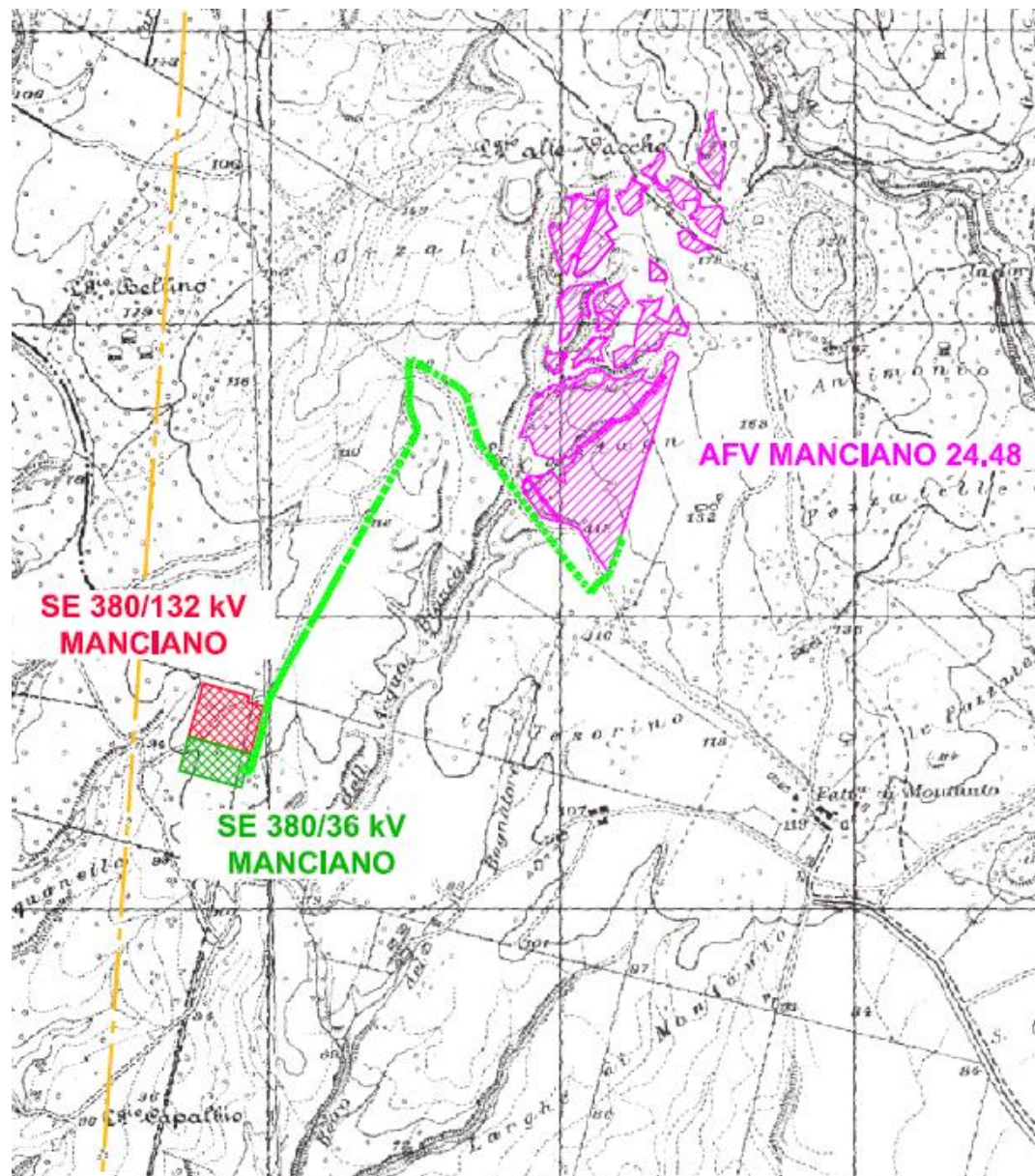
L'estensione superficiale totale del sito (area recinzione) risulta pari a ca. 51,5 ha; esso sarà realizzato su terreni identificati catastalmente in NCT al foglio 226, p.lle 1-2-3-9-10-18-50-70-75-105-106-107-108-111-112 ed al foglio 263, p.lle 14-166-167-168-169-173-182.

L'impianto agrivoltaico ricopre una superficie di circa 59,3 ettari ed è diviso su quattro principali siti di installazione, avente raggio di circa 800 metri; i campi agrivoltaici risultano accessibili dalla viabilità locale, costituita da strade interpoderali che sono connesse alla Strada Provinciale SP67.






L'area di intervento ricade sul foglio 136 “Riminino” - Tav. III NE della Carta d'Italia I.G.M. scala 1:25.000.

**FIG. 1 - COROGRAFIA**

Estratto del foglio 136 - Tav. "Riminino" - Carta d'Italia I.G.M. - scala 1:25.000

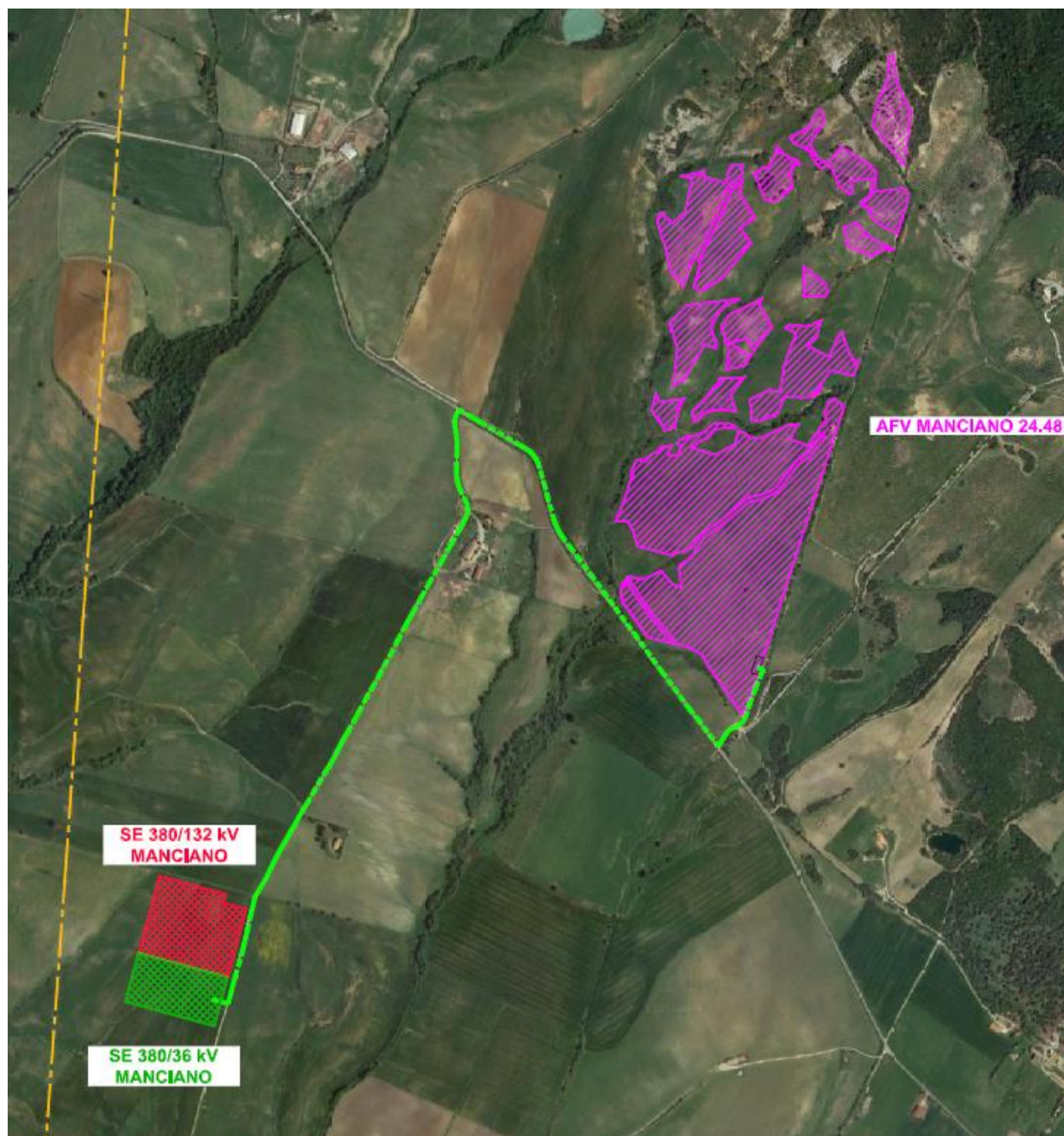


**LEGENDA**

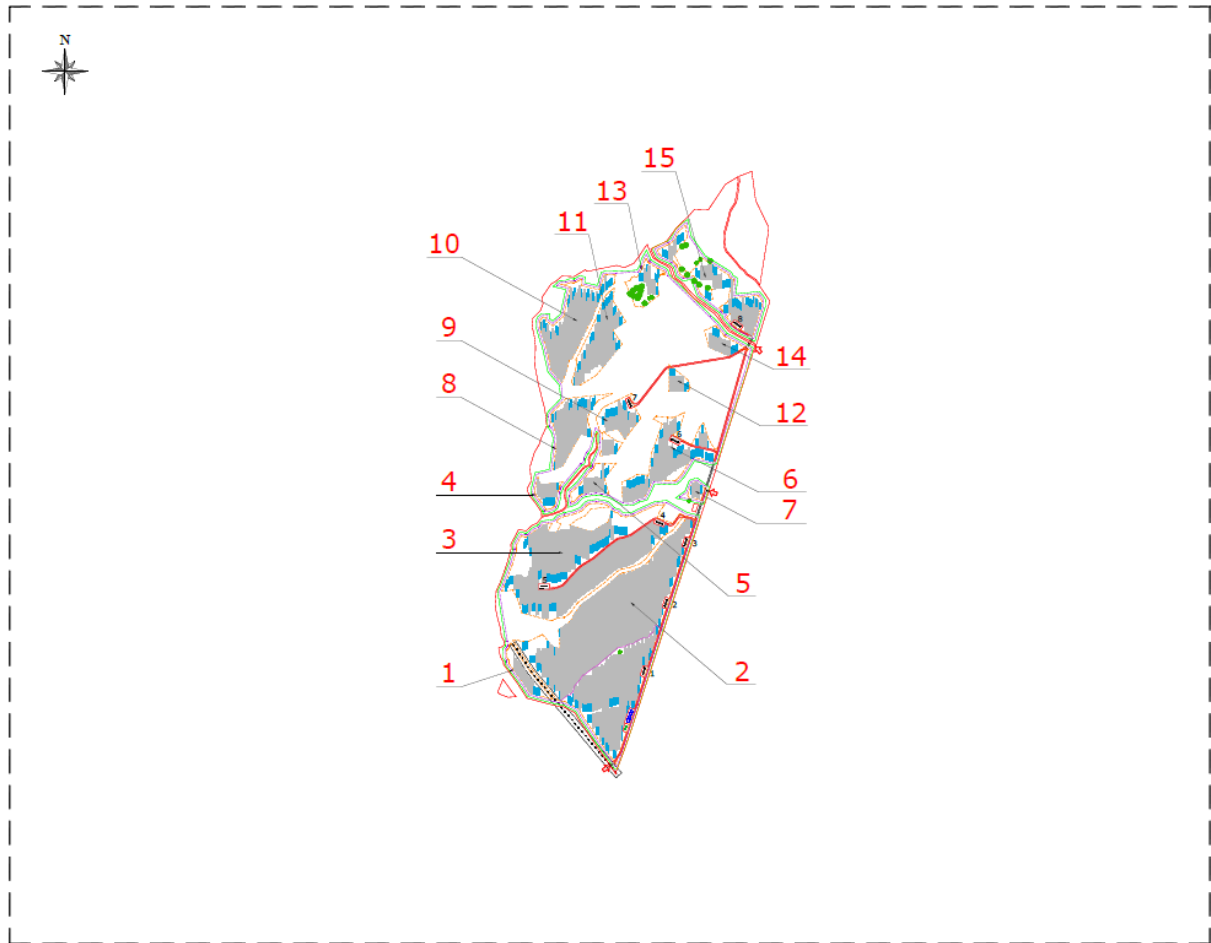
-  LINEA IN CAVO 36 kV MANCIANO 24.48 - AMPLIAMENTO 36 kV SE MANCIANO
-  LINEE AT ESISTENTI
-  AREA STAZIONE ELETTRICA 380/132 kV MANCIANO
-  AREA STAZIONE ELETTRICA 380/36 kV MANCIANO
-  AREA IMPIANTO AFV MANCIANO 24.48



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



**Fig. 3 - Ortofoto dell'area di impianto, del cavidotto e delle future SE Manciano**



**Fig. 4 - Layout di impianto**



### **3. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico**

Il sito oggetto del presente studio risulta posto in un'area che presenta debole pendenza (media dell'1,2 %), con immersione Sud-SudOvest e quote altimetriche comprese tra 106 e 192 m s.l.m. (le aree di impianto).

L'area di impianto, il cavidotto e le Stazioni Elettriche 380/132 kV e 380/36 kV si collocano sull'appendice meridionale di una dorsale collinare delimitata ad Ovest dal Fosso del Tafone e ad Est dal Fiume Fiora. Tra i due corsi d'acqua citati si registra la presenza del Botro dell'Acqua Bianca e del Botro del Bagnatore, prossimi all'area di studio.

La genesi strutturale dell'ambito è da associarsi direttamente alla formazione della catena appenninica derivante dalla collisione tra la Placca Europea e Africana (Adria)<sup>1</sup>.

La storia geologica della Toscana meridionale include diverse fasi deformative che si sviluppano a partire da Trias al Neogene per un periodo di circa 220 milioni di anni: in generale l'assetto geologico della Toscana è il risultato di due processi tettonici principali, una fase compressiva ed una distensiva.

La prima fase ha indotto l'impilamento di falde delle Unità Ligure e Toscana su quelle della serie Umbro - Marchigiana (Oligocene - Miocene) ed il fenomeno di sollevamento della catena appenninica nella fase temporale Miocene - Pleistocene; la seconda fase di natura distensiva, dal Miocene superiore al Pleistocene Superiore, ha modificato l'assetto strutturale delle unità precedentemente impilate, andando a originare numerosi bacini riempiti da sedimenti neogenici.

La tettonica distensiva miocenica e pliocenica, oltre a generare faglie dirette e bacini sedimentari, è anche strettamente associata ad un diffuso fenomeno di magmatismo che tende a migrare progressivamente da ovest verso est.

Gli eventi di effusione vulcanica (ignimbriche) che si sono susseguite dall'apparato vulcanico dei Monti Vulsinei (Bolsena, Montefiascone e Latera), principalmente nel basso Pleistocene, hanno generato i ripiani tufacei di Pitigliano, Sorano e Sovana.

Le varie effusioni piroclastiche avvenute circa 200 milioni di anni fa, si sono depositate su paleomorfologie costituite da terreni sedimentari del tardo mesozoico e del Terziario appartenenti alla Serie Toscana, al Complesso Alloctono e Neoautoctono; i vari flussi piroclastici si sono stratificati alternandosi a depositi epiclastici (Formazioni di Canino, Sovana, Sorano, Tufi di Poggio Pinzo e Pitigliano) e nel tempo hanno dato origine agli altopiani tufacei che occupano una parte della Tuscia.

---

<sup>1</sup> Piano paesaggistico Regione Toscana – Ambito 20 Bassa Maremma e ripiani tufacei

#### **4. Inquadramento geologico**

Tra le montagne, il Fiora e i rilievi costieri si stende un paesaggio collinare molto complesso, formato da una serie di rilievi isolati, dalla forma prevalente di massiccio, ma anche di breve catena o piccolo altopiano<sup>2</sup>. La varietà geologica è sorprendente, e praticamente ogni rilievo fa storia a sé.

Questa situazione è il risultato dei movimenti di subsidenza differenziale, di origine miocenica e ancora attivi, e di processi di erosione selettiva. Tutti questi processi sono stati modificati, nel Quaternario, dalle spinte endogene provenienti dalle due provincie magmatiche, la Toscana e la Laziale. Importanti aree di Collina sui terreni silicei del basamento sorgono dai confini con il Lazio fino a nord di Capalbio. La Collina calcarea è molto estesa e rappresenta la “trama di fondo” della parte meridionale dell’ambito. Importanti aree di Collina su depositi neo-quaternari deformati sorgono tra Fiora e Albegna.

In sintesi, le formazioni affioranti nell’intorno dell’area in esame, facendo riferimento alla “Carta Geologica d’Italia” Scala 1:100.000 – Foglio 136 “Tuscania”, sono, a partire dal basso<sup>3</sup>:

#### Sedimentario - Serie Toscana

##### **4.1 Scisti filladici (f')**

Complesso di scisti filladici quarzoso-micacei, talvolta arenacei, di colore grigio ferro più o meno scuro, con qualche rara intercalazione di anagenite. Si presenta stratificato, ma a volte il piano di scistosità non coincide con la stratificazione. Ha subito un intenso piegamento per cui gli strati sono spesso contorti. Vi si rinvengono intercalazioni di scisti carboniosi e lenti, vene e letti di quarzo rosato o bianco e di piri te più o meno limonitizzata. Questo complesso affiora nel gruppo del M. Bellino, nel gruppo di M. Maggiore e in località Poggialti (fi).

Non si sono rinvenute tracce di fossili. Il complesso viene comunemente attribuito al Permiano superiore - Trias medio.

##### **4.2 Calcare cavernoso (T<sup>6-5</sup>)**

Calcari dolomitici e dolomie grigie, grigio-scuri o nerastri, brecciatati e vacuolari, calcari a cellette; a volte ridotti a vere e proprie breccie più o meno cementate. Derivano dalla alterazione di una formazione costituita da strati alternati di dolomia ed anidrite, ritrovata sotto al calcare

<sup>2</sup> Piano paesaggistico Regione Toscana – Ambito 20 Bassa Maremma e ripiani tufacei

<sup>3</sup> Note Illustrative alla Carta Geologica d’Italia – Foglio 136 “Tuscania” – A. Alberti, M. Bertini, G.L. del Bono, G. Nappi, L. Salvati

cavernoso nei sondaggi eseguiti in località Poggio Vaccaro presso Pescia Fiorentina (VIGHI, 1968).

La idratazione dell'anidrite per opera delle acque meteoriche, con il conseguente aumento di volume, avrebbe portato alla brecciatura degli strati di dolomia; la successiva soluzione del gesso avrebbe portato alla cavernosità. In questo processo hanno esercitato la loro influenza anche fenomeni di origini tettonica e magmatica. In più zone infatti il calcare cavernoso ha subito notevoli processi di silicizzazione e metasomatismo dovuti alla impregnazione della sua massa da parte divenute idrotermali.

Questa formazione viene comunemente attribuita ad una età Norico- Retico; essa affiora in lembi modesti tra La Campigliola e Manciano· una buona esposizione di “calcare cavernoso” si osserva nei dintorni della Campigliola.

#### **4.3 “Serie Comprensiva” – P**

Si tratta di una formazione fliscioide rappresentata da calcari marnosi grigi o avana chiari, spesso prevalenti, o in alternativa intercalati a marne ed argille marnose. Vi sono comunque intercalazioni di brecciole calcaree o calcareniti del tipo “Pietraforte”.

La parte superiore di questa formazione è da riferirsi al Paleocene-Eocene inferiore. La sua potenza non è inferiore ai 500 m.

La formazione è datata Paleocene-Eocene.

#### **4.4 “Conglomerati, argille e sabbie” – M<sub>cg</sub><sup>5-2</sup>**

Conglomerati costituiti da ciottoli spesso con patina bruno-rossastra provenienti quasi esclusivamente dai componenti litologici del flysch (p), e da un cemento argilloso-sabbioso per lo più rossastro; stratificati e con intercalazioni di sabbie e argille più o meno sabbiose; passano lateralmente ed inferiormente agli altri complessi arenacei, marnosi-argillosi sempre miocenici. Essi sono terreni depositati in ambiente fluvio-lacustre e palustre, privi di fossili e probabilmente riferibili al Miocene medio-superiore, dati i rapporti con il resto del complesso miocenico già descritto.

Questi conglomerati sono piuttosto diffusi nell'area del Foglio 136; l'affioramento più importante di essi è quello di Piazza dei Tori e Monte Nerino a Est di Manciano (IV NW).

Il deposito è miocenico.

#### **4.5 “Sabbie, conglomerati e argille” – Q<sup>T-5</sup>**

Sabbie più o meno argillose, conglomerati gialli e rossastri ed argille, con materiale vulcanico nella parte alta del complesso.

Questa formazione è riferibile al Tirreniano-Siciliano; in essa si passa gradualmente, da sedimenti essenzialmente marini alla base, a quelli costieri ed in facies salmastra verso l'alto; essa ha una potenza massima di una quarantina di metri; affiora per lo più lungo la fascia costiera compresa nel Foglio 136, in trasgressione, in genere, su terreni pliocenici.

Una buona esposizione di questi terreni si osserva sulla sinistra del F.me Fiora nei pressi di Montalto di Castro (lungo S.S. 1 Aurelia).

#### **4.6 “Alluvioni, detriti e sabbie” – a<sup>1</sup>**

Alluvioni antiche e detriti di falda provenienti quasi esclusivamente dalla formazione delle filladi affioranti nel Foglio 136 Toscana; si osservano con buona esposizione specialmente nella Valle del Tafone, con una potenza di pochi metri.

I depositi sono pleistocenici.

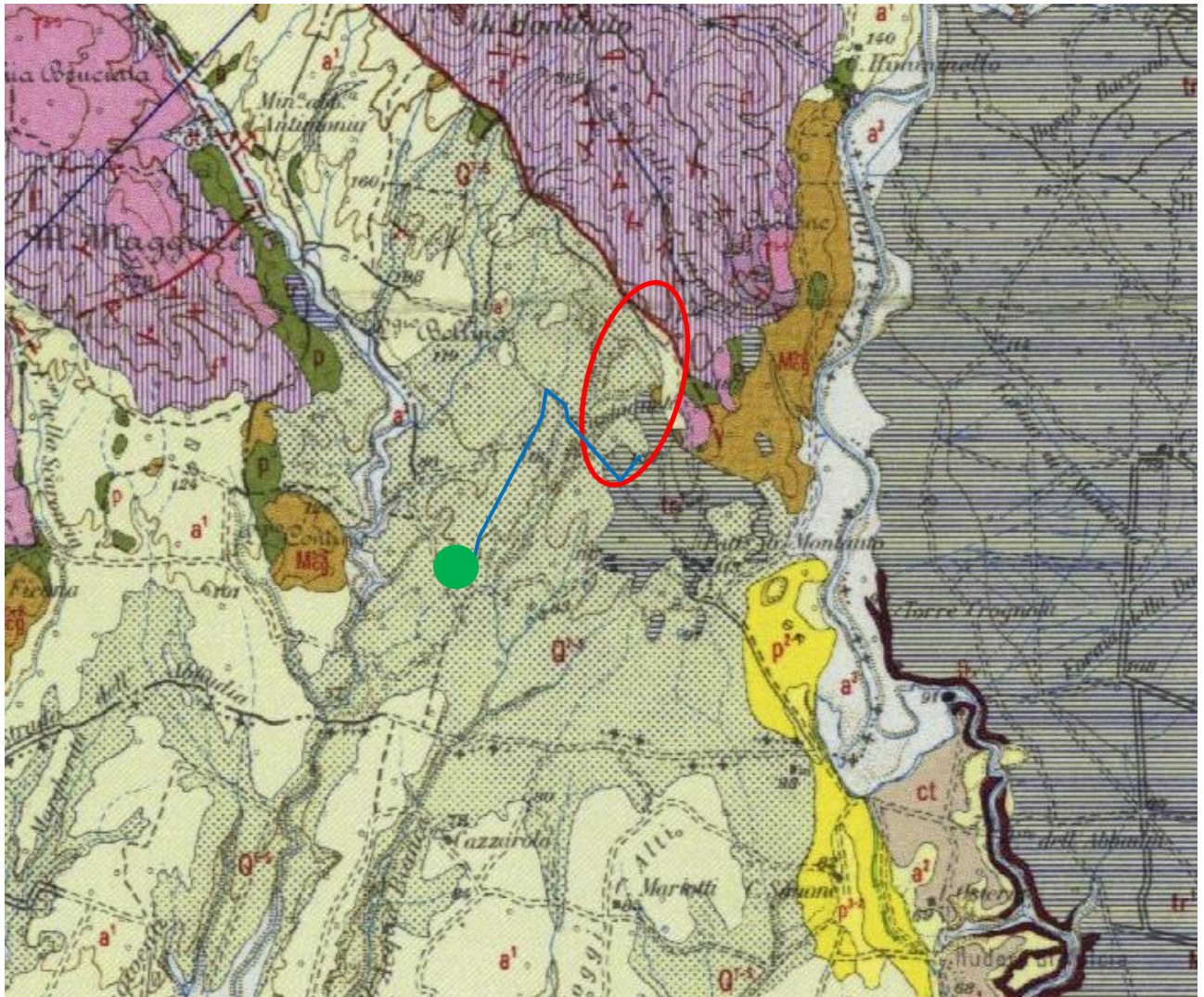
#### **4.7 “Travertini” – tr<sup>1</sup>**

Nell'area in esame affiorano depositi di travertino antichi e recenti e che si stanno formando attualmente; in genere biancastri grigio-chiaro, a luoghi colorati in rosso od ocra. Nei travertini antichi talora si notano alternanze di materiali piroclastici o di detriti grossolani eterogenei.

I principali affioramenti si osservano, tra gli altri luoghi, alla base del M. Canino ed ai Bagni di Saturnia a N di Manciano (Foglio 136 tav.tte II NW e IV NW). I depositi di travertini presso queste località hanno una potenza variabile, che raggiunge un massimo di alcune decine di metri.

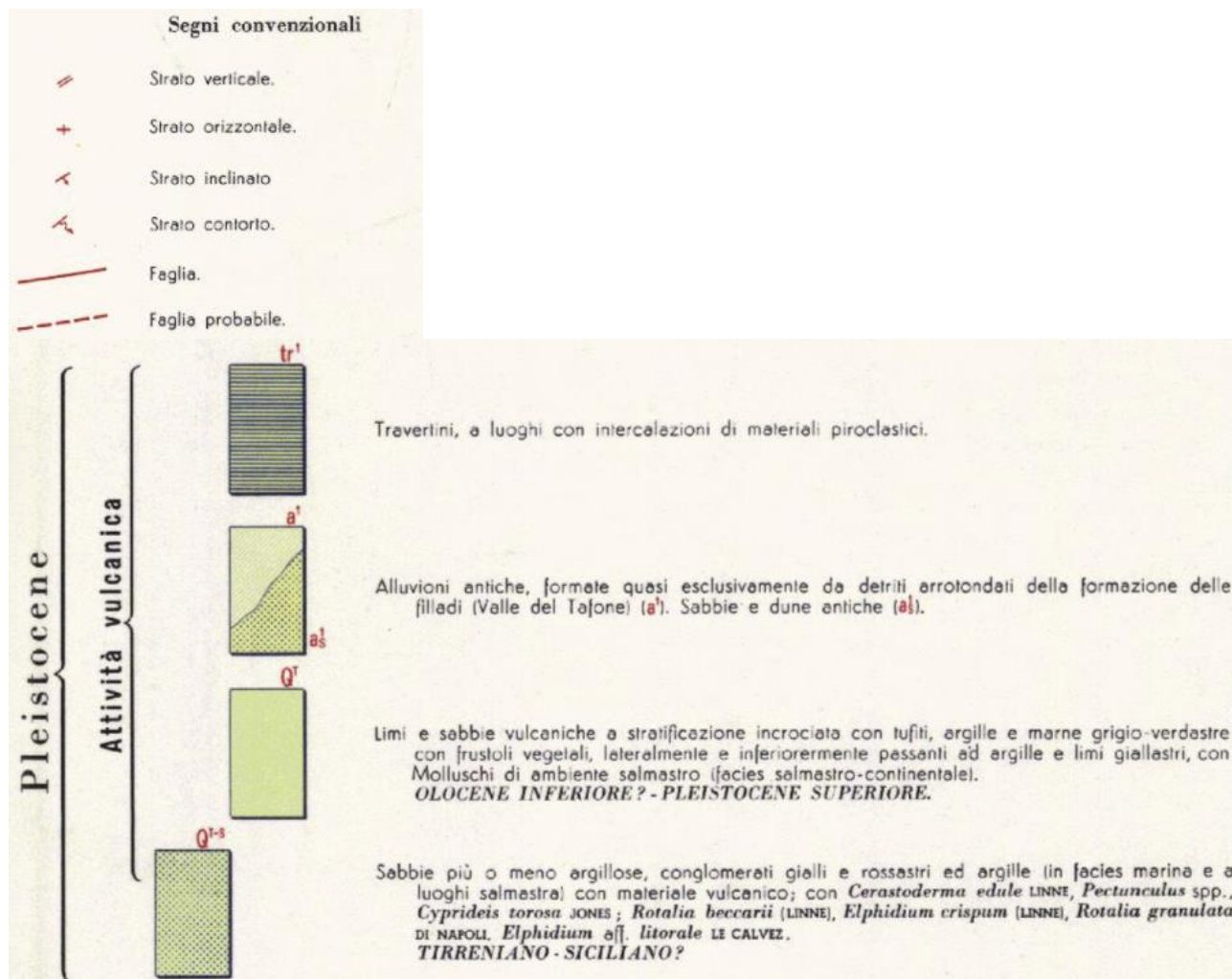
I depositi sono pleistocenici.

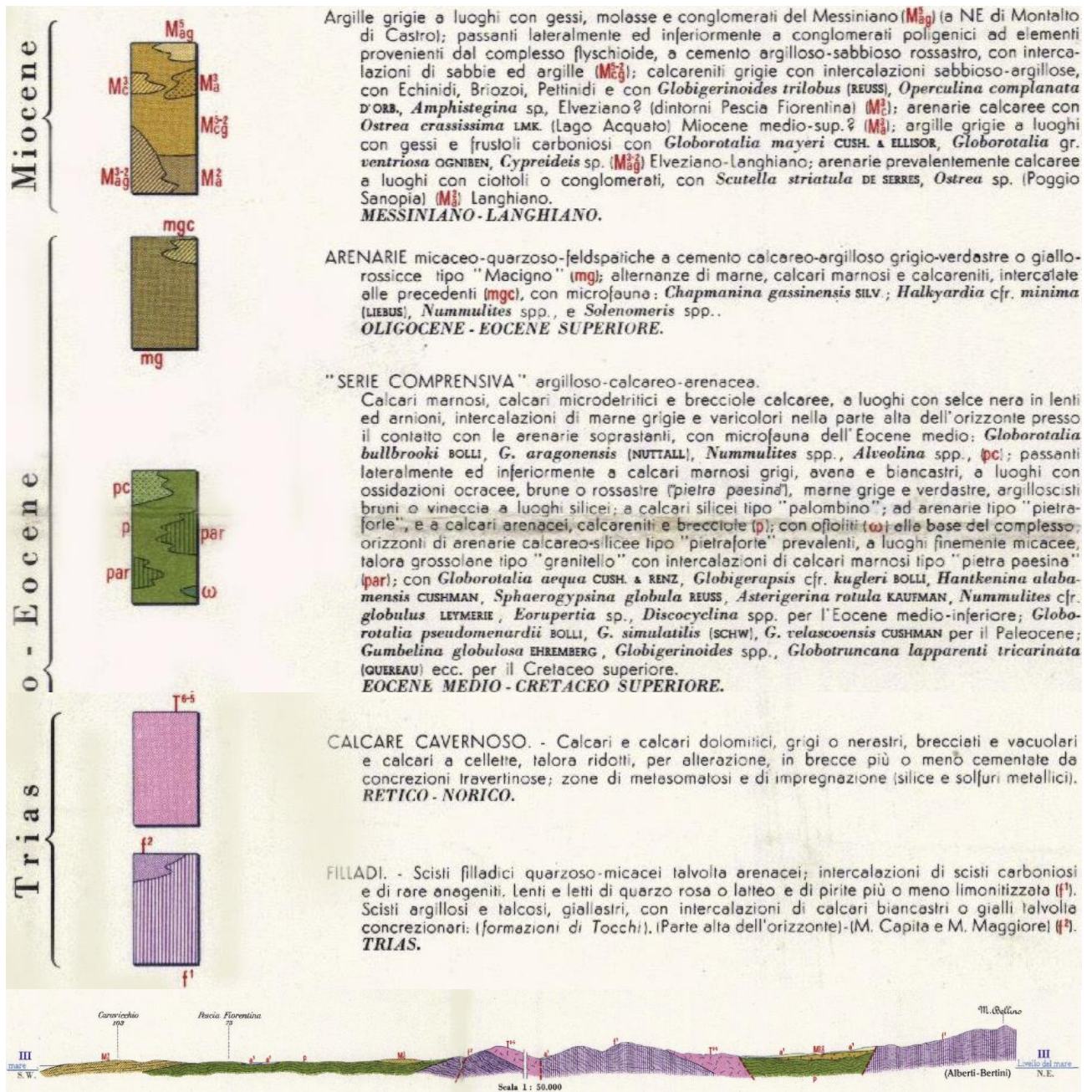
**FIG. 5 - CARTA GEOLOGICA**

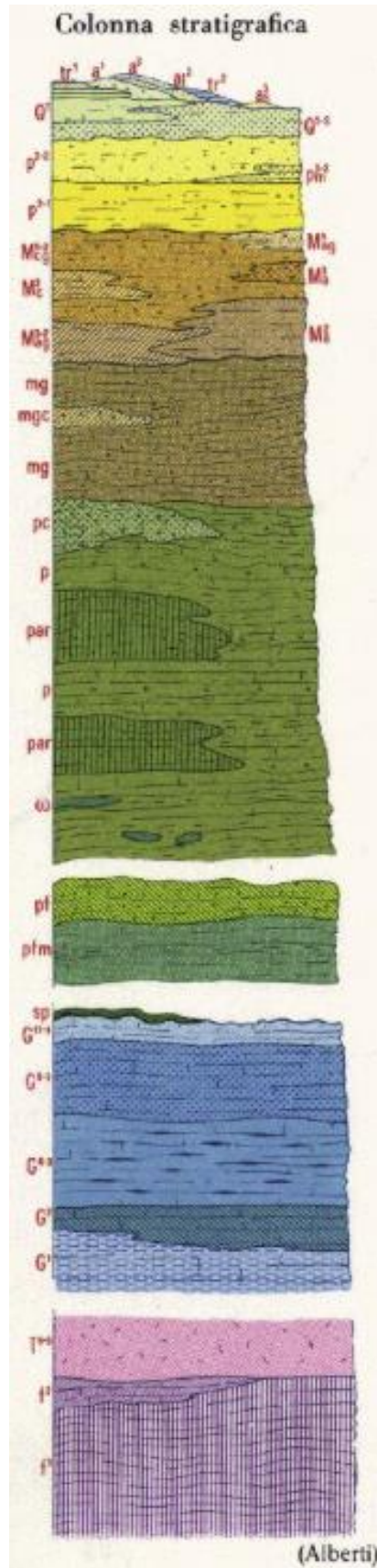


**LEGENDA**

-  AREA DI IMPIANTO
-  STAZIONE ELETTRICA
-  CAVIDOTTO









### **5. Inquadramento idrogeologico**

Per la descrizione delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni entro cui ricade il sito oggetto di studio, si farà riferimento a quanto descritto nella *CARTA IDROGEOLOGICA E DELLE AREE CON PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE - TAV. 6.e.7 (AI SENSI DEL DPGRT 26/R/07)*, pubblicata all'interno del *Piano Strutturale del Piano Regolatore Generale* del Comune di Manciano ed il cui stralcio è riportato in fig. 6.

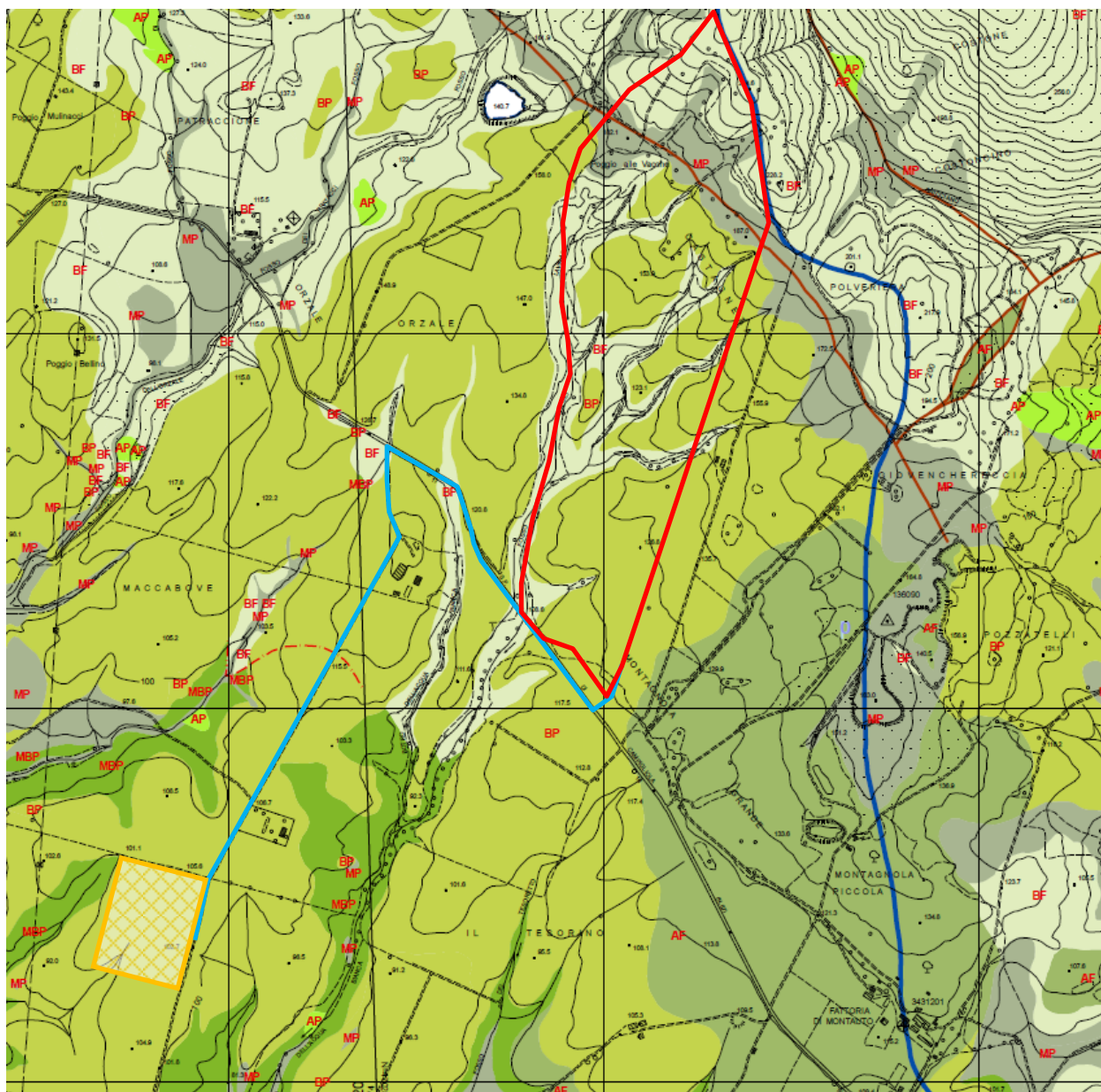
Secondo la suddetta carta, la maggior parte delle aree di impianto in senso stretto, il cavidotto e le Stazioni Elettriche SE 380/132 kV e SE 380/36 kV ricadono in terreni contrassegnati con *BP - Permeabilità bassa per porosità (permeabilità primaria)*; una residua porzione delle aree di impianto, in coincidenza con i corsi d'acqua che solcano l'area (*Botro dell'Acqua Bianca*) e nella porzione settentrionale, ricade in terreni *BF - Permeabilità bassa per fratturazione (permeabilità secondaria)*. Si tratta di terreni che presentano un grado di addensamento medio-elevato.

La restante parte, posta nella porzione settentrionale, ricade in area *MP - Permeabilità media per porosità (permeabilità primaria)*.

Non si segnala presenza di pozzi per uso potabile e, conseguentemente, di fasce di rispetto dagli stessi. Si segnala la presenza di un pozzo per uso non potabile, ad Est delle aree di impianto, ad una distanza superiore ai 400 m dalle stesse.

Nel corso delle prove eseguite non è stata rinvenuta la presenza di falde acquifere sotterranee fino alla massima quota indagata, pari a -4,20 m dal p.c.

**FIG. 6 - STRALCIO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA E DELLE AREE CON PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE - TAV. 6.e.7**  
(AI SENSI DEL DPGRT 26/R/07)



























**LEGENDA**



**UBICAZIONE AREA D'IMPIANTO**

**CAVIDOTTO**

**SE 380/132 kV e SE 380/36 kV**

-  AP - permeabilità elevata per porosità (permeabilità primaria)
-  AF - permeabilità elevata per fratturazione (permeabilità secondaria)
-  BP - permeabilità bassa per porosità (permeabilità primaria)
-  BF - permeabilità bassa per fratturazione (permeabilità primaria)
-  MP - permeabilità media per porosità (permeabilità primaria)
-  MF - permeabilità media per fratturazione (permeabilità secondaria)
-  MBP - permeabilità molto bassa per porosità (permeabilità primaria)
-  --- contatto stratigrafico inconforme
-  — discordanza (Reg. Toscana)
-  - - - contatto tettonico
-  — contatto tettonico sottrattivo a basso angolo (Reg. Toscana)
-  — faglia
-  | | | | faglia diretta
-  - - - contatto con area non rilevabile (mare, lago, ghiacciaio, strutture antropiche)
-  Aree non rilevabili (specchi d'acqua, aree urbanizzate)
-  p Sorgenti censite (elenco non esaustivo)
-  p Sorgenti termali
-  p Pozzo di concessione termale
-  p Pozzo di ricerca termale
-  p Pozzi censiti ad uso non potabile (elenco non esaustivo)
-  p Pozzi attualmente utilizzati ad uso potabile
-  | | | | Area favorevoli per il reperimento della risorsa idrica ad uso potabile
-  Area di rispetto raggio 200 m da pozzi uso potabile
-  — Spartiacque Fiora-Ombrone-Tafone

**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. 6 prove penetrometriche dinamiche tipo S.C.P.T. eseguite con penetrometro super-pesante (DPSH);
- indagini indirette:
  - o n.6 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.6 prove 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 nella Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito in Allegati).

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 <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA: $\alpha$	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA: P1	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : $\delta$	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 rinvennero nell'area sono stati eseguiti n.6 profili sismici a rifrazione (SR1, SR2, SR3, SR4, SR5, SR6) 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.

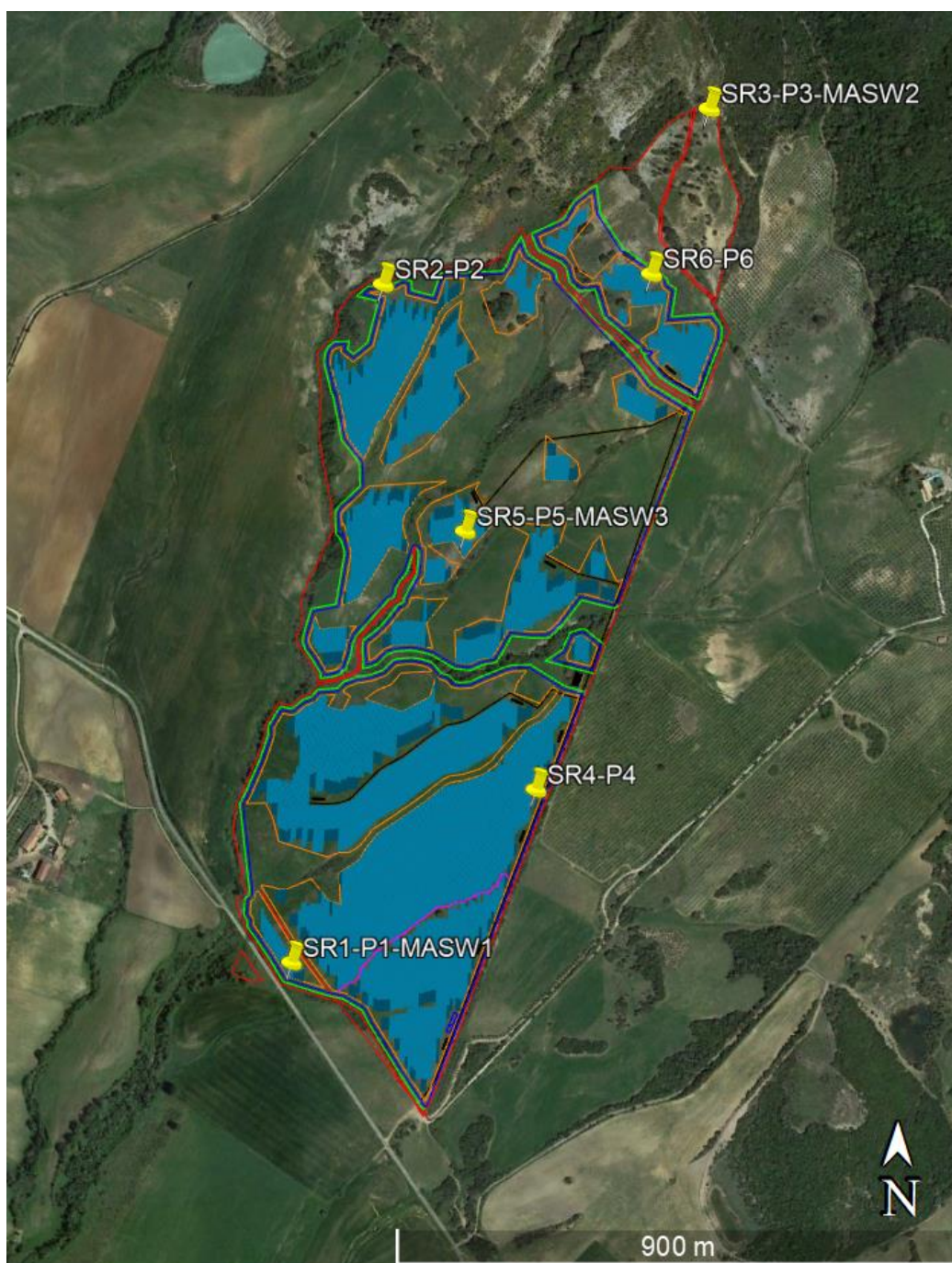
L'analisi dei sismogrammi ha consentito di ricavare i tempi di primo arrivo delle onde sismiche longitudinali tramite i quali sono stati ricavati i diagrammi distanza-tempo (dromocrone) utilizzati sia per il calcolo analitico delle velocità di propagazione delle onde elastiche, sia per l'interpretazione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

**P** Prova penetrometrica dinamica

**MASW** Profilo sismico con metodologia MASW

## 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 due sismostrati, il primo con uno spessore di 4,0 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s, il secondo 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 700 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR2 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore di 0,5 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s, il secondo 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 800 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR3 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore di 0,3 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 400 m/s, il secondo 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 1.300 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR4 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore di 5,7 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s, il secondo 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 700 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR5 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore di 2,0 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s, il secondo 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 700 m/s;
- il profilo sismico a rifrazione SR6 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore di 0,3 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s, il secondo 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 1.300 m/s;



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

Pertanto, considerate e l'analisi dei profili sismici, la successione stratigrafica nei diversi settori, può essere ricostruita nel seguente modo:

**Colonna stratigrafica 1 (profilo sismico SR1)**

0,00 m ÷ 4,00 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

4,00 m ÷ prof. non indagata

argille.

**Colonna stratigrafica 2 (profilo sismico SR2)**

0,00 m ÷ 0,50 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

0,50 m ÷ prof. non indagata

argille.

**Colonna stratigrafica 3 (profilo sismico SR3)**

0,00 m ÷ 0,30 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

0,30 m ÷ prof. non indagata

terreno litoide debolmente cementato.

**Colonna stratigrafica 4 (profilo sismico SR4)**

0,00 m ÷ 5,70 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

5,70 m ÷ prof. non indagata

argille.

**Colonna stratigrafica 5 (profilo sismico SR5)**

0,00 m ÷ 2,00 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

2,00 m ÷ prof. non indagata

argille.

**Colonna stratigrafica 6 (profilo sismico SR6)**

0,00 m ÷ 0,30 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

0,30 m ÷ prof. non indagata

terreno litoide debolmente cementato.

Tra le risultanze delle prove penetrometriche dinamiche e le indagini sismiche a rifrazione eseguite vi è una discreta correlazione. Le quote che indicano il contatto tra i due livelli riscontrati possono variare anche in ragione del fatto che, pur essendo state ubicate nella medesima posizione, le prime sono puntuali mentre le seconde restituiscono una sismostratigrafia mediando ciò che è riscontrato in un tracciato lungo 33 m.

Il primo livello riscontrato, quello dei limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose, ricomprende anche il livello di terreno vegetale presente. Nella successione riportata la descrizione dei livelli è basata sulle evidenze delle risposte geotecniche e geofisiche avute a seguito delle prove. Pertanto, venendo meno l'esame obiettivo dei campioni, non sono possibili ulteriori dettagli per esempio di carattere granulometrico o tessiturale (% di limo, presenza di concrezioni carbonatiche, ecc.). Per questa ragione è plausibile supporre, laddove vi sia qualche piccola evidenza, che il livello di terreno vegetale presenti spessore orientativo di 0.40-0.60 m; la risposta geotecnica, intesa come n. di colpi, non consente di differenziare ulteriormente.

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 136 “Tuscania” - utilizzata come riferimento per l'inquadramento geologico. Il terreno litoide debolmente cementato, che ha portato un rifiuto all'avanzamento della punta conica del penetrometro nel corso delle prove penetrometriche P1 e P3 eseguite, dovrebbe pertanto essere riconducibile agli Scisti filladici quarzoso-micacei, talvolta arenacei di cui alla letteratura (Carta Geologica d'Italia).

Per quanto riguarda il cavidotto, il suo tracciato si snoderà interrato lungo la *S.P. 67 Campigliola*, per il primo tratto, ed una strada interpoderale, sterrata, fino al raggiungimento del lotto interessato dalla realizzazione delle Stazioni Elettriche SE 380/132 kV e SE 380/36 kV. Pertanto gli scavi nei quali verrà alloggiato, che avranno profondità massima 1.30 m dal p.c., ricadranno verosimilmente nei riempimenti degli strati fondali stradali o, al più, negli strati superficiali del sottosuolo (costituito quest'ultimo da limi sabbioso-argillosi e/o argille).

Le stratigrafie ottenute nel corso delle prove penetrometriche e le sismostratigrafie ricostruite a seguito dei profili sismici sono riportate nella Relazione conclusiva delle indagini eseguite in Allegati. Nella medesima Relazione sono contenuti anche i principali moduli e parametri desunti dalla misurazione delle velocità Vs e Vp nel corso dei profili sismici a rifrazione.

Nel corso delle indagini eseguite non è stata riscontrata presenza di falde freatiche.

**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.

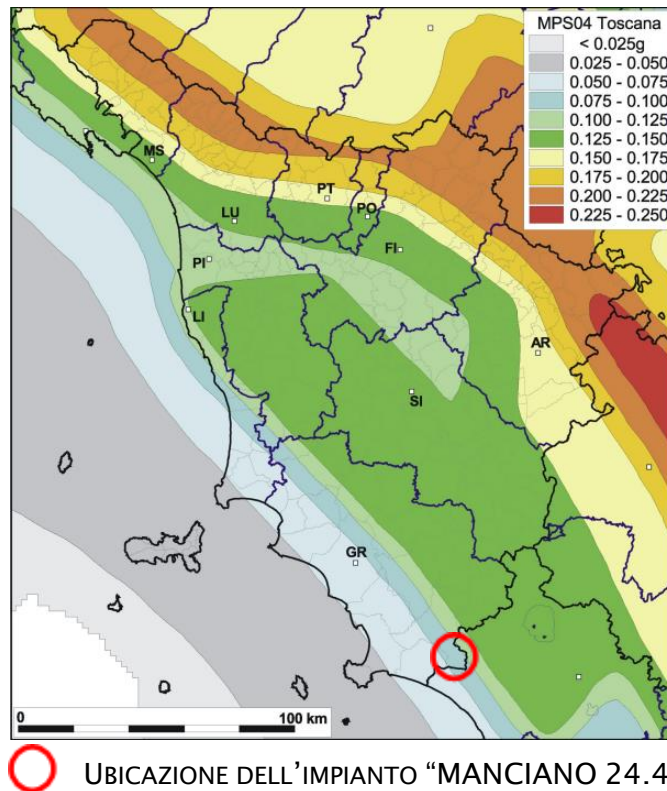
L’esercizio di tale ultima facoltà è consentito, grazie alle tante proroghe succedutesi, fino all’emanazione del D.M. 14/01/2008 “Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni” dove al comma 4 viene precisato che “le indicazioni di cui ai punti precedenti non operano per le verifiche tecniche 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.

In base alla nuova classificazione sismica la Regione Toscana ha classificato il proprio territorio (Delibera GRT n. 421 del 26 maggio 2014) confermando il comune di Manciano in Zona 3.

**FIG. 8 – STRALCIO CARTOGRAFICO MAPPA CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNI TOSCANI (DGRT N. 421/2014)**



**FIG. 9 –MAPPA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (TEMPO DI RITORNO PARI A 475 ANNI . INGV 2004)**



## 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: 328 m/s;**

**MASW 2: 349 m/s;**

**MASW 3: 341 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 - MASW 2 - 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 Toscana ha classificato il proprio territorio (Delibera GRT n. 421 del 26 maggio 2014) confermando il comune di Manciano in Zona 3.

"Zona 3 - Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti. In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2. Sismicità medio-bassa (PGA fra 0,05 e 0,15 g), comprende 1.560 comuni."

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 Manciano

Codice ISTAT: 09053014

Coordinate sito Progetto "MANCIANO 24.48":  
 Longitudine = 11.591497° E;  
 Latitudine = 42.465578° N

Nodi intorno al sito: 25835 25834 26056 26057

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

Classe d'uso: II

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

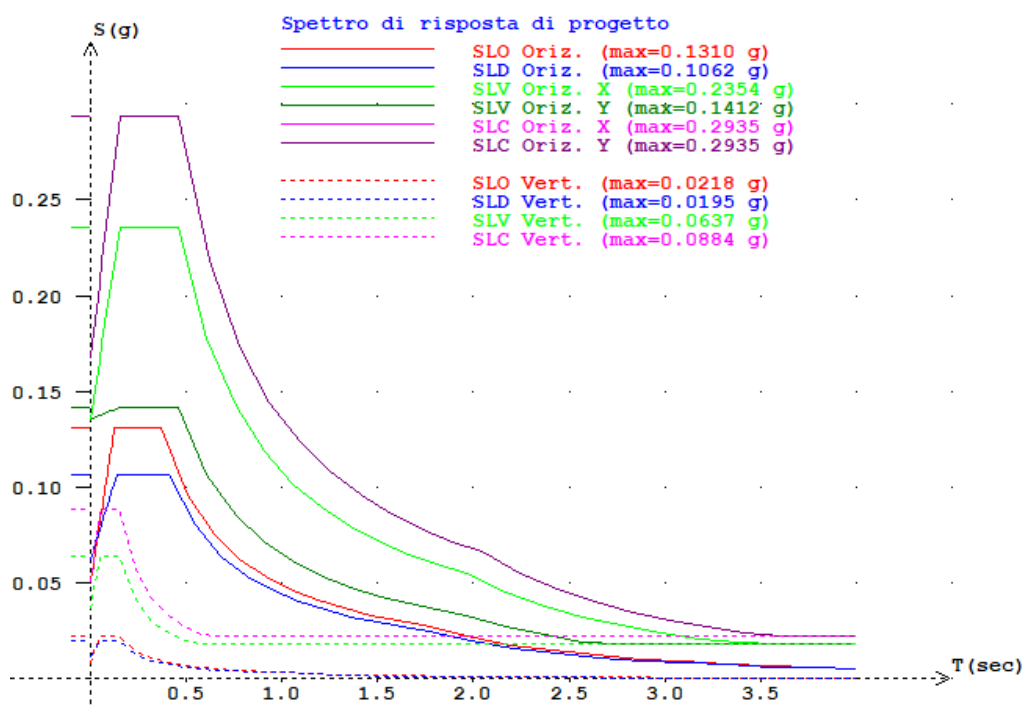
Periodo di ritorno $T_r$ (anni)		Parametri di pericolosità sismica		
		$a_g$ (g/10)	$F_0$ (adim)	$T_c^*$ (sec)
SLO	30	0.34206936	2.55348292	0.20957400
SLD	50	0.41501450	2.55835913	0.24736907
SLV	475	0.90259643	2.60814978	0.29000000
SLC	975	1.11965589	2.62147918	0.29205140

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.

<b>Popolazione residente</b>	<b>7.326</b>
<b>Densità per Km<sup>2</sup></b>	<b>19,7</b>
<b>Zona sismica (DGRT n. 421/2014)</b>	<b>3</b>



**Fig. 10 - Spettri di risposta sismica di progetto - Manciano**

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

## 9. Conclusioni

La società ARNG SOLAR VI S.R.L., con sede legale in Viale Giorgio Ribotta, 21 - 00144 - Roma (RM) C.F e P.IVA: 02352340687 PEC: arngsolar6@pec.it, ha affidato allo scrivente l’incarico per la redazione di una relazione geologica relativa al progetto di installazione di un *IMPIANTO “AGRIVOLTAICO” DENOMINATO “MANCIANO 24.48”*, della potenza pari a 27.550,32 kWp.

La Società Proponente intende realizzare un impianto “agrivoltaico” nel Comune di Manciano (GR), 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 e adottare anche soluzioni volte a preservare la continuità delle attività agricola e pastorale sul sito di installazione.

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. 6 prove penetrometriche dinamiche tipo S.C.P.T. eseguite con penetrometro super-pesante (DPSH);
  - indagini indirette:
    - o n.6 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:

- in base all’analisi dei profili sismici, la successione stratigrafica nei diversi settori, può essere ricostruita nel seguente modo:

### **Colonna stratigrafica 1 (profilo sismico SR1)**

0,00 m ÷ 4,00 m

limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;

4,00 m ÷ prof. non indagata

argille.

**Colonna stratigrafica 2 (profilo sismico SR2)**

0,00 m ÷ 0,50 m	limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;
0,50 m ÷ prof. non indagata	argille.

**Colonna stratigrafica 3 (profilo sismico SR3)**

0,00 m ÷ 0,30 m	limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;
0,30 m ÷ prof. non indagata	terreno litoide debolmente cementato.

**Colonna stratigrafica 4 (profilo sismico SR4)**

0,00 m ÷ 5,70 m	limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;
5,70 m ÷ prof. non indagata	argille.

**Colonna stratigrafica 5 (profilo sismico SR5)**

0,00 m ÷ 2,00 m	limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;
2,00 m ÷ prof. non indagata	argille.

**Colonna stratigrafica 6 (profilo sismico SR6)**

0,00 m ÷ 0,30 m	limi sabbioso-argillosi e/o sabbie limoso-argillose;
0,30 m ÷ prof. non indagata	terreno litoide debolmente cementato.

- Per quanto riguarda il cavidotto, il suo tracciato si snoderà interrato lungo la S.P. 67 Campigliola, per il primo tratto, ed una strada interpodereale, sterrata, fino al raggiungimento del lotto interessato dalla realizzazione delle Stazioni Elettriche SE 380/132 kV e SE 380/36 kV. Pertanto gli scavi nei quali verrà alloggiato, che avranno profondità massima 1.30 m dal p.c., ricadranno verosimilmente nei riempimenti degli strati fondali stradali o, al più, negli strati superficiali del sottosuolo (costituito quest'ultimo da limi sabbioso-argillosi e/o argille).
- Nel corso delle indagini eseguite, non è stata riscontrata presenza di falda freatica fino alla quota massima indagata con le prove penetrometriche eseguite (-4,20 m dal p.c.).

Ciononostante, non si può escludere 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 – MASW 2 – 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 DGRT n. 421/2014, il comune di Manciano è inserito in Zona sismica 3.

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 supporre 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 maggio 2023

dott. geol. Francesco Caldarone  
  


## ALLEGATI

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

**GEOPROVE**  
S.R.L.

# COMUNE DI MANCIANO (PROV. DI GROSSETO)

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 05208 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](http://www.geoprove.eu) • [info@geoprove.eu](mailto:info@geoprove.eu)

## ***INDICE***

<i>INDICE</i> .....	1
<i>PREMESSA</i> .....	2
<i>INDAGINE GEOGNOSTICA</i> .....	3
<i>Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH)</i> .....	4
<i>Profilo sismico a rifrazione</i> .....	11
<i>Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)</i> .....	36

---

## **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 Manciano (Gr).

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.6 prove penetrometriche dinamiche continue - DPSH;
- n.6 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.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di:

- n.6 prove penetrometriche dinamiche continue - DPSH;
- n.6 profili sismici a rifrazione;
- n.3 profili sismici con metodologia MASW.

---

### ***Prove penetrometriche dinamiche continue (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.

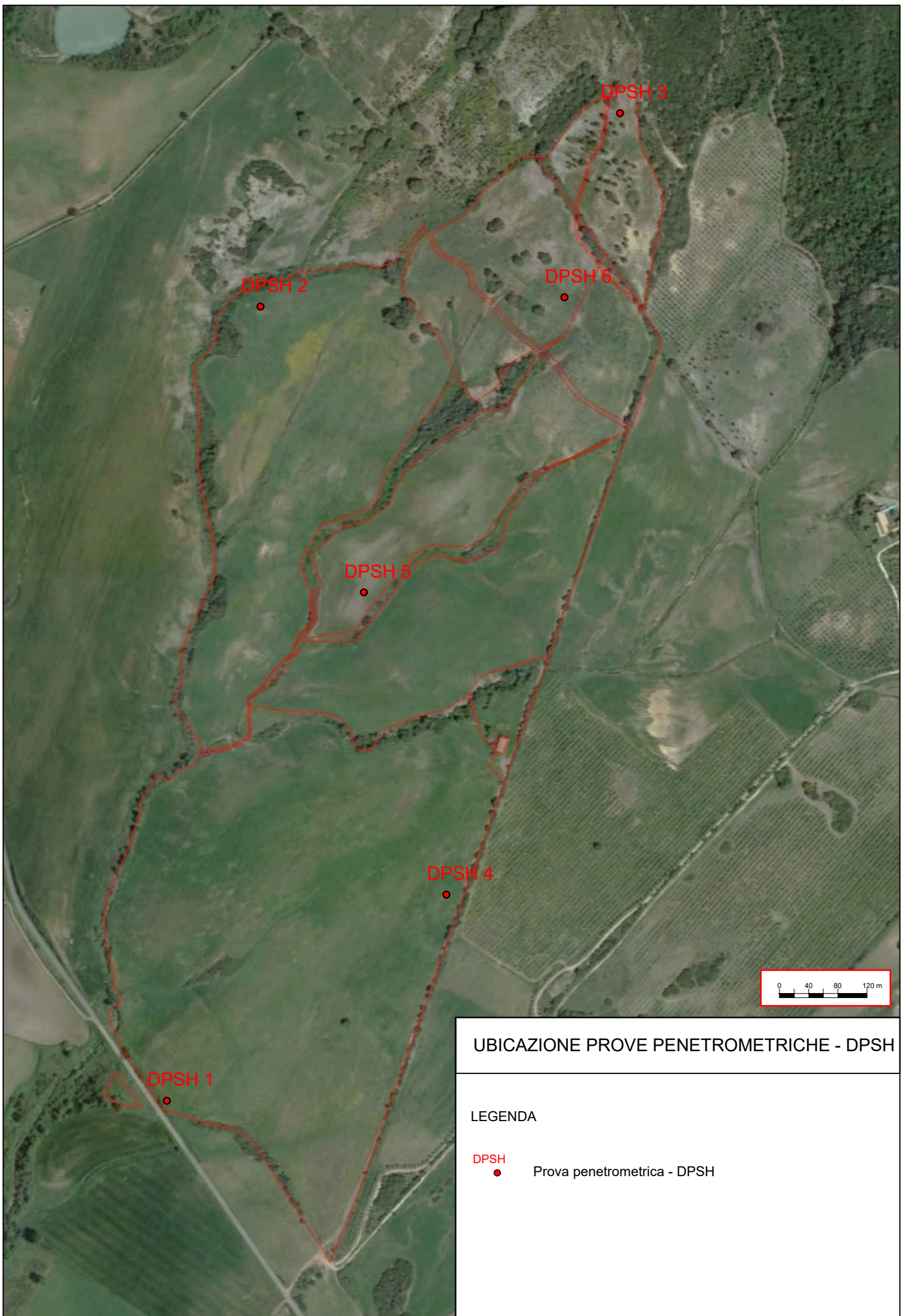
Le prove sono state eseguite con un penetrometro TG 63-200 della PAGANI, le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

- 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  $20.43$  cm<sup>2</sup>;
- 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.



---

**Prova penetrometrica – DPSH 1**

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

- da 0.00 a 3.60 metri    Limi sabbiosi
- da 3.60 a 4.20 metri    Argille



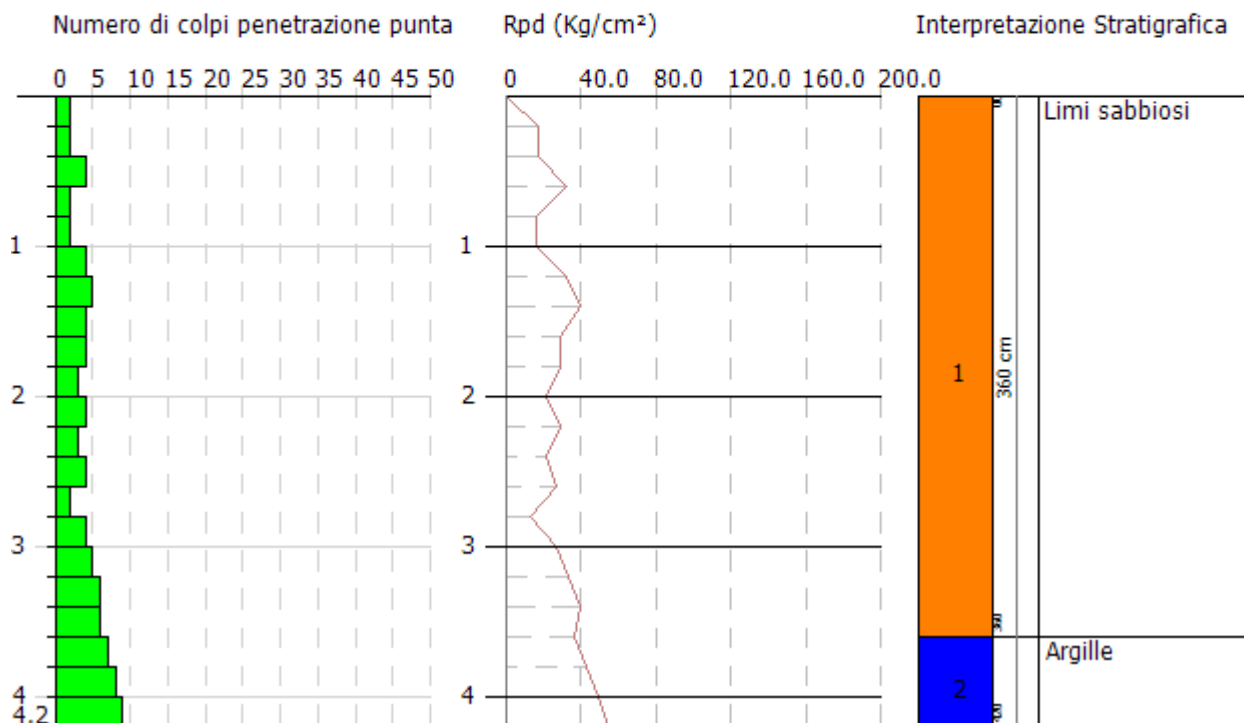
*Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 1*

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

Committente: Dott. Geol. Francesco Caldarone  
Descrizione: Impianto Fotovoltaico  
Località: Manciano

17/01/2023

Scala 1:50



---

**Prova penetrometrica – DPSH 2**

La prova DPSH 2 ha permesso di individuare le seguenti litologie:

- da 0.00 a 0.40 metri    Limi sabbiosi
- da 0.40 a 4.20 metri    Argille



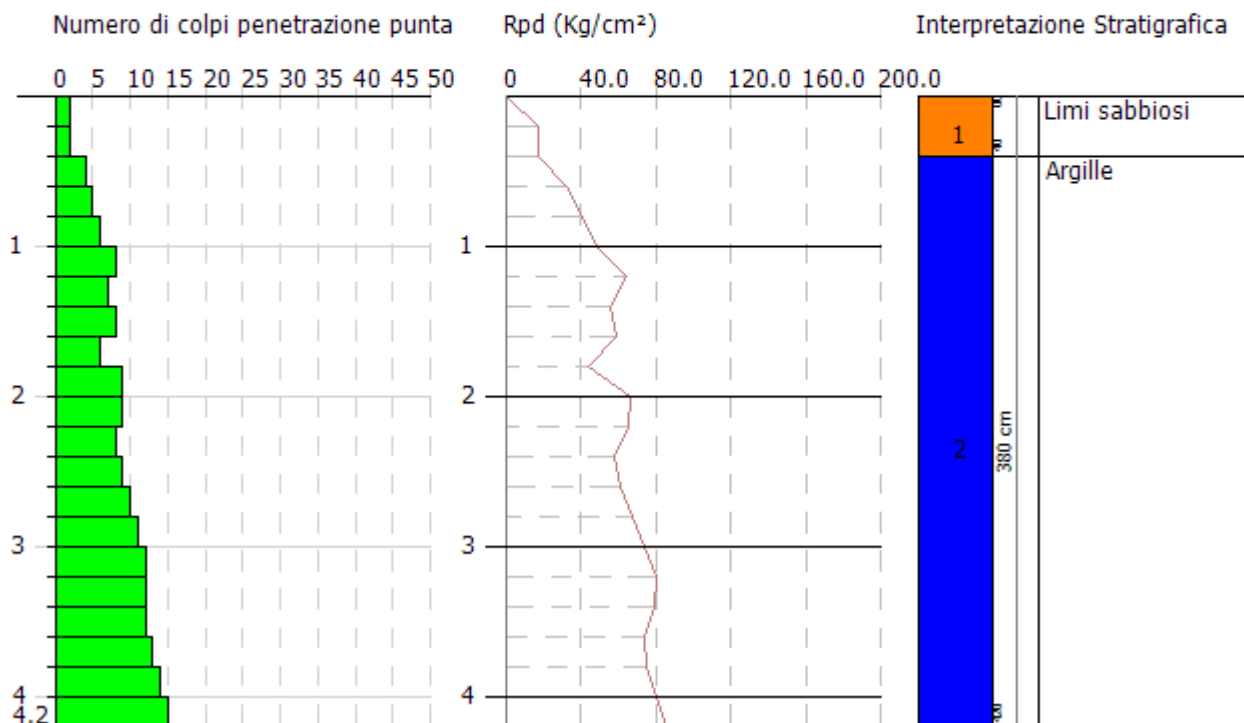
*Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 2*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

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

17/01/2023

Scala 1:50



---

**Prova penetrometrica – DPSH 3**

La prova DPSH 3 ha permesso di individuare le seguenti litologie:

- da 0.00 a 0.60 metri    Limi sabbiosi
- da 0.60 a 1.00 metri    Substrato litoide

*La prova ha raggiunto il rifiuto strumentale*



*Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 3*

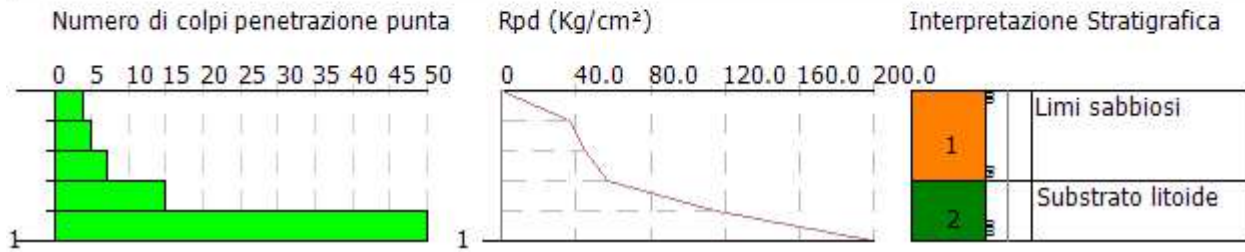


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 3  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Dott. Geol. Francesco Caldarone  
Descrizione: Impianto Fotovoltaico  
Località: Manciano

17/01/2023

Scala 1:50



---

**Prova penetrometrica – DPSH 4**

La prova DPSH 4 ha permesso di individuare le seguenti litologie:

- da 0.00 a 2.60 metri    Limi sabbiosi
- da 2.60 a 4.20 metri    Argille



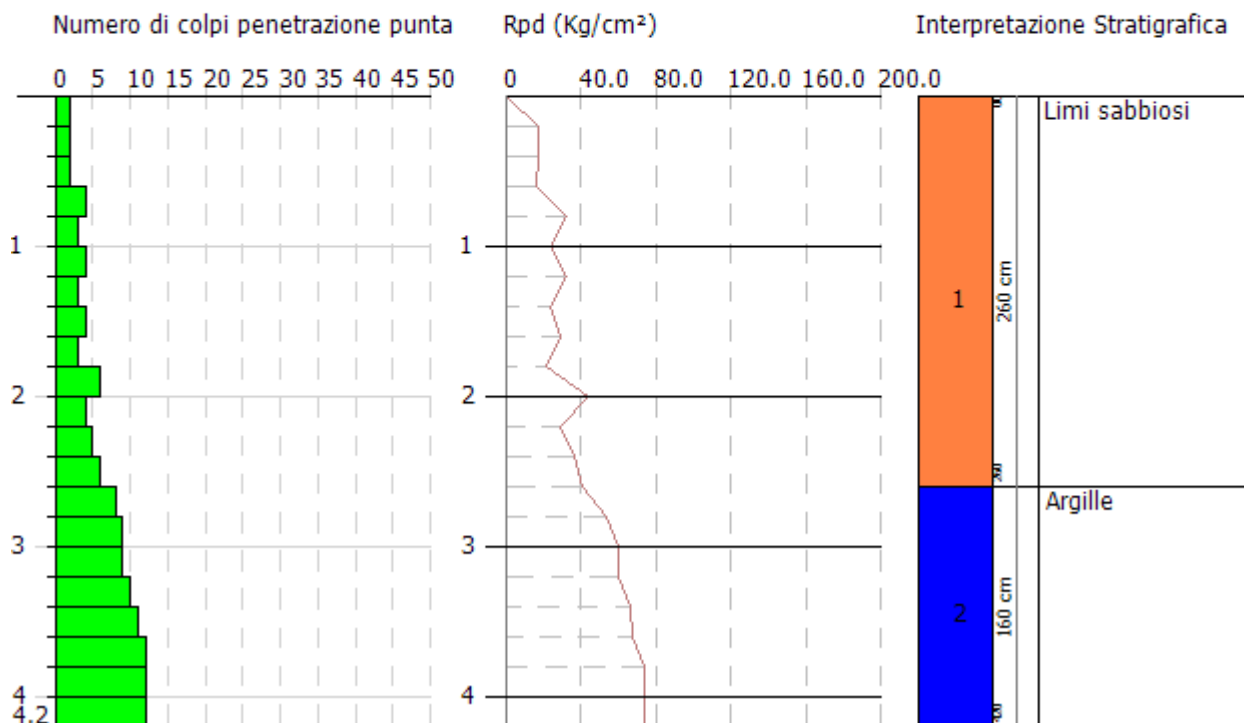
*Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 4*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 4  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

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

17/01/2023

Scala 1:50



---

**Prova penetrometrica – DPSH 5**

La prova DPSH 5 ha permesso di individuare le seguenti litologie:

- da 0.00 a 0.80 metri    Limi sabbiosi
- da 0.80 a 4.20 metri    Argille



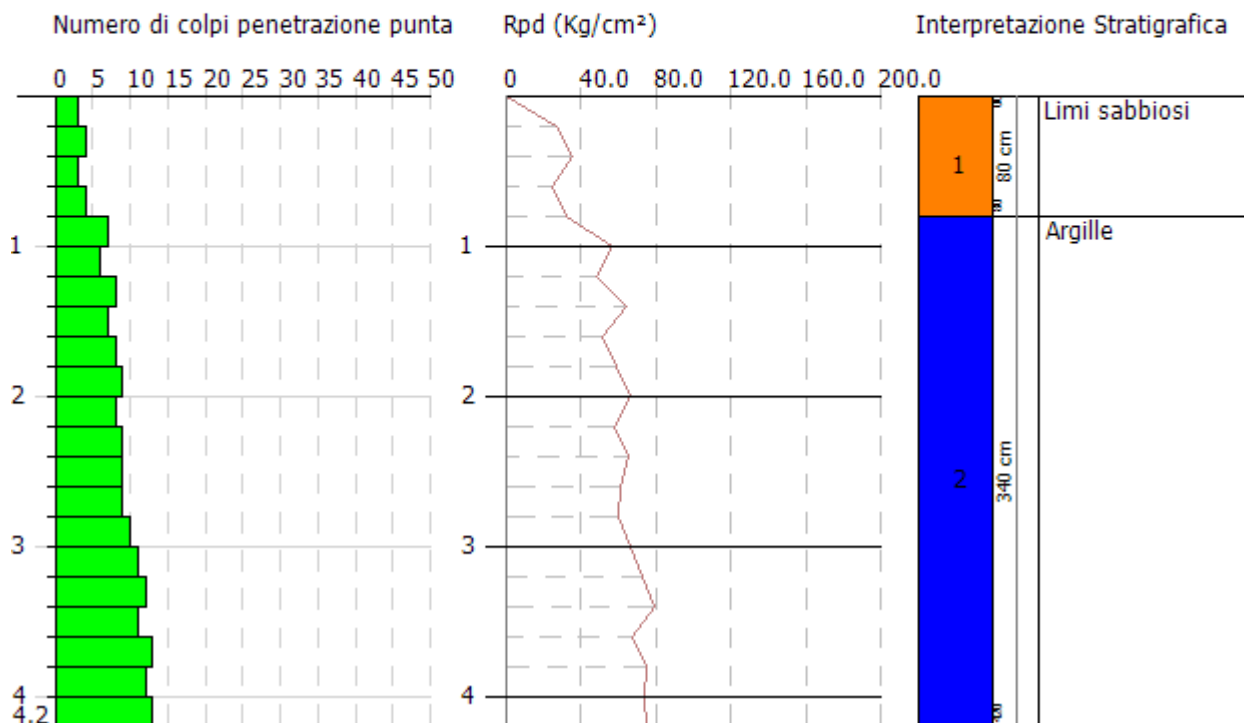
*Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 5*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 5  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

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

17/01/2023

Scala 1:50



---

**Prova penetrometrica – DPSH 6**

La prova DPSH 6 ha permesso di individuare le seguenti litologie:

- da 0.00 a 0.40 metri    Limi sabbiosi
- da 0.40 a 0.80 metri    Substrato litoide

*La prova ha raggiunto il rifiuto strumentale*



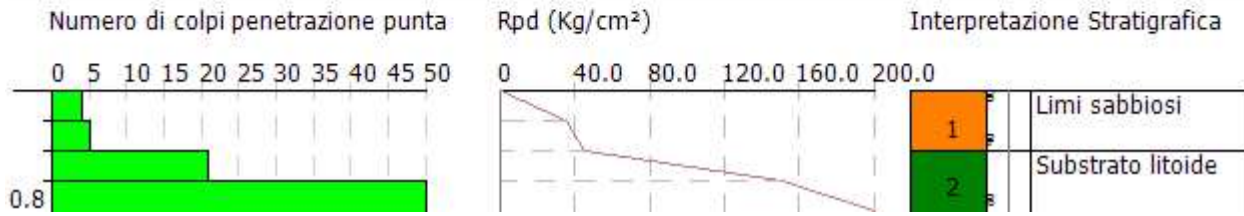
*Esecuzione prova penetrometrica dinamica continua – DPSH 6*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 6  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

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

17/01/2023

Scala 1:50



## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

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

### 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 <sup>2</sup>
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 (... sctpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) 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  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- 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:

<b>Tipo</b>	<b>Sigla di riferimento</b>	<b>peso della massa M (kg)</b>	<b>prof. max indagine battente (m)</b>
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  $A=10$  cm<sup>2</sup> 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  $A=10$  cm<sup>2</sup> 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  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> 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  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, 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.
$\delta$	passo di avanzamento.

## Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

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

## Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

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

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

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C <sub>s</sub>	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C <sub>d</sub>	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C <sub>r</sub>	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

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

$N_{spt}$  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 NATIONALE 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  $\tau$  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 ( $K_0$ )**

- 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/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>), 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/cm<sup>2</sup>)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- 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 17/01/2023

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 <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	4	0.847	32.67	38.57	1.63	1.93
0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	2	0.840	16.20	19.29	0.81	0.96
1.20	4	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.40	5	0.833	40.16	48.22	2.01	2.41
1.60	4	0.830	29.57	35.64	1.48	1.78
1.80	4	0.826	29.45	35.64	1.47	1.78
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	4	0.820	29.23	35.64	1.46	1.78
2.40	3	0.817	21.84	26.73	1.09	1.34
2.60	4	0.814	26.97	33.13	1.35	1.66
2.80	2	0.811	13.44	16.56	0.67	0.83
3.00	4	0.809	26.79	33.13	1.34	1.66
3.20	5	0.806	33.38	41.41	1.67	2.07
3.40	6	0.803	39.92	49.69	2.00	2.48
3.60	6	0.801	37.17	46.41	1.86	2.32
3.80	7	0.798	43.23	54.15	2.16	2.71
4.00	8	0.796	49.26	61.88	2.46	3.09
4.20	9	0.794	55.26	69.62	2.76	3.48

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
3.6	3.67	32.59	Incoerente	0	1.56	1.89	0.28	1.47	5.39	Limi sabbiosi
4.2	8	61.88	Coesivo	0	2.01	2.21	0.62	1.47	11.76	Argille

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

## TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Terzaghi-Peck	0.79

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Robertson (1983)	23.52

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	121.74

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Apollonia	117.60

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Meyerhof	2.01

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Meyerhof	2.21

## Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (2) Argille	11.76	3.60-4.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	136.26

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Meyerhof 1957	49.23

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Sowers (1961)	29.51

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Schultze-Menze nbach Sabbia fina	50.49

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	62.04

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Terzaghi-Peck 1948	1.42

## Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Terzaghi-Peck 1948	1.88

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	(A.G.I.)	0.34

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Ohsaki (Sabbie pulite)	316.67

## Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Ohta & Goto (1978) Limi	102.55

## Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Navfac 1971-1982	1.08

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.39	0.00-3.60	5.39	Robertson 1983	10.78

**PROVA ...DPSH 2**

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17/01/2023

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 <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	4	0.847	32.67	38.57	1.63	1.93
0.80	5	0.843	40.66	48.22	2.03	2.41
1.00	6	0.840	48.59	57.86	2.43	2.89
1.20	8	0.836	64.52	77.15	3.23	3.86
1.40	7	0.833	56.22	67.50	2.81	3.38
1.60	8	0.830	59.14	71.29	2.96	3.56
1.80	6	0.826	44.18	53.47	2.21	2.67
2.00	9	0.823	66.02	80.20	3.30	4.01
2.20	9	0.820	65.77	80.20	3.29	4.01
2.40	8	0.817	58.25	71.29	2.91	3.56
2.60	9	0.814	60.69	74.54	3.03	3.73
2.80	10	0.811	67.20	82.82	3.36	4.14
3.00	11	0.809	73.67	91.10	3.68	4.55
3.20	12	0.806	80.10	99.38	4.01	4.97
3.40	12	0.803	79.84	99.38	3.99	4.97
3.60	12	0.801	74.34	92.83	3.72	4.64
3.80	13	0.748	75.26	100.56	3.76	5.03
4.00	14	0.746	80.79	108.30	4.04	5.41
4.20	15	0.744	86.29	116.03	4.31	5.80

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
0.4	2	21.01	Incoerente	0	1.45	1.87	0.03	1.47	2.94	Limi sabbiosi
4.2	9.37	79.51	Coesivo	0	2.05	2.25	0.45	1.47	13.77	Argille

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2

## TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Terzaghi-Peck	0.93

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Robertson (1983)	27.54

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	142.24

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Apollonia	137.70

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Meyerhof	2.05

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Meyerhof	2.25

## Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (2) Argille	13.77	0.40-4.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	126.46

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Meyerhof 1957	42.17

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Sowers (1961)	28.82

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Schultze-Menze nbach Sabbia fina	42.40

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	51.11

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Classificazione A.G.I	SCIOLTO



## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Terzaghi-Peck 1948	1.38

## Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Terzaghi-Peck 1948	1.86

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	(A.G.I.)	0.35

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Ohsaki (Sabbie pulite)	179.13

## Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Ohta & Goto (1978) Limi	60.43

## Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Navfac 1971-1982	0.50

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	2.94	0.00-0.40	2.94	Robertson 1983	5.88

**PROVA ...DPSH 3**

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17/01/2023

Profondita' prova 1.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	5	0.851	44.70	52.54	2.23	2.63
0.60	7	0.847	57.18	67.50	2.86	3.38
0.80	15	0.793	114.76	144.65	5.74	7.23
1.00	50	0.640	308.47	482.17	15.42	24.11

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	5.33	54.02	Incoerente	0	1.65	1.9	0.05	1.47	7.84	Limi sabbiosi
1	32.5	313.41	Incoerente	0	2.23	2.15	0.14	1.47	47.78	Substrato litoide

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 3****TERRENI INCOERENTI**

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Meyerhof 1957	67.92
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Meyerhof 1957	100

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Sowers (1961)	30.2
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Sowers (1961)	41.38

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	58.57
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Schultze-Menzenbach Sabbia media	217.61

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	72.97
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	251.10

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Terzaghi-Peck 1948	1.45
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Terzaghi-Peck 1948	1.84

## Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Terzaghi-Peck 1948	1.90
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Terzaghi-Peck 1948	2.14

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	(A.G.I.)	0.26

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Ohsaki (Sabbie pulite)	450.37
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Ohsaki (Sabbie pulite)	2462.66

## Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Ohta & Goto (1978) Limi	77.43
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Ohta & Goto (1978) Limi	127.92

## Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Navfac 1971-1982	1.63
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Navfac 1971-1982	7.87

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	7.84	0.00-0.60	7.84	Robertson 1983	15.68
Strato (2) Substrato litoide	47.78	0.60-1.00	47.78	Robertson 1983	95.56

**PROVA ...DPSH 4**

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17/01/2023

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 <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	2	0.847	16.34	19.29	0.82	0.96
0.80	4	0.843	32.53	38.57	1.63	1.93
1.00	3	0.840	24.29	28.93	1.21	1.45
1.20	4	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.40	3	0.833	24.10	28.93	1.20	1.45
1.60	4	0.830	29.57	35.64	1.48	1.78
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	6	0.823	44.01	53.47	2.20	2.67
2.20	4	0.820	29.23	35.64	1.46	1.78
2.40	5	0.817	36.41	44.55	1.82	2.23
2.60	6	0.814	40.46	49.69	2.02	2.48
2.80	8	0.811	53.76	66.25	2.69	3.31
3.00	9	0.809	60.27	74.54	3.01	3.73
3.20	9	0.806	60.08	74.54	3.00	3.73
3.40	10	0.803	66.54	82.82	3.33	4.14
3.60	11	0.801	68.15	85.09	3.41	4.25
3.80	12	0.798	74.11	92.83	3.71	4.64
4.00	12	0.796	73.89	92.83	3.69	4.64
4.20	12	0.794	73.68	92.83	3.68	4.64

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizi one
2.6	3.69	34	Incoerente	0	1.56	1.89	0.2	1.47	5.42	Limi sabbiosi
4.2	10.38	82.71	Coesivo	0	2.07	2.28	0.57	1.47	15.26	Argille

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 4

## TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Terzaghi-Peck	1.03

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Robertson (1983)	30.52

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	157.44

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Apollonia	152.60

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Meyerhof	2.07

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Meyerhof	2.28

## Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (2) Argille	15.26	2.60-4.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	138.82

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Meyerhof 1957	51.45

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Sowers (1961)	29.52

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Schultze-Menze nbach Sabbia fina	50.59

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	62.17

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO



## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Terzaghi-Peck 1948	1.42

## Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Terzaghi-Peck 1948	1.88

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	(A.G.I.)	0.34

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Ohsaki (Sabbie pulite)	318.33

## Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Ohta & Goto (1978) Limi	96.4

## Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Navfac 1971-1982	1.08

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.42	0.00-2.60	5.42	Robertson 1983	10.84

**PROVA ...DPSH 5**

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17/01/2023

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 <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	3	0.855	26.94	31.52	1.35	1.58
0.40	4	0.851	35.76	42.03	1.79	2.10
0.60	3	0.847	24.50	28.93	1.23	1.45
0.80	4	0.843	32.53	38.57	1.63	1.93
1.00	7	0.840	56.69	67.50	2.83	3.38
1.20	6	0.836	48.39	57.86	2.42	2.89
1.40	8	0.833	64.25	77.15	3.21	3.86
1.60	7	0.830	51.74	62.38	2.59	3.12
1.80	8	0.826	58.91	71.29	2.95	3.56
2.00	9	0.823	66.02	80.20	3.30	4.01
2.20	8	0.820	58.46	71.29	2.92	3.56
2.40	9	0.817	65.53	80.20	3.28	4.01
2.60	9	0.814	60.69	74.54	3.03	3.73
2.80	9	0.811	60.48	74.54	3.02	3.73
3.00	10	0.809	66.97	82.82	3.35	4.14
3.20	11	0.806	73.43	91.10	3.67	4.55
3.40	12	0.803	79.84	99.38	3.99	4.97
3.60	11	0.801	68.15	85.09	3.41	4.25
3.80	13	0.748	75.26	100.56	3.76	5.03
4.00	12	0.796	73.89	92.83	3.69	4.64
4.20	13	0.744	74.79	100.56	3.74	5.03

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	3.5	35.26	Incoerente	0	1.54	1.89	0.06	1.47	5.14	Limi sabbiosi
4.2	9.53	80.55	Coesivo	0	2.05	2.25	0.47	1.47	14.01	Argille

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 5

## TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Terzaghi-Peck	0.95

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Robertson (1983)	28.02

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	144.69

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Apollonia	140.10

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Meyerhof	2.05

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Meyerhof	2.25

## Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (2) Argille	14.01	0.80-4.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	128.9

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Meyerhof 1957	54.56

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Sowers (1961)	29.44

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Schultze-Menze nbach Sabbia fina	49.66

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	60.92

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Terzaghi-Peck 1948	1.41

## Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Terzaghi-Peck 1948	1.88

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	(A.G.I.)	0.34

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Ohsaki (Sabbie pulite)	302.84

## Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Ohta & Goto (1978) Limi	76.09

## Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Navfac 1971-1982	1.02

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	5.14	0.00-0.80	5.14	Robertson 1983	10.28

**PROVA ...DPSH 6**

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17/01/2023

Profondita' prova .80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	5	0.851	44.70	52.54	2.23	2.63
0.60	21	0.747	151.28	202.51	7.56	10.13
0.80	50	0.643	310.20	482.17	15.51	24.11

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
0.4	4.5	47.28	Incoerente	0	1.61	1.9	0.03	1.47	6.62	Limi sabbiosi
0.8	35.5	342.34	Incoerente	0	2.25	2.15	0.11	1.47	52.19	Substrato litoide

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 6****TERRENI INCOERENTI**

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Meyerhof 1957	63.14
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Meyerhof 1957	100

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Sowers (1961)	29.85
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Sowers (1961)	42.61

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	54.55
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Schultze-Menzenbach Sabbia media	237.45

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	67.53
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	270.77

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

## Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Terzaghi-Peck 1948	1.43
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Terzaghi-Peck 1948	1.87

## Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Terzaghi-Peck 1948	1.89
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Terzaghi-Peck 1948	2.16

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	(A.G.I.)	0.25

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Ohsaki (Sabbie pulite)	384.17
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Ohsaki (Sabbie pulite)	2675.75

## Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Ohta & Goto (1978) Limi	69.54
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Ohta & Goto (1978) Limi	122.87



## Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Navfac 1971-1982	1.36
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Navfac 1971-1982	8.50

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limi sabbiosi	6.62	0.00-0.40	6.62	Robertson 1983	13.24
Strato (2) Substrato litoide	52.19	0.40-0.80	52.19	Robertson 1983	104.38

---

### ***Profilo sismico 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.

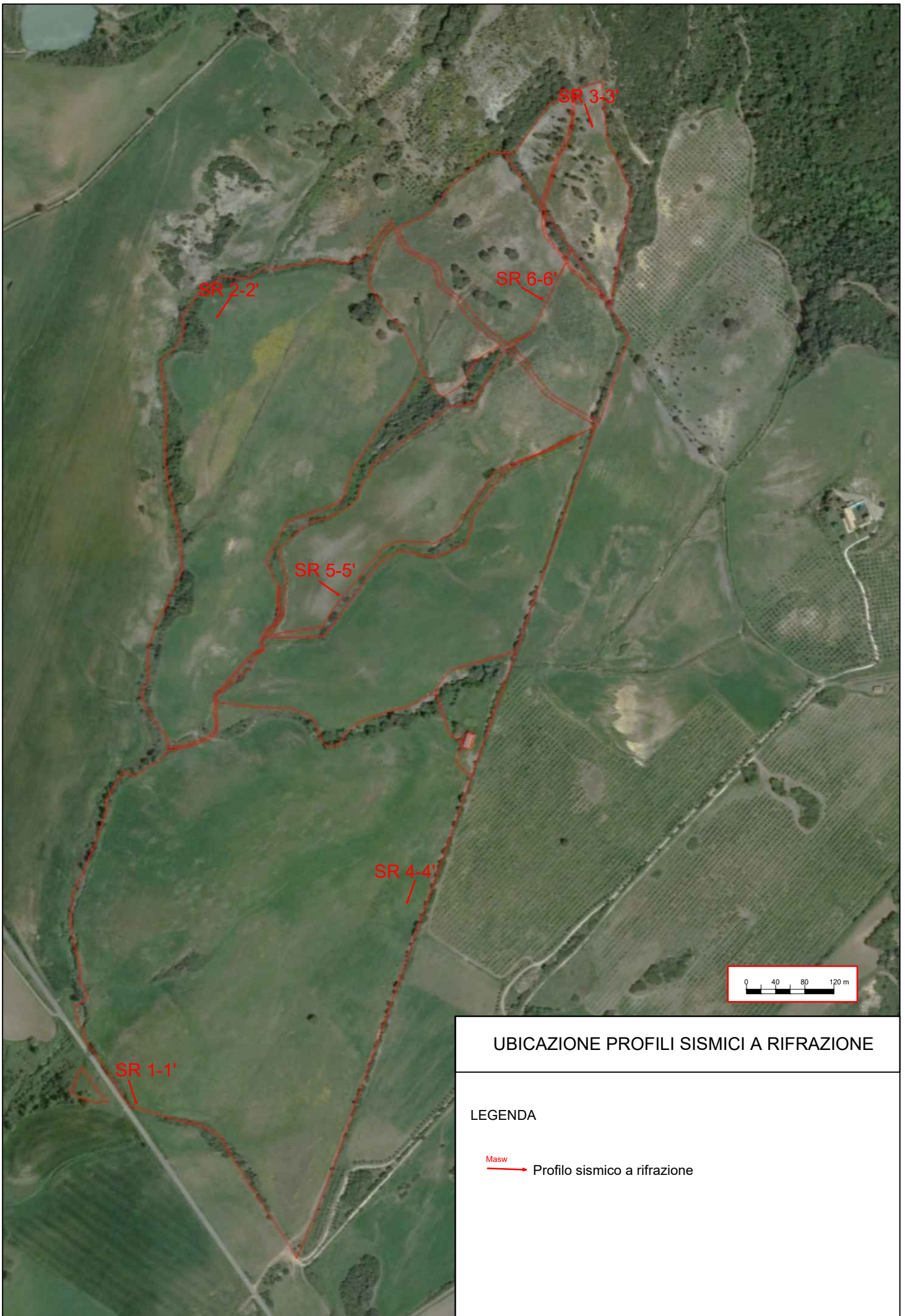
I dati così ottenuti si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge di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

Il profilo sismico è stato eseguito adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri.

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.

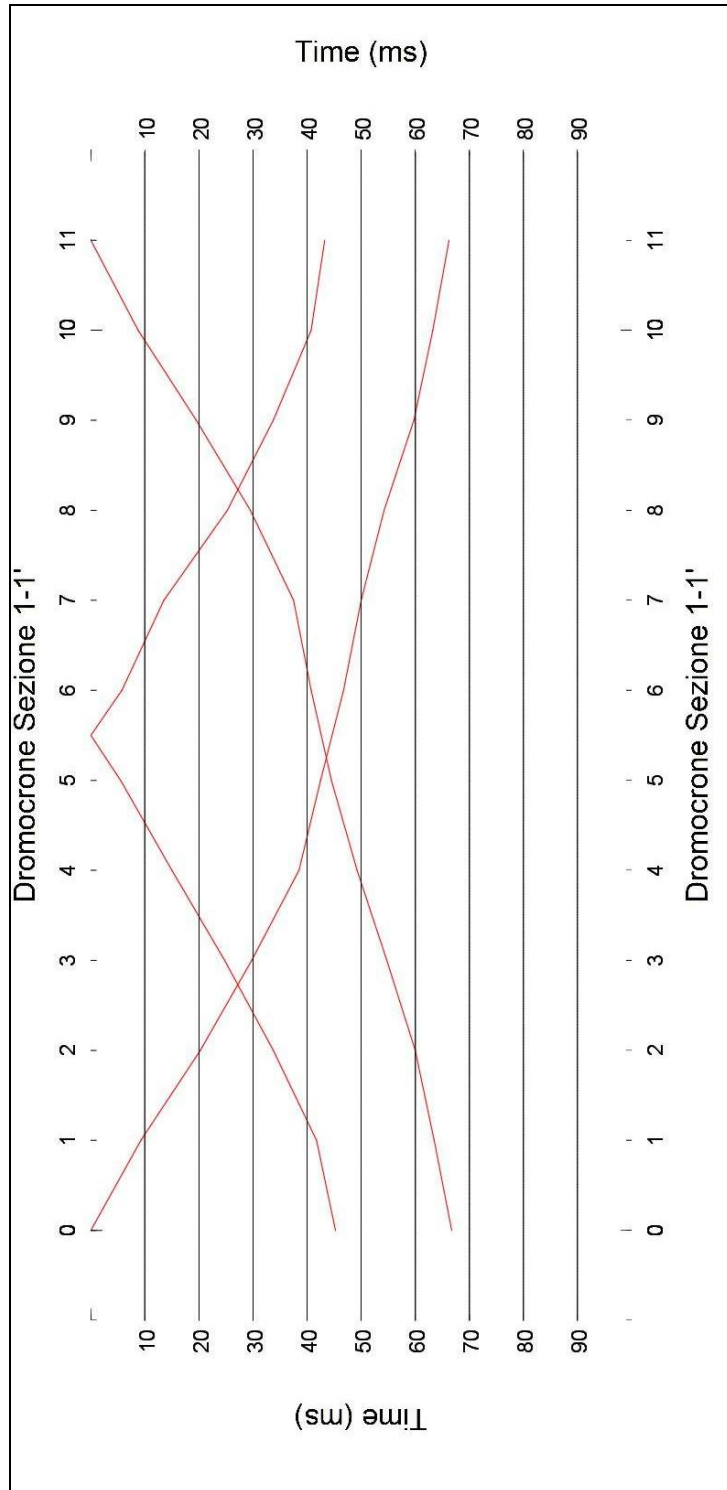


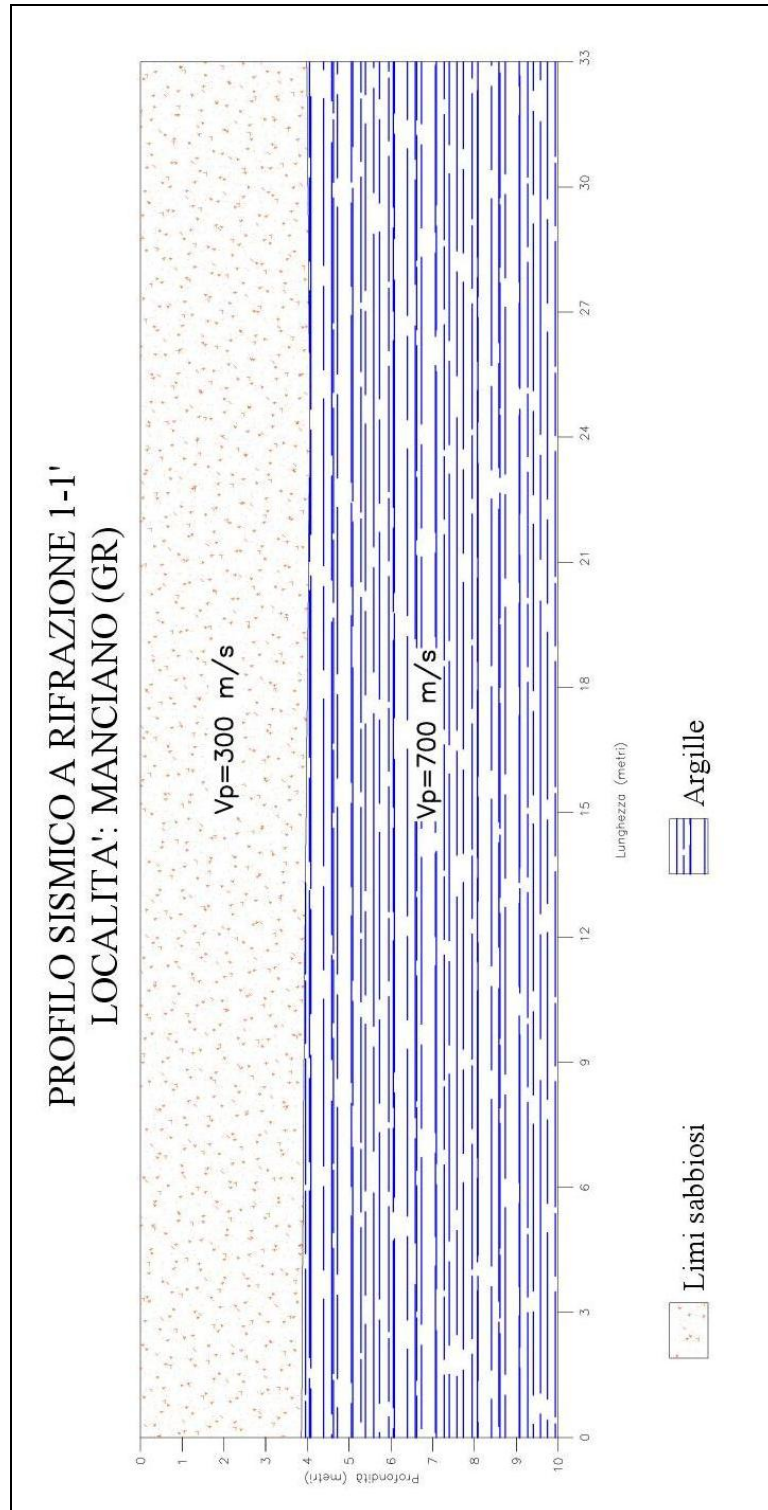
### Profilo sismico SR 1-1'

Il profilo sismico a rifrazione 1-1' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di 4.0 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a dei limi sabbiosi; 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.



*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)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	700	250	27	0.02	1.70	117	0.36

$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

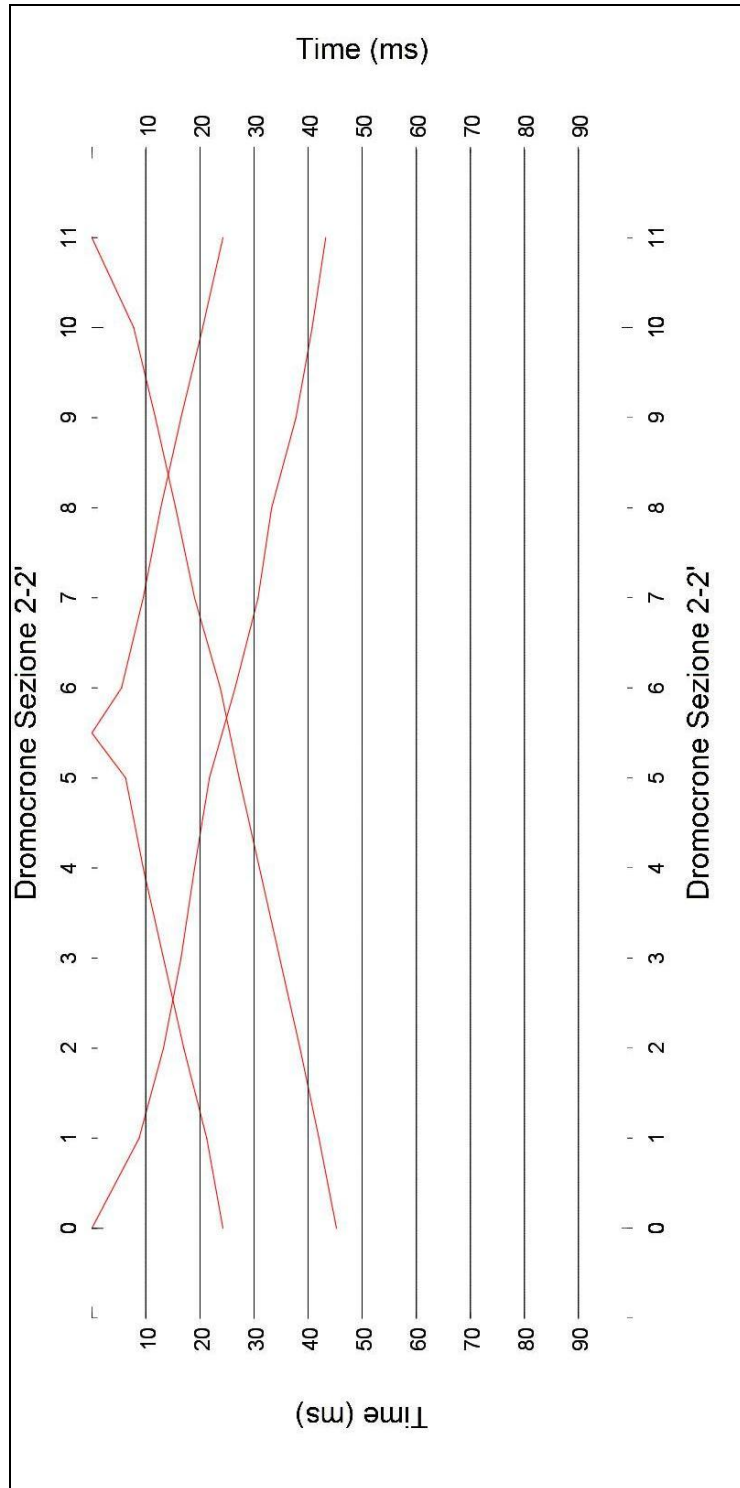
### Profilo sismico SR 2-2'

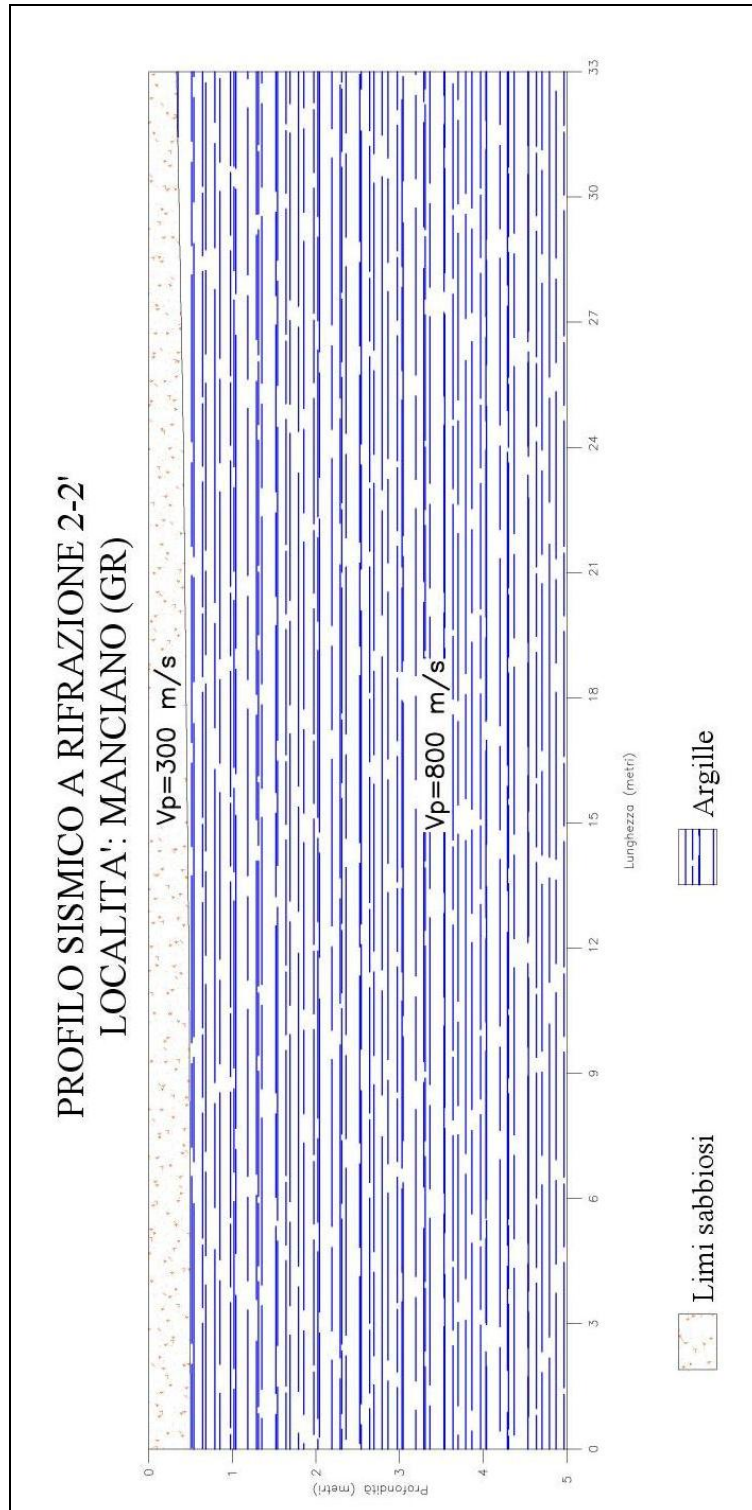
Il profilo sismico a rifrazione 2-2' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di 0.5 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a dei limi sabbiosi; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 800 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille.



*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)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	800	280	27	0.02	1.75	117	0.36

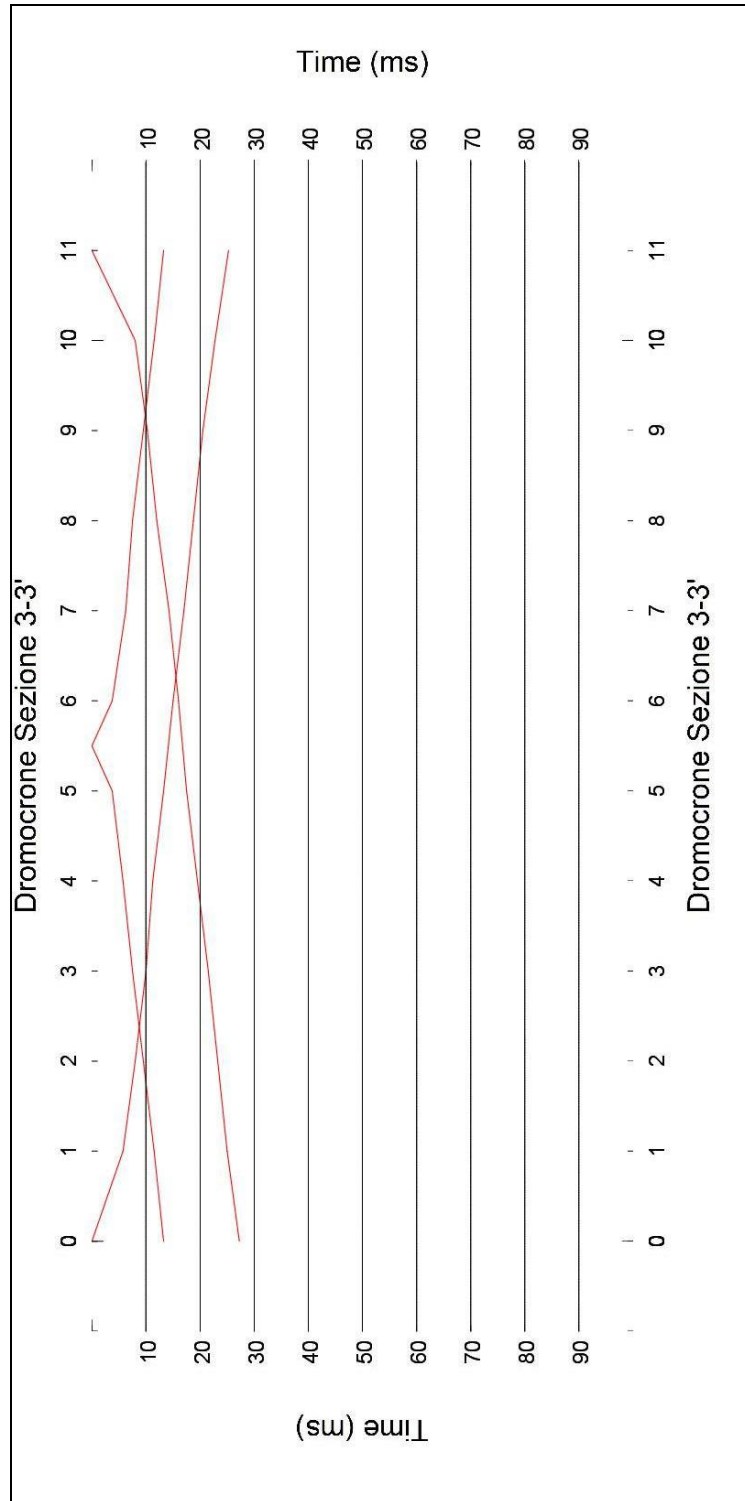
$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

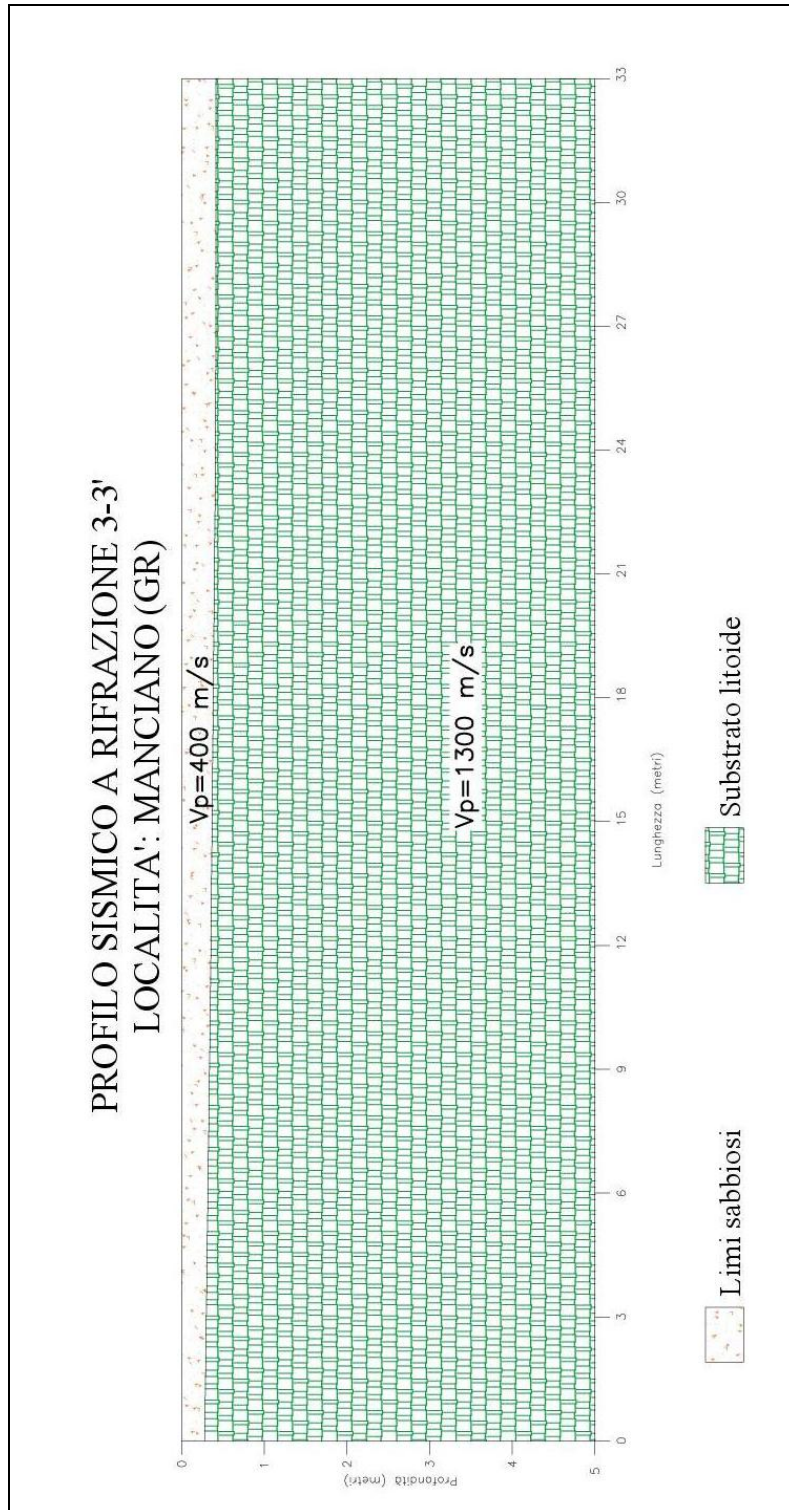
### Profilo sismico SR 3-3'

Il profilo sismico a rifrazione 3-3' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di 0.3 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 400 m/sec è riconducibile a dei limi sabbiosi; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 1300 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una terreno litoide debolmente cementato.



*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)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	400	180	24	0.00	1.5	72	0.39
2	1300	500	30	0.03	2.00	251	0.33

$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

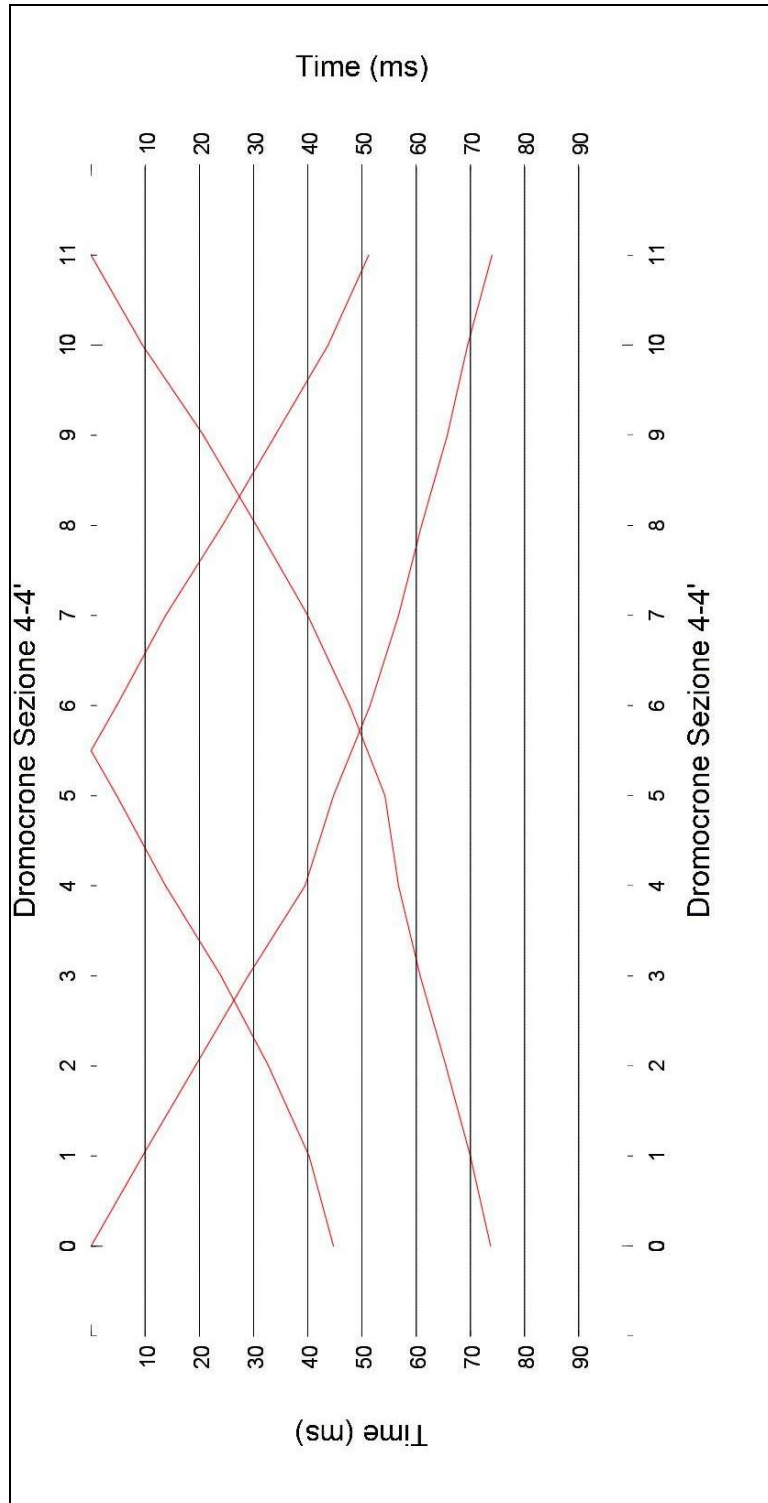
### Profilo sismico SR 4-4'

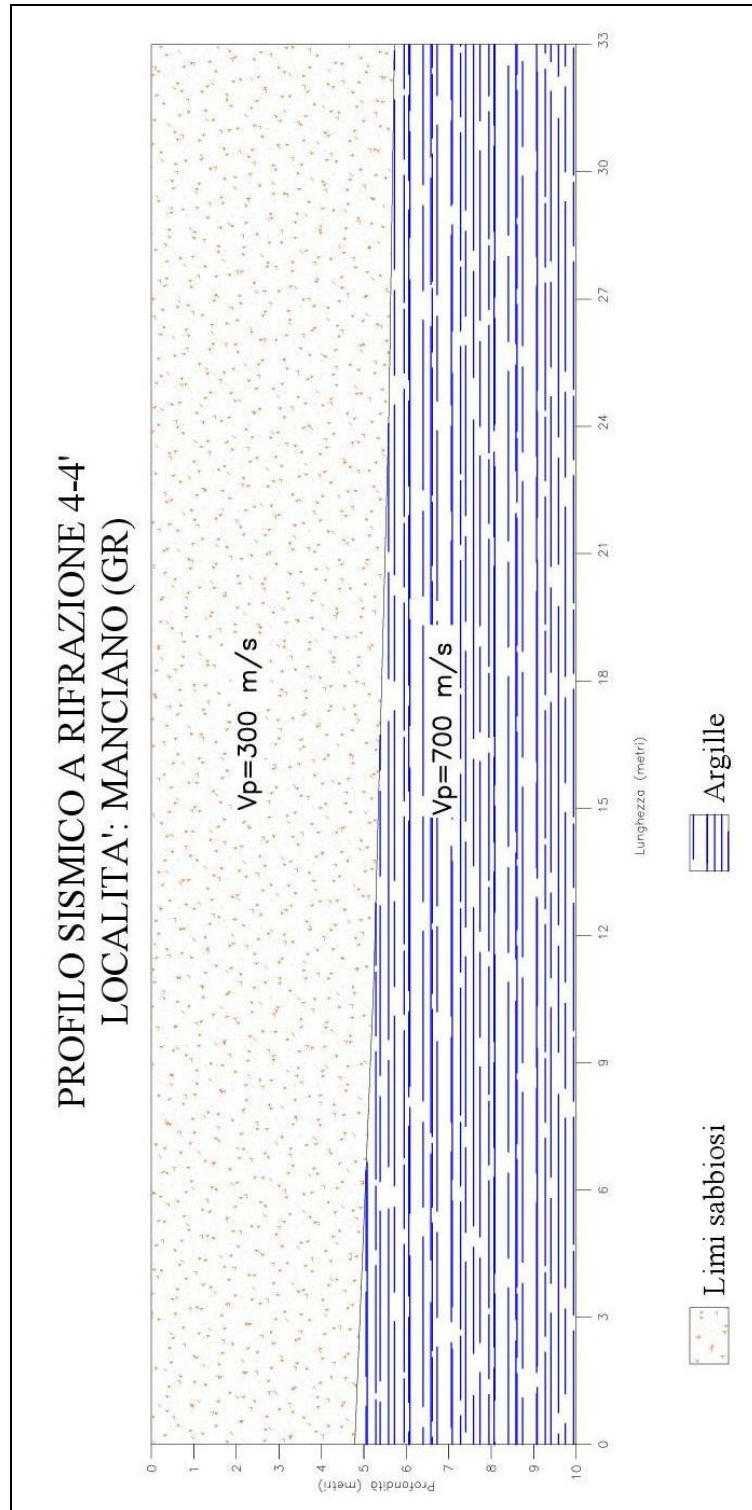
Il profilo sismico a rifrazione 4-4' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di 5.7 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a dei limi sabbiosi; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 700 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da argille.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 4-4'*







Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cmc)	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	700	250	27	0.02	1.70	117	0.36

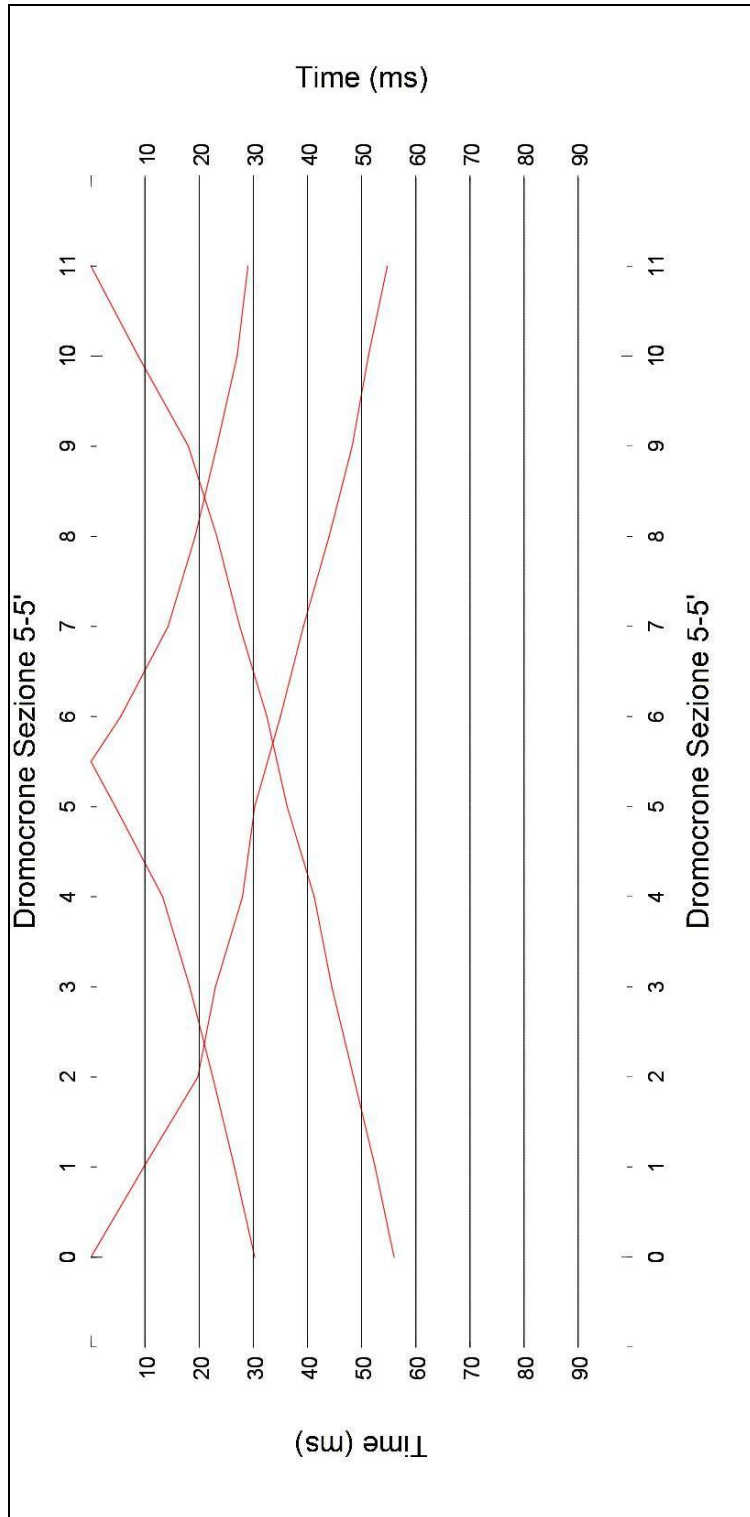
Vp = vel. longit.; Vs = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

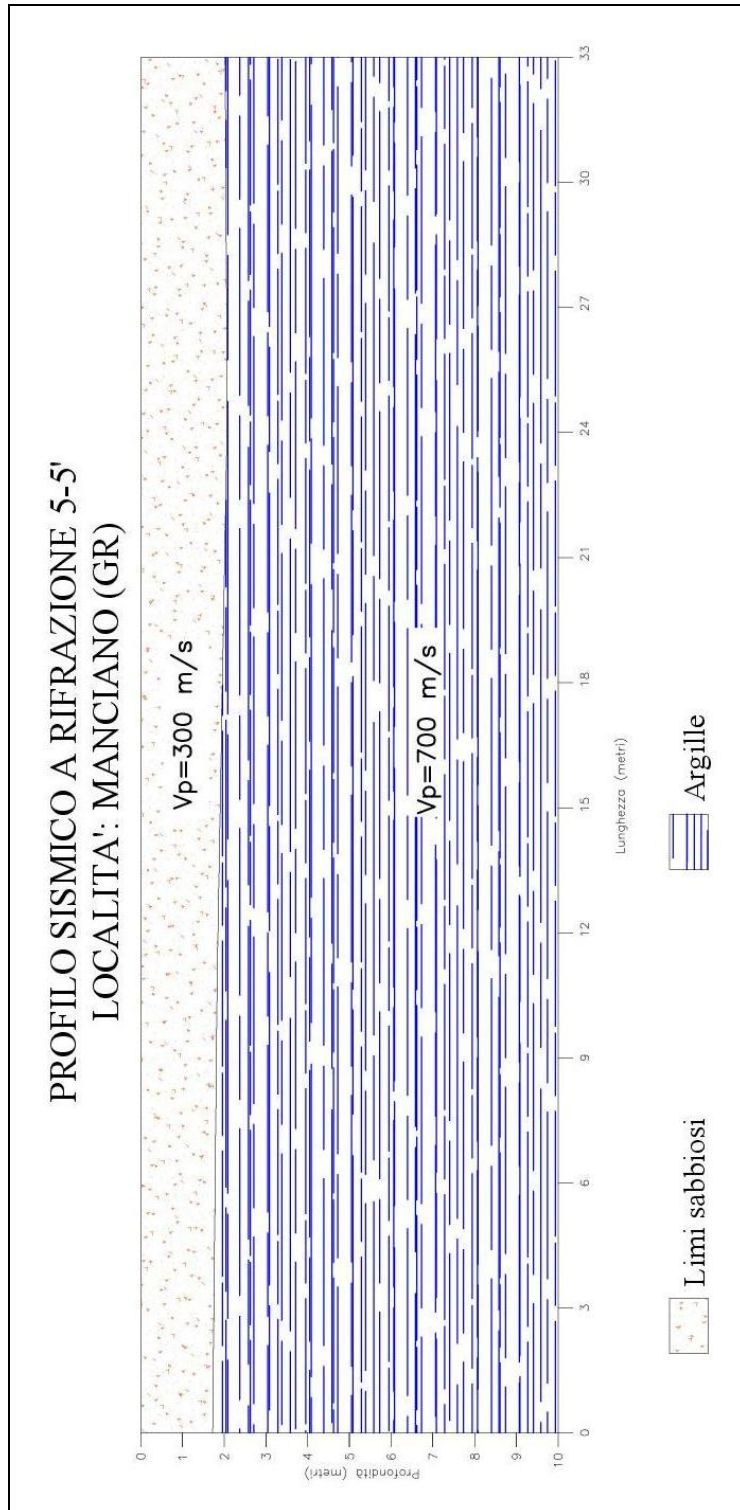
### Profilo sismico SR 5-5'

Il profilo sismico a rifrazione 5-5' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di 2.0 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a dei limi sabbiosi; 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.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 5-5'*





Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cmc)	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	700	250	27	0.02	1.70	117	0.36

Vp = vel. longit.; Vs = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

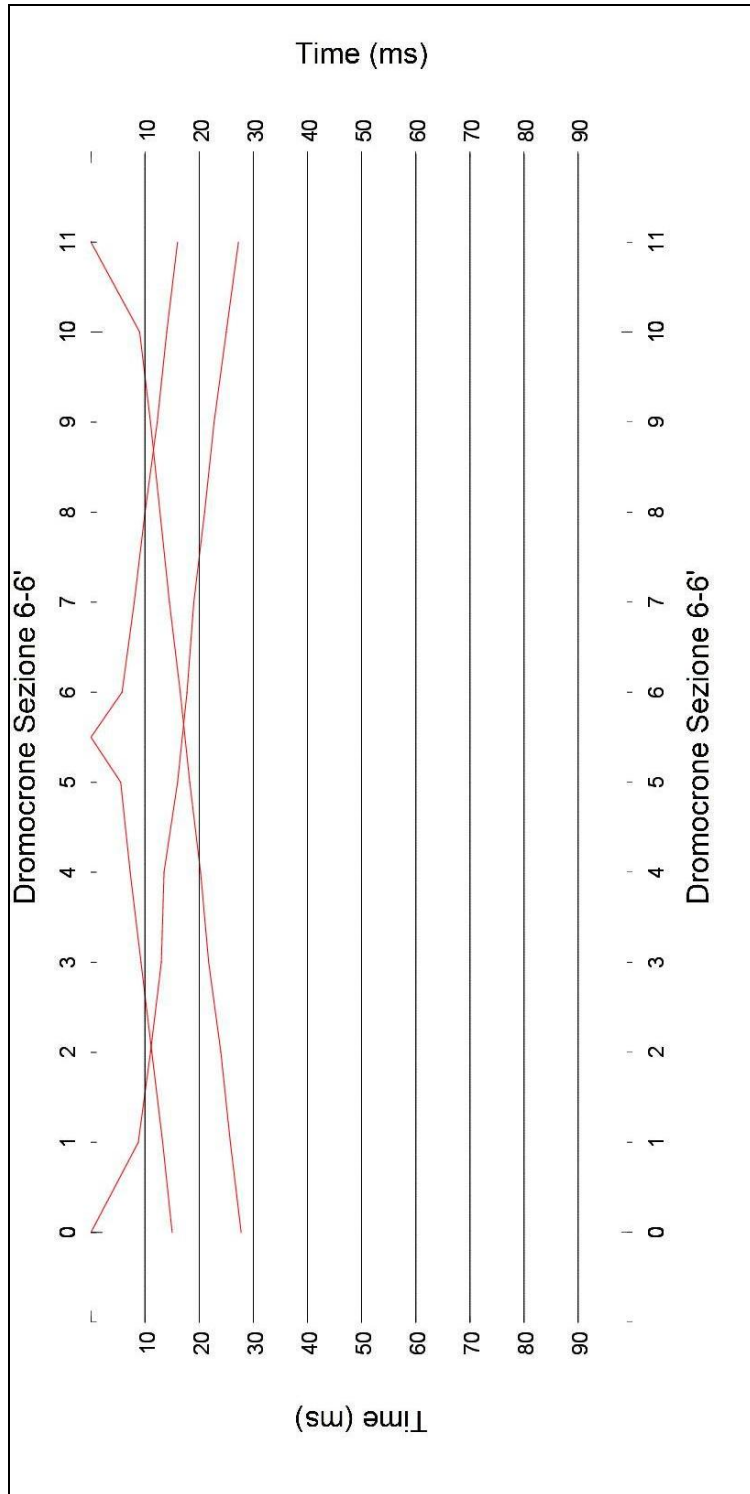
### Profilo sismico SR 6-6'

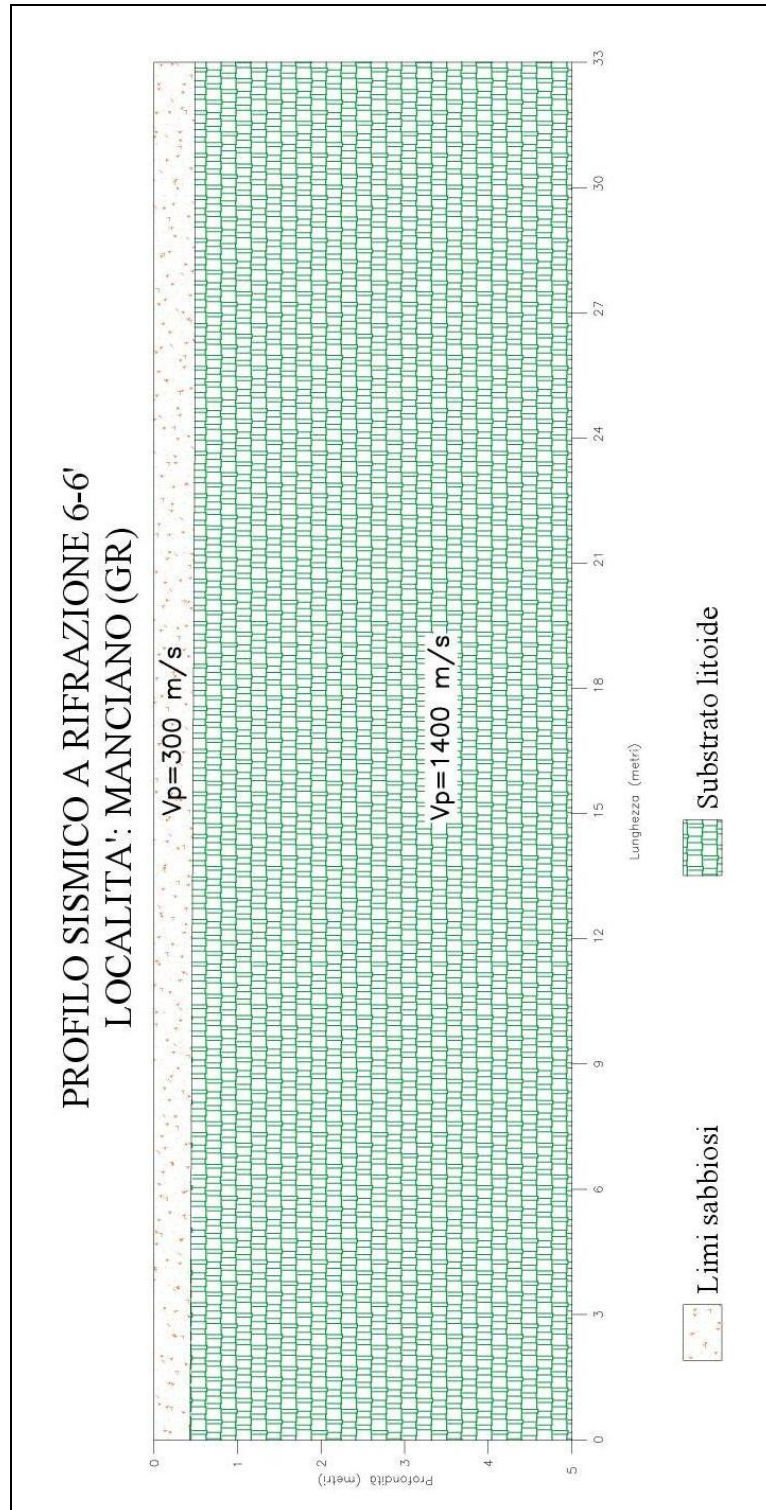
Il profilo sismico a rifrazione 6-6' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di 0.3 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a dei limi sabbiosi; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 1300 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una terreno litoide debolmente cementato.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 6-6'*







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

Strato	$V_p$ (m/sec)	$V_s$ (m/sec)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	1400	530	30	0.03	2.05	251	0.33

$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

---

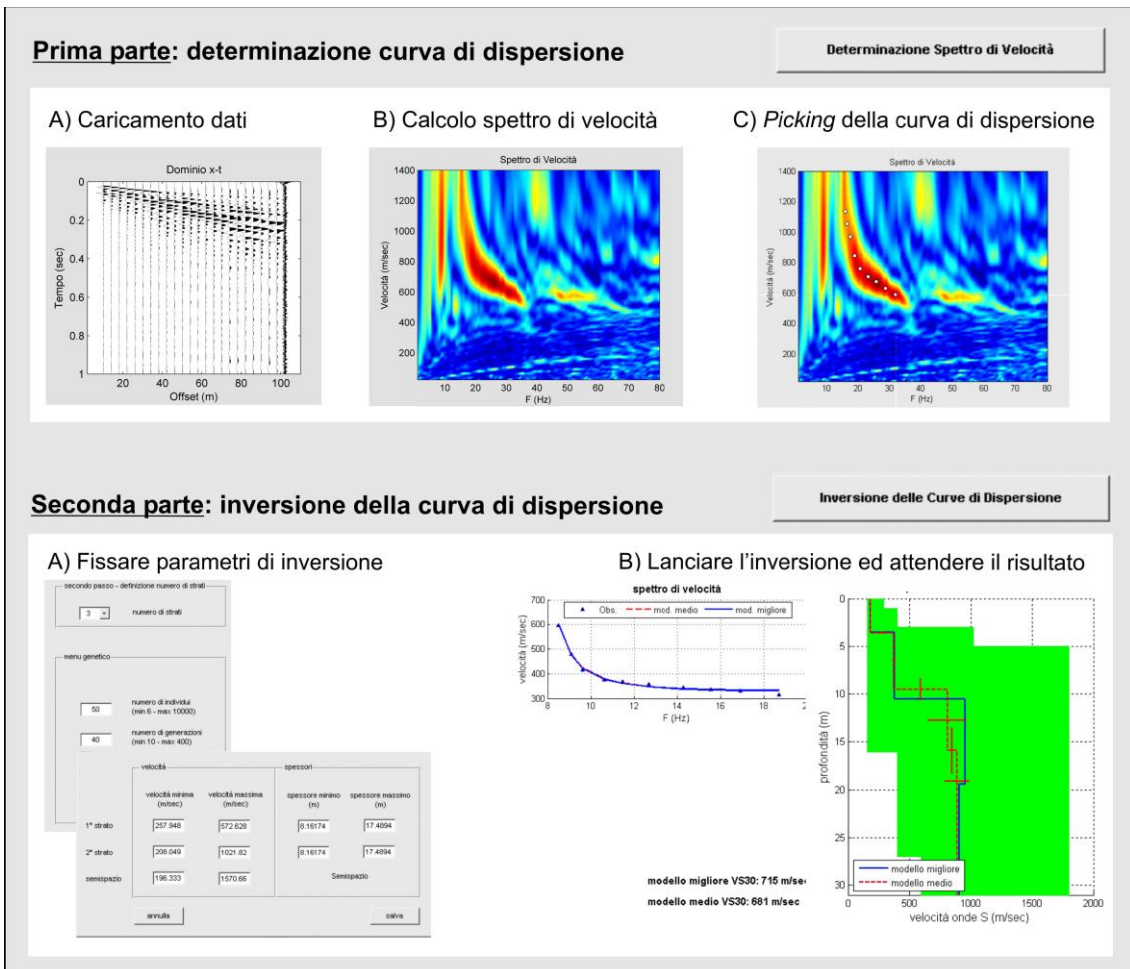
## ***Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)***

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

---

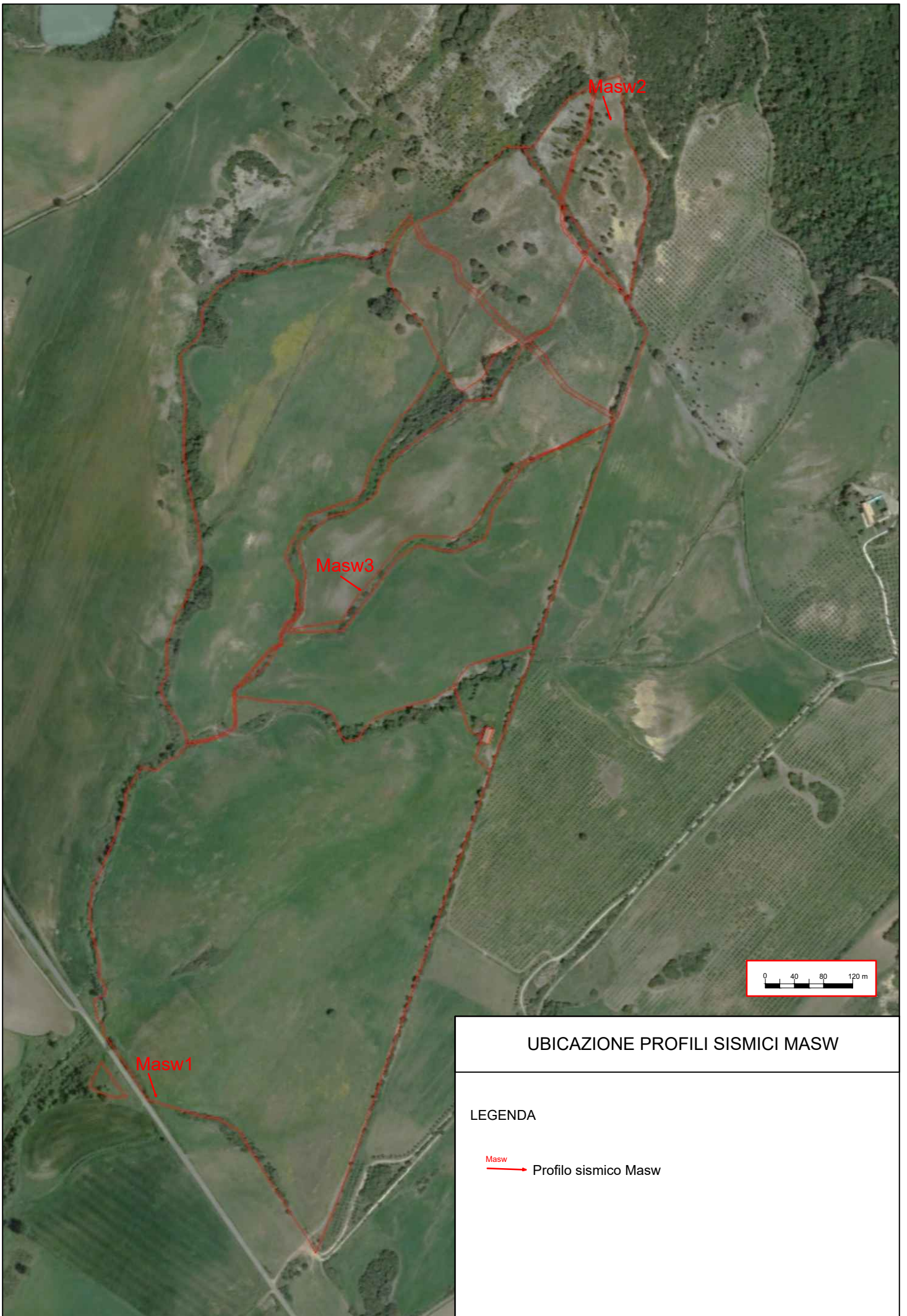
modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

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.

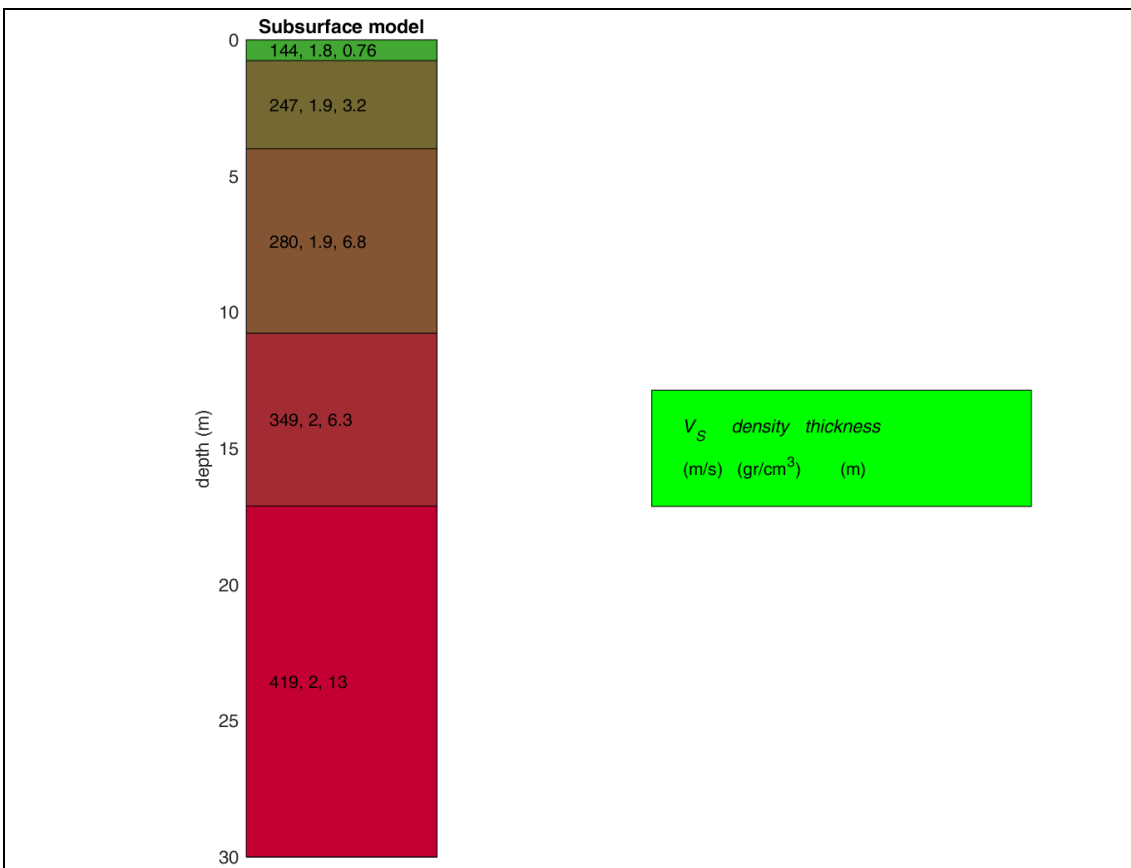
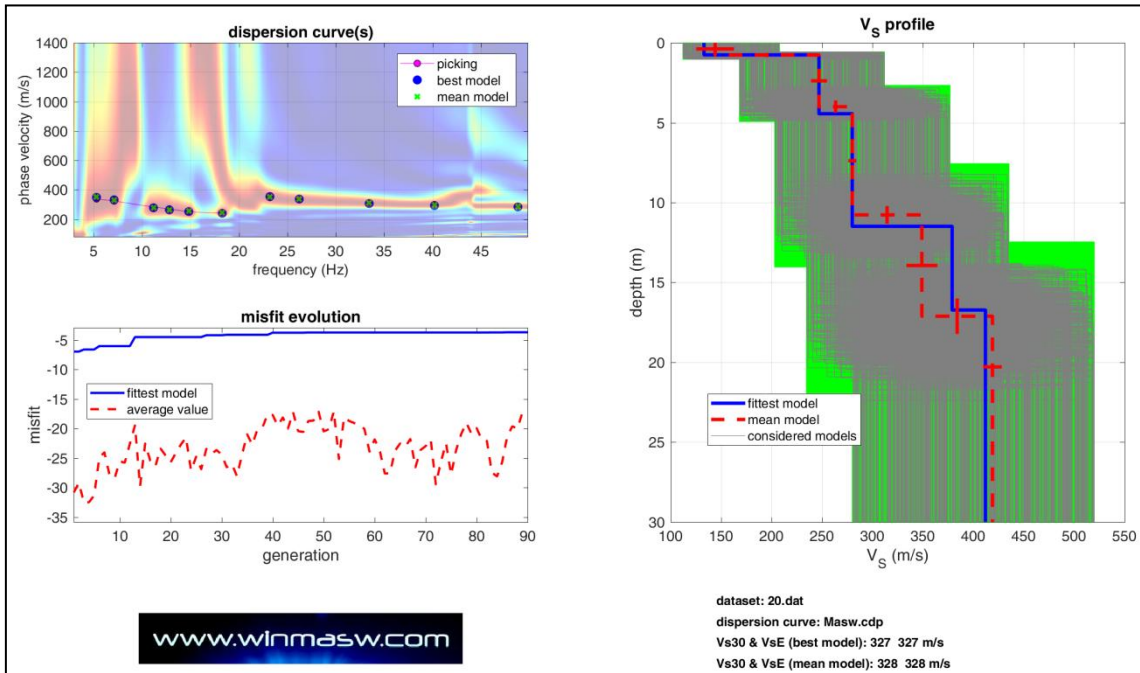
Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

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

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

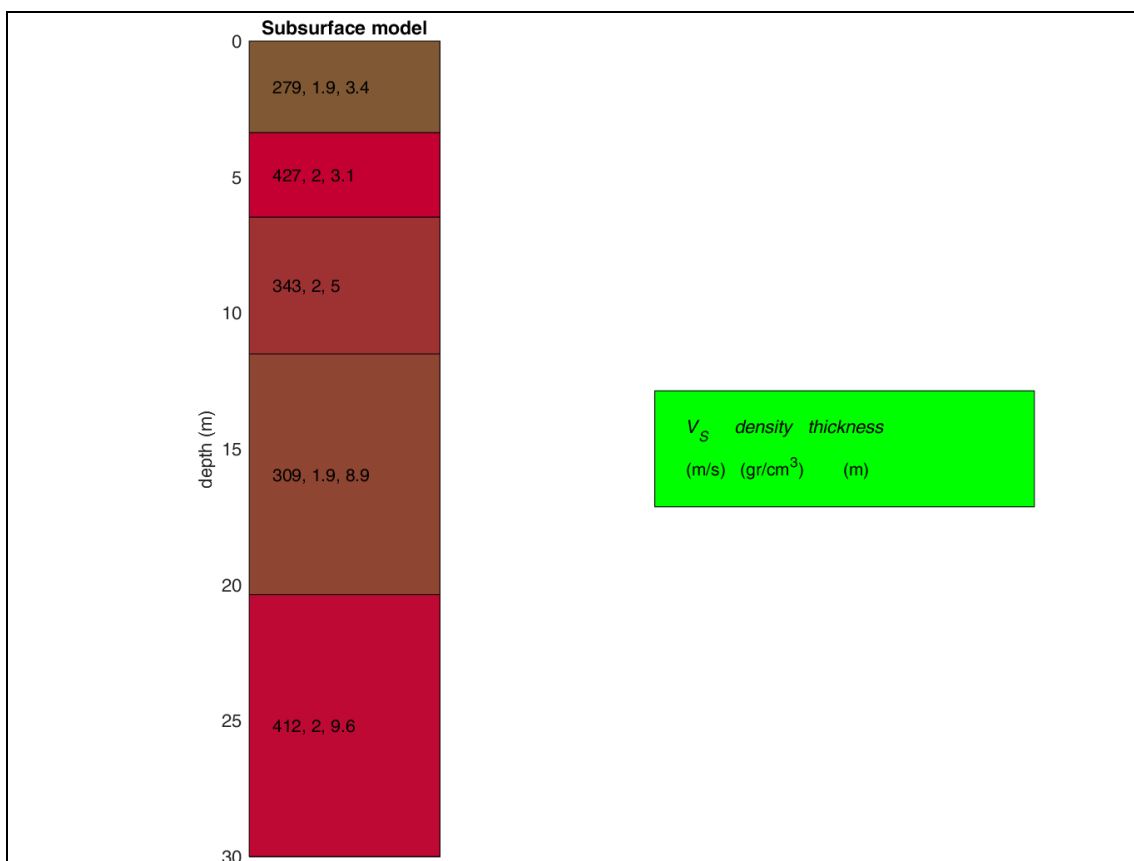
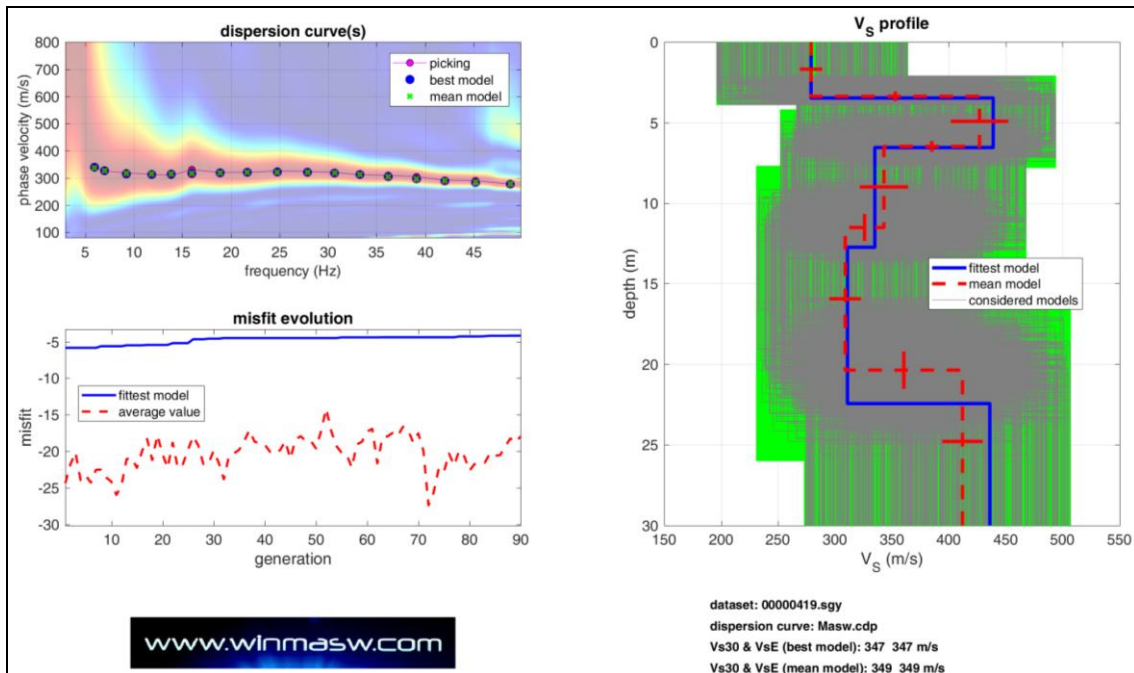


## Profilo sismico Masw 1

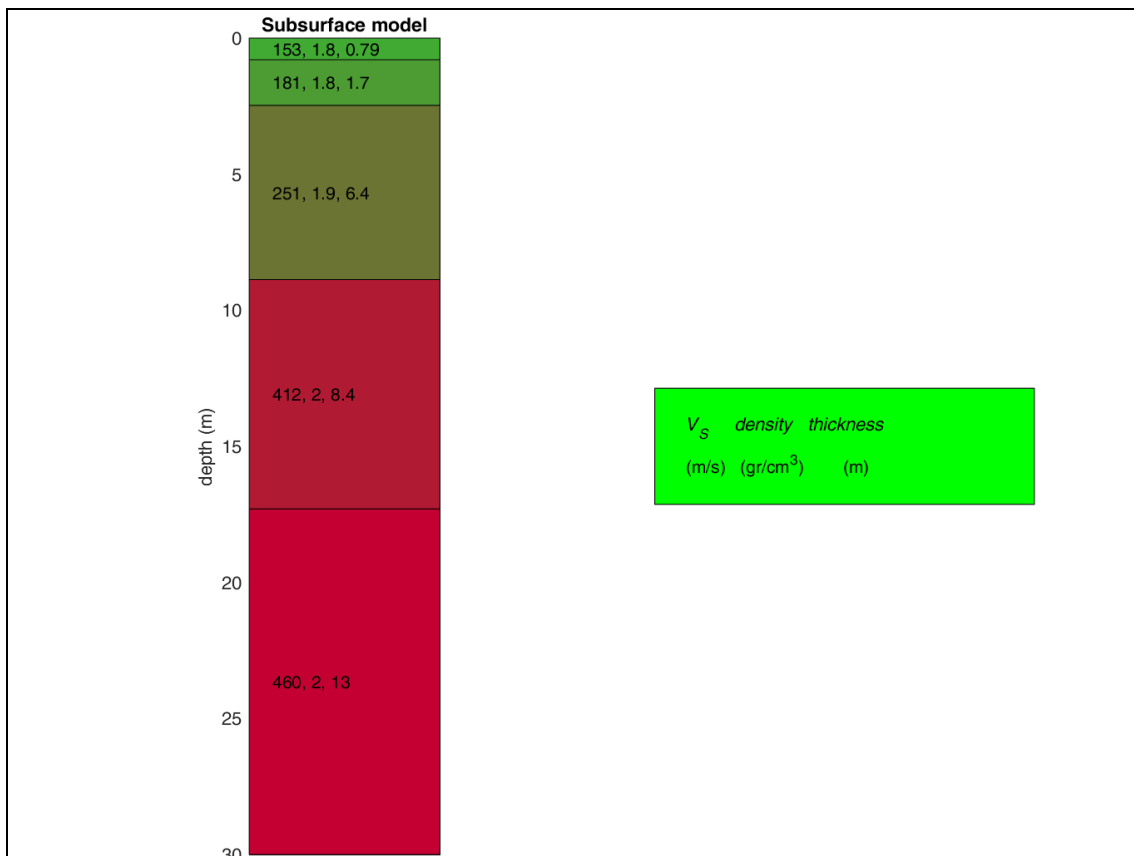
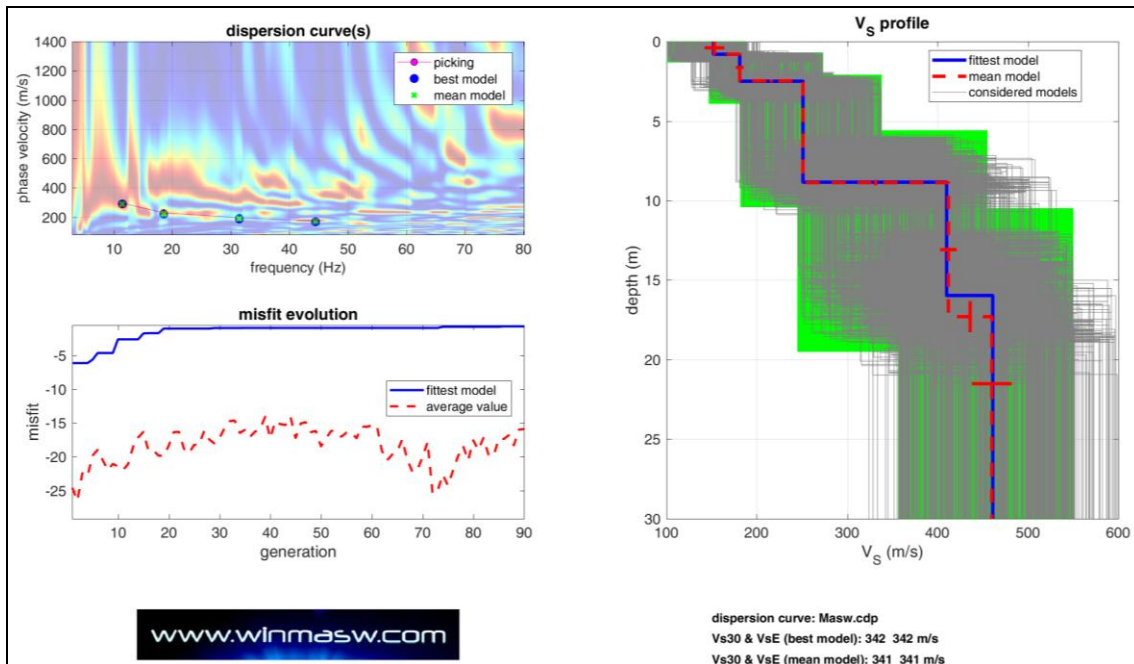




## Profilo sismico Masw 2



## 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 = 328 m/sec**

**Masw 2 = 349 m/sec**

**Masw 3 = 341 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

