



Comune di Santa Croce di Magliano, Rotello
Provincia di Campobasso, Regione Molise

SANTA CROCE SOLAR PARK S.R.L.

Viale Francesco Restelli 3/7
20124 Milano (MI)
PEC: nrgsolar9@pec.it

Impianto Agrivoltaico "SANTA CROCE 27.0" SCDM27.0_24 – RELAZIONE GEOLOGICA

IL TECNICO	IL PROPONENTE
<p>GEOLOGO</p> <p>Francesco CALDARONE Ordine Geologi della Regione Puglia - n. 507 geol.caldarone@gmail.com</p> 	<p>SANTA CROCE SOLAR PARK S.R.L. Viale Francesco Restelli 3/7 20124 Milano (MI) P. IVA 02372270682 PEC: nrgsolar9@pec.it</p>
<p>RESPONSABILE TECNICO BELL FIX PLUS SRL</p> <p>Cosimo TOTARO Ordine Ingegneri della Provincia di Brindisi - n. 1718 elettrico@bellfixplus.it</p> 	

NOVEMBRE 2023

Indice

	Pag.
1. Premessa.....	2
2. Collocazione geografica dell'area	3
3. Inquadramento morfologico e strutturale	7
4. Inquadramento geologico	9
4.1 “Argilliti varicolori” M ¹ O.....	9
4.2 Formazione della Daunia M ³⁻¹	9
4.3 Argille di Montesecco Q ^c P ²	10
4.4 Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del 1° ordine di terrazzi fl ¹	10
4.5 Detrito di falda e frana dt.....	11
5. Inquadramento idrogeologico.....	14
6. Indagini eseguite.....	16
6.1 Profilo sismico tomografico a rifrazione.....	16
6.2 Profilo sismico con metodologia MASW.....	17
7. Geolitologia e idrogeologia dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico	19
7.1 Geolitologia e caratteristiche tecniche dei terreni.....	19
8. Caratterizzazione sismica: individuazione della categoria di suolo a mezzo indagine sismica con la metodologia MASW	24
8.1 Classificazione sismica	24
8.2 Indagine sismica con metodologia MASW.....	25
8.3 Categoria del suolo di fondazione.....	26
9. Conclusioni.....	29

Allegati

RELAZIONE CONCLUSIVA DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITO

1. Premessa

La società proponente **SANTA CROCE SOLAR PARK S.R.L.**, con sede legale in Viale Francesco Restelli 3/7 - 20124 Milano - C.F e P.IVA: 02372270682 - PEC: nrgsolar9@pec.it, ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione di una Relazione Geologica relativa al progetto di installazione di un impianto denominato *Impianto Agrivoltaico Santa Croce 27.0* della potenza di 33.462,00 kWp, in agro di Santa Croce di Magliano nella Provincia di Campobasso, realizzato con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 660Wp.

La Società Proponente intende realizzare un impianto “agrivoltaico” nel Comune di Santa Croce di Magliano (CB), 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 indirette:
 - o n.6 profili sismici a rifrazione con ricostruzione tomografica;
 - o n.3 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

Si fornisce, inoltre, un inquadramento geologico e morfologico-strutturale dei luoghi, si identificano le formazioni ed i litotipi presenti in sito, le caratteristiche geostrutturali del sottosuolo e le caratteristiche idrogeologiche anche in riferimento alla natura e collocazione della falda acquifera. 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 (indagine sismica 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 agrivoltaico ricopre una superficie di circa 41,75 ettari; il campo agrivoltaico risulta accessibile dalla viabilità locale, costituita da strade interpoderali che sono connesse alla Strada Provinciale SP166.

Il sito ricade nel territorio comunale di Santa Croce di Magliano, in direzione Est rispetto al centro abitato, in una zona occupata da terreni agricoli. Il sito su cui sorgerà l'impianto è individuato alle coordinate geografiche: 41°42'20.99"N, 15°01'56.06"E e presenta quota altimetrica media di 300 m s.l.m. (Figura 1).

Esso ricade sul Foglio 155 della Carta d'Italia I.G.M. scala 1:25.000, Tav. III SO "S. Croce di Magliano". L'impianto agrivoltaico sarà realizzato su terreni identificati catastalmente come di seguito.

Santa Croce di Magliano:

Fg. 25 - P.IIe 54-55-56-57-59-60-61-76-77-78-82-83-84-85-86-88-89-90-91-92-119-120-123-124-168.



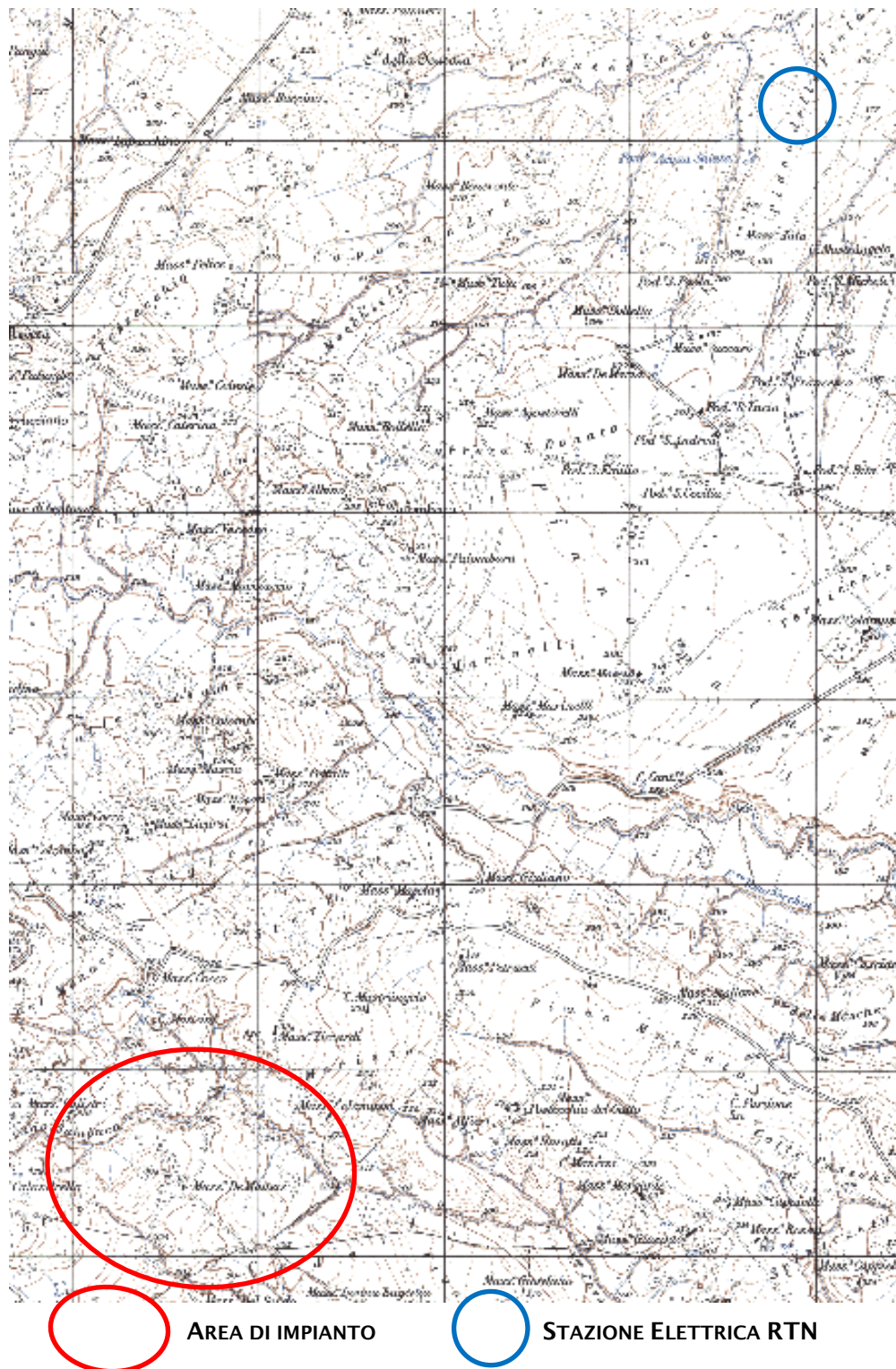
Fig. 1 - Ortofoto con ubicazione dell'area di impianto



Fig. 2 - Layout di impianto

FIG. 3B - COROGRAFIA

Estratto del foglio 155 - Tavv. "S. Croce di Magliano" ed "Ururi" - Carta d'Italia I.G.M. - scala 1:25.000



3. Inquadramento morfologico e strutturale

Il territorio del comune di S. Croce di Magliano (CB) si sviluppa per un'estensione pari a 52,64 Km², delimitato dai territori comunali di Bonefro, Castelnuovo della Daunia (FG), Montelongo, Rotello, San Giuliano di Puglia, Torremaggiore (FG).

Il comune di S. Croce di Magliano in s.s. è posto ad una quota s.l.m. pari a 608 m s.l.m.; le quote nell'intero territorio comunale sono comprese tra la quota minima posta a 45 m s.l.m. e la massima a 640 m s.l.m.

L'attuale configurazione geologica dell'area è contraddistinta da terreni pliocenici e quaternari i cui sedimenti sono dolcemente immergenti verso NE ed E.

Un motivo anticlinale, il cui nucleo sarebbe costituito da terreni argillosi del Pliocene medio-superiore, è visibile a SO del comune di Ururi.

La regione in cui il sito ricade è in gran parte occupata da terreni argillosi con una copertura sabbioso-ghiaiosa che diventa sempre più estesa e potente man mano che ci si avvicina alla costa. Questi sedimenti si dispongono in pianalti molto regolari con dolce inclinazione verso la linea di costa; in prossimità di essa la superficie termina con una scarpata di falesia.

Nelle zone interne la copertura sabbioso-ghiaiosa non è presente in quanto erosa e la morfologia appare dolce, con modellamento a colle e dossi poco elevati.

La serie è incisa da tre corsi d'acqua principali ad andamento parallelo: il Biferno, il Saccione ed il Fortore, con una serie di affluenti ed una rete idrografica secondaria normalmente attiva solo nella stagione piovosa.

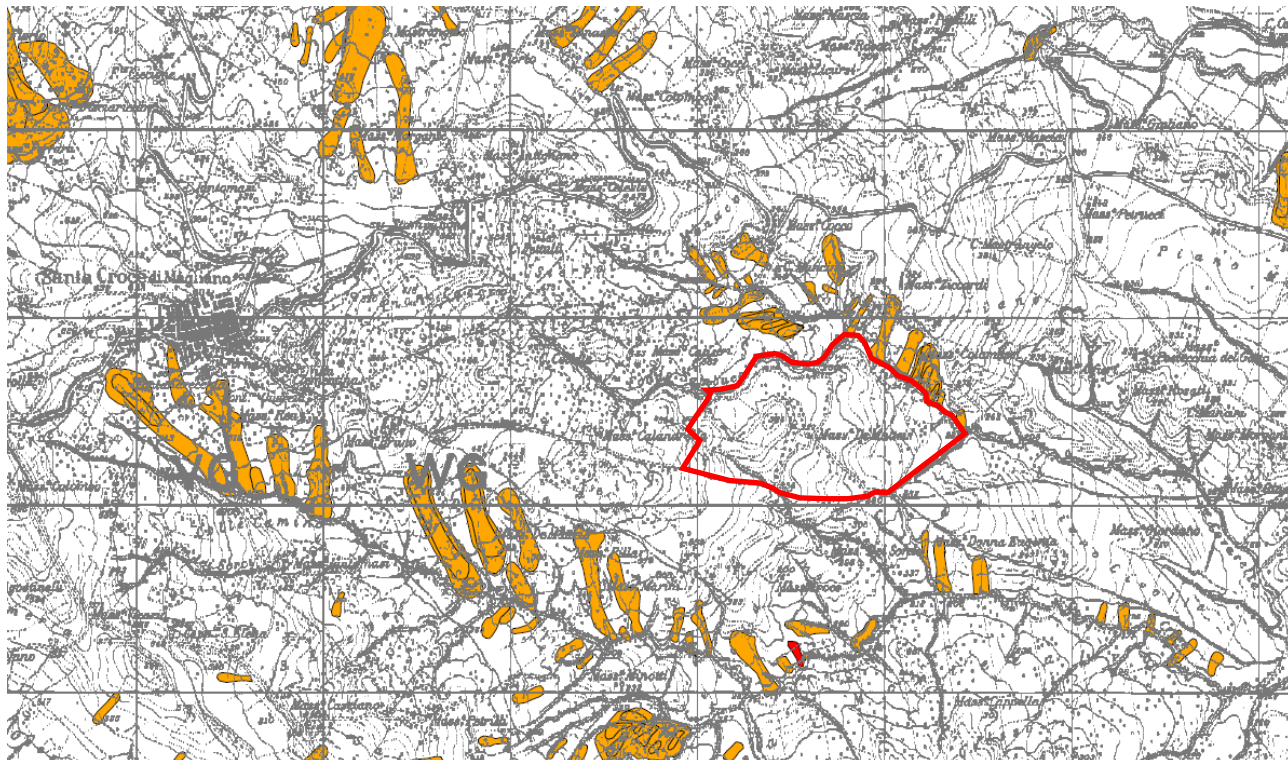
L'area in cui il sito ricade appartiene al bacino idrografico interregionale del Fiume Fortore.

Da un punto di vista più strettamente litologico, la zona è caratterizzata da una serie di formazioni molto eterogenee, di natura prevalentemente flyscioide, in cui i terreni di una certa rigidità si intercalano in sedimenti plastici, nei quali prevale la componente argillosa e marnosa. Tale associazione dà luogo ad una morfologia collinare irregolare, con grande estensione di pendii detritici ed accentuati fenomeni di franosità. I colli più alti sono in corrispondenza ad affioramenti della Formazione della Daunia e su di essi sono collocati i centri abitati, come nel caso di S. Croce di Magliano. Si tratta della formazione che interessa da vicino il sito oggetto di studio.

La Carta della pericolosità da frana e da valanga redatta nell'ambito del Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il Bacino Interregionale del Fiume Fortore - Assetto di versante - evidenzia che l'area di studio non è interessata da aree a Pericolosità moderata, elevata o estremamente elevata (cfr Fig. 4).




PROGETTO DI PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO PER IL BACINO INTERREGIONALE DEL FIUME FORTORE
ASSETTO DI VERSANTE



FIG. 4 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA E DA VALANGA



LEGENDA

CARTA DELLA PERICOLOSITA'

-  Pericolosità moderata
-  Pericolosità elevata
-  Pericolosità estremamente elevata

-  Limiti comunali
-  Limite di bacino



Area di impianto

4. Inquadramento geologico

Sulla base del rilevamento geologico condotto nell'area in esame, con riferimento alla cartografia ufficiale (cfr. Carta Geologica d'Italia 1:100.000 - Foglio 155 “S. Severo”), è possibile ricostruire come segue la successione stratigrafica presente.

L'area in questione è caratterizzata dalla presenza di depositi recenti che vanno dall'Oligocene all'Olocene.

All'interno del foglio interessato, nell'intorno del sito, si evidenzia una serie di formazioni stratigrafiche, così deposte¹:

4.1 “Argilliti varicolori” M'O

Arenarie giallastre con intercalazioni di calcareniti e di argille verdi; alternanze di argilliti varicolori, prevalentemente rosse, con strati di diaspri neri e rossigni, di calcari con concrezioni manganesifere; in assetto frequentemente caotico.

La formazione è caratterizzata da estrema variabilità. In Contrada Malafede ed a S di S. Croce di Magliano il passaggio alla sovrastante Formazione della Daunia avviene tramite alternanze di arenarie quarzoso-micacee giallo-brunastre, di calcareniti e argille.

L'aspetto caotico che spesso caratterizza tale formazione è, in molti casi, l'effetto di fenomeni franosi superficiali; in diversi tagli si osserva un andamento degli strati piuttosto regolare, con piegamenti ad ampio raggio di curvatura.

Gli affioramenti migliori delle “Argilliti varicolori” e del passaggio alla Formazione della Daunia sono localizzati nell'incisione del T. Tona in località Pagliarone, Colle Palombaro e Colle Consumo ed in sinistra del Fiume Fortore, in corrispondenza della già citata Malafede.

L'età della formazione è oligocenica, ma è verosimile, a luoghi, la presenza del Miocene inferiore.

4.2 Formazione della Daunia M³⁻¹

La formazione in parola è una delle più diffuse e caratteristiche lungo il bordo orientale dell'Appennino meridionale, estendendosi quasi ininterrottamente dalla Valle del Sangro e dal Sannio fino alla Lucania.

I litotipi che compongono questa formazione sono relativamente numerosi e sono associati tra loro in maniera da dar luogo a numerose variazioni laterali di facies.

I componenti litologici fondamentali della Formazione della Daunia sono: calcari organogeni, calcareniti e brecciole calcaree, calcari pulverulenti organogeni, calcari e calcari marnosi

¹ Note Illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 155 “San Severo” – G. Cremonini, C. Elmi, R. Selli *et alii*.

biancastri con liste e noduli di selce nera o bruna, arenarie quarzoso-micacee giallastre, marne verdoline, argilliti e marne varicolori in rare lenti.

La parte media, particolarmente ben esposta nei pressi di Rotello e sulla S.S. 378 nel tratto che va dal ponte sul T. Tona a S. Croce di Magliano (tav. III S.O.), è costituita da marne calcaree biancastre, leggermente silicee, con una caratteristica fratturazione romboedrica, in strati alternanti con calcari e calcari marnosi biancastri a liste e noduli di selce nera o bruna.

I fossili sono presenti in associazioni differenti nei vari livelli ed indicano età che vanno dal Serravalliano al Miocene prelanghiano.

4.3 Argille di Montesecco Q^cP²

Si tratta di argille marnose e silto-sabbiose di colore grigio-azzurro, con abbondante macrofauna, con prevalenza di lamellibranchi e gasteropodi, e/o microfauna. Superficialmente possono presentarsi di colore giallastro per alterazione meteorica, con patine siltose e rare intercalazioni sabbiose che diventano più frequenti alla sommità della formazione, passando gradualmente alle sovrastanti Sabbie di Serracapriola, laddove presenti.

Lo spessore complessivo di tale formazione è difficilmente valutabile in quanto il letto non è affiorante e per la rara presenza di un tetto netto: comunque da dati di perforazione profonda è possibile stimare la potenza complessiva dell'ordine di 500 m nell'area tra Serracapriola e San Paolo di Civitate.

Il periodo di sedimentazione è Pliocene-Pleistocene Inf.

4.4 Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del 1° ordine di terrazzi fl'

I depositi superiori, più antichi, sono costituiti prevalentemente da ghiaie, sabbie e, subordinatamente, da argille con copertura superficiale di "terre nere".

Questi terreni non rappresentano verosimilmente un'unica fase di deposizione; la distribuzione e la diversa altezza degli affioramenti fanno pensare che la rete idrografica che li ha determinati non presentasse grande analogia con l'attuale o che comunque non fosse ancora bene impostata. Probabilmente si tratta di una successione di fasi di accumulo e di erosione caratterizzate dalla presenza di depressioni interne ove, a depositi di natura essenzialmente lacustre, si alternavano episodi di facies deltizia e fluviale.

Nell'area del foglio S. Severo i terrazzi più alti ascritti a fl' si trovano nella zona a S di Ururi e superano i 300 m di quota; qui essi sono costituiti da argille grigio-giallastre con ciottolame di media dimensione, croste travertinose e straterelli di calcare bianco pulverulento; da questa zona essi degradano rapidamente verso E in direzione dei corsi del T. Saccione e del F. Fortore, assumendo un carattere più decisamente fluviale e disponendosi ad andamento longitudinale, specie lungo il versante sinistro dei fiumi.

La formazione è di età pleistocenica.

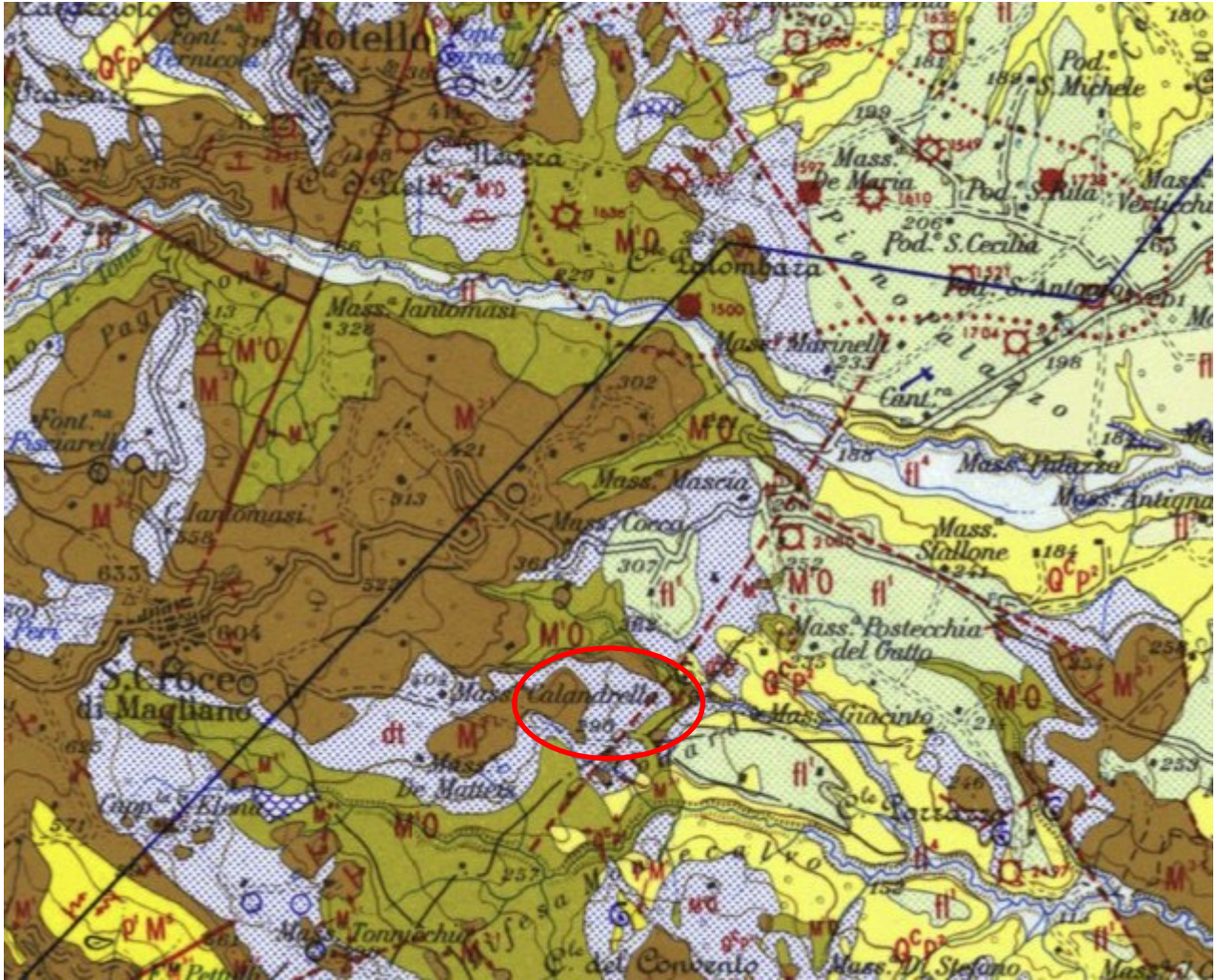
4.5 Detrito di falda e frana dt

Le alluvioni attuali, distinte soprattutto lungo il corso dei fiumi Biferno e Fortore, sono costituite da depositi con elementi di dimensioni molto eterogenee con prevalenza di detriti fini. L'erosione laterale crea, nella zona a monte, una scarpata molto evidente rispetto al ripiano formato dai depositi indicati come fl⁴, nei quali l'alveo è normalmente inciso.

Falde di detrito sono frequenti e ampie nell'angolo di SO del foglio, come nell'area in esame.

Il periodo di sedimentazione è attuale (Olocene).

FIG. 5 - CARTA GEOLOGICA - FOGLIO 155 S. SEVERO



Legenda



Area impianto fotovoltaico



Ghiaie, sabbie e argille dei fondovalle attuali (a).
Detrito di falda e frana (dt).



Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi: ghiaie più o meno cementate, livelli lentiformi travertinosi con impronte di piante e di gasteropodi, argille sabbiose, sabbie, calcari pulverulenti bianchi, ricoperti in generale da « terre nere » ad alto tenore humico (paleosuolo forestale).

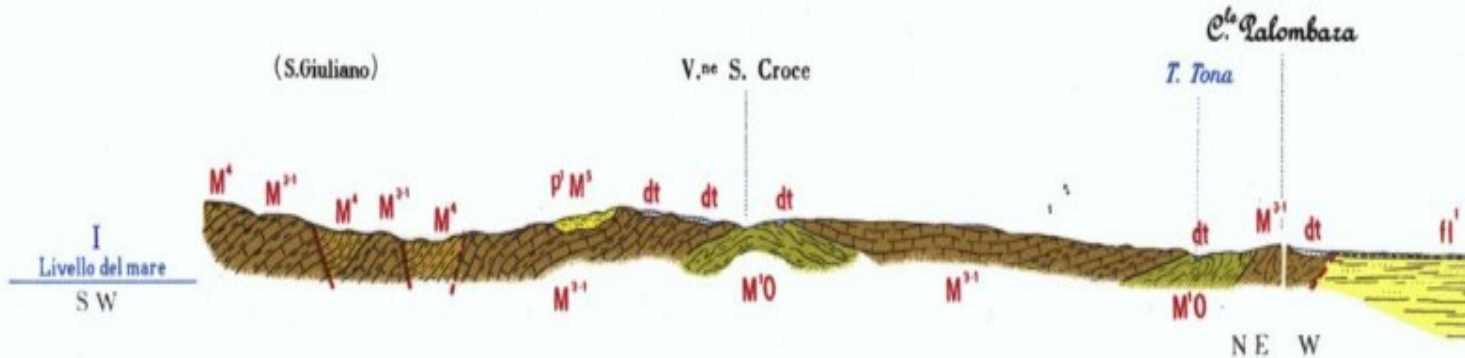


ARGILLE DI MONTESECCO – Argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, con abbondante macrofauna a prevalenti lamellibranchi (*Chlamys opercularis* L., *C. flexuosa* POLI, *Glycymeris*, ecc.) e gasteropodi; microfauna, nella parte alta, a *Valvulineria bradyana* (FORN.), *Bolivina superba* EM., *B. catanensis* SEG. e *Bulimina elegans* D'ORB., nella parte inferiore, a *Globorotalia crassaformis* (GALL. e WISS.) e *G. scitula* (BRADY). CALABRIANO ? - PLIOCENE MEDIO.



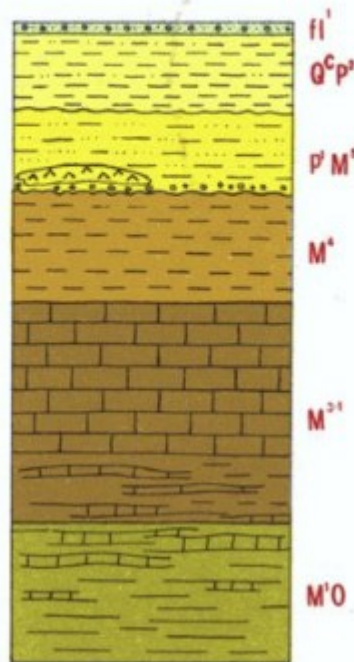
FORMAZIONE DELLA DAUNIA – Superiormente calcari organogeni bianchi litoidi, con intercalazioni di calcare bianco pulverulento e straterelli di calcareniti compatte o fogliettate a briozoi, corallinacee, echinodermi, pettinidi, miogypsine, amistegine e microfauna a *Globigerinoides triloba* (REUSS), *G. bispherica* TODD, *Globoquadrina dehiscentes* (CHAP., PARR. e COLL.); nella parte media, marne calcaree bigie con lenti e solette di selce bruna alternanti con argille siltose grigiastre e qualche livello di tripoli a radiolari; nella parte inferiore, arenarie quarzose giallastre con intercalazioni di calcareniti alternanti con marne argillose verdine, che si rinven-gono anche come intercalazioni tra gli strati di calcare arenaceo o marnoso della parte alta delle « Argilliti varicolori ». **SERRAVALLIANO - LANGHIANO - AQUITANIANO ?**

« ARGILLITI VARICOLORI » (« Complesso indifferenziato » p. p. del foglio Lucera). Arenarie giallastre con intercalazioni di calcareniti e di argille verdi; alternanze di argilliti varicolori, prevalentemente rosse, con strati di diaspri neri e rossigni, di calcari a lepidocyclina e con concrezioni manganesifere; in assetto frequentemente caotico. **MIOCENE INF. - OLI-GOCENE.**



Schema dei rapporti stratigrafici

ZONA SUD - OCCIDENTALE DEL FOGLIO



5. Inquadramento idrogeologico

Al contatto tra i terreni detritico-calcarei miocenici e le sottostanti “Argilliti varicolori” possono essere ubicate alcune sorgenti. Esse non hanno portate sufficienti per approvvigionare acquedotti, anche modesti. Le falde acquifere che le alimentano risentono grandemente della variabilità delle condizioni climatiche, tanto che in conseguenza dei periodi asciutti la loro portata diminuisce, talora fino ad annullarsi.

Le sorgenti, che si rinvergono nella zona sud-occidentale, sono in genere ubicate al contatto tra i terreni detritico-calcarei miocenici e le sottostanti “Argilliti varicolori”.

Nei termini più alti della serie plio-pleistocenica, che sono piuttosto permeabili, può formarsi una falda freatica relativamente consistente; tale fenomeno si manifesta anche nei depositi alluvionali.

Alcuni pozzi presenti in corrispondenza di terreni costituenti le coperture fluvio-lacustri del I ordine di terrazzi (fl1), e soprastanti le argille plio-pleistoceniche, hanno rivelato la presenza di falde freatiche.

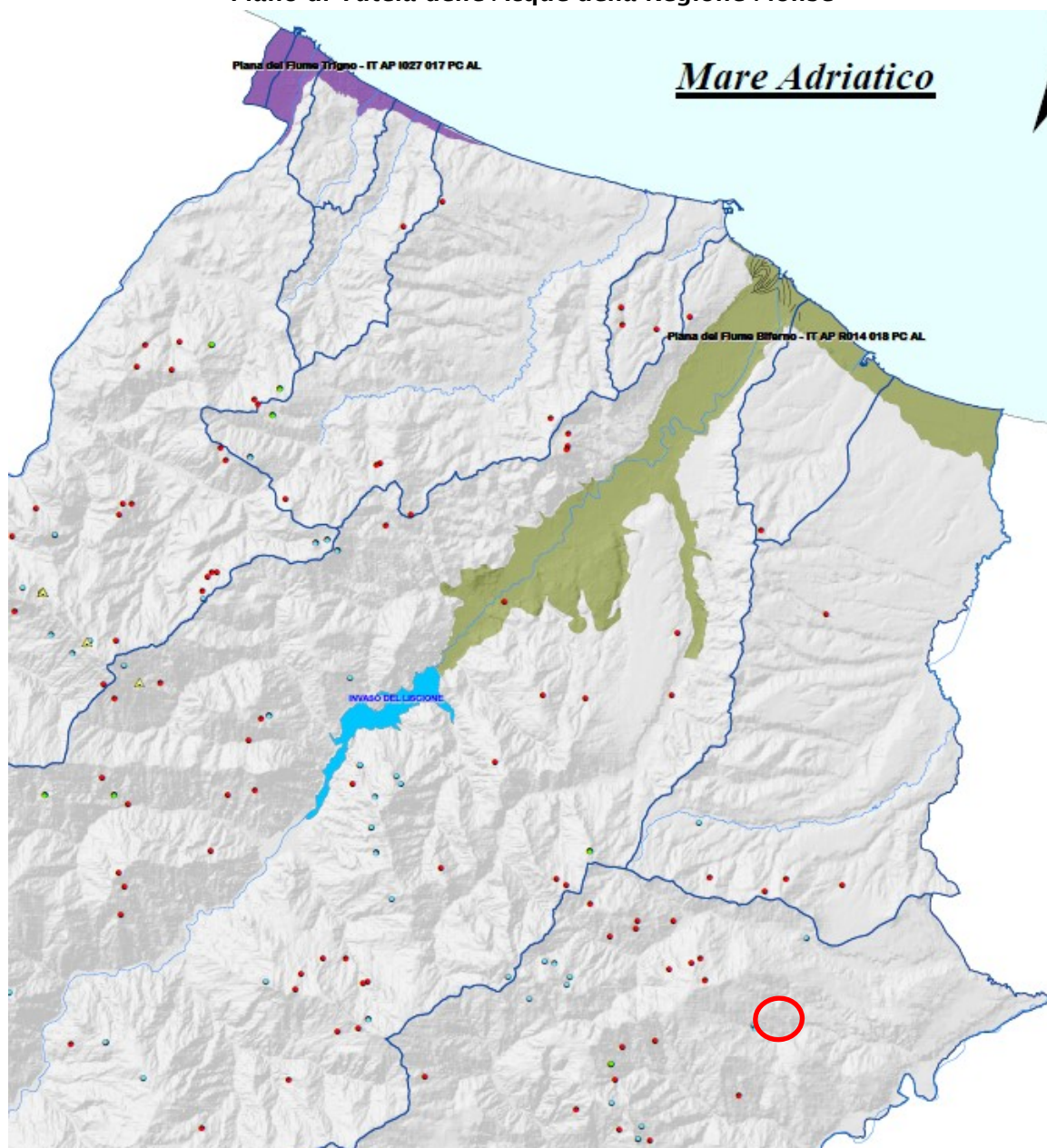
La Fig. 6 riporta la CARATTERIZZAZIONE CORPI IDRICI SOTTERRANEI - TAV. T3 redatta nell’ambito del Piano di Tutela delle Acque della Regione Molise, dalla quale si evince che l’area in esame non ricade in nessun Complesso idrogeologico. La stessa evidenzia la presenza di sorgenti e sorgenti captate, ma non all’interno dell’area oggetto di studio.

Nel corso delle indagini eseguite, alle quote indagate, non sono state individuate evidenze che possano indicare la presenza di una falda freatica. Ciononostante, non si esclude la possibilità di una presenza di modeste falde superficiali sospese, anche a carattere stagionale, in stretta connessione con il regime pluviometrico.





Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo che andranno eseguiti per il progetto esecutivo verranno verificate le quote di attestazione dei livelli statici delle falde riscontrate.

FIG. 6 - CARATTERIZZAZIONE CORPI IDRICI SOTTERRANEI - TAV. T3

Piano di Tutela delle Acque della Regione Molise



Legenda

-  corsi d'acqua
-  invasi
-  limiti regionali
-  limiti di bacino
-  campi pozzi
-  sorgenti
-  sorgenti captate
-  sorgenti stagionali



UBICAZIONE DEL SITO OGGETTO DEL PRESENTE STUDIO

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., in novembre 2023) le seguenti indagini indirette:

- n.6 profili sismici a rifrazione con ricostruzione tomografica in Onda P e S;
- n.3 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

6.1 Profilo sismico tomografico a rifrazione

Per la ricostruzione sismostratigrafica e stratigrafica dell'area e per la caratterizzazione meccanica dei litotipi che si rinvennero, in sito sono stati eseguiti n.6 profili sismici tomografici a rifrazione della lunghezza pari a 33 m (SR1, SR2, SR3, SR4, SR5 e SR6) sia in Onda P che in Onda S.

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, con restituzione tomografica. 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.

La tomografia sismica, rispetto alla convenzionale sismica a rifrazione, limita i problemi interpretativi dovuti agli strati ad inversione di velocità (orizzonte fantasma) o di ridotti spessori.

Essa consiste nella ricostruzione di sezioni bidimensionali (2D) realizzate mediante serie di stendimenti sismici a rifrazione con sismografo a 12 canali.

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. Il software utilizzato per l'elaborazione tomografica è il Rayfract.

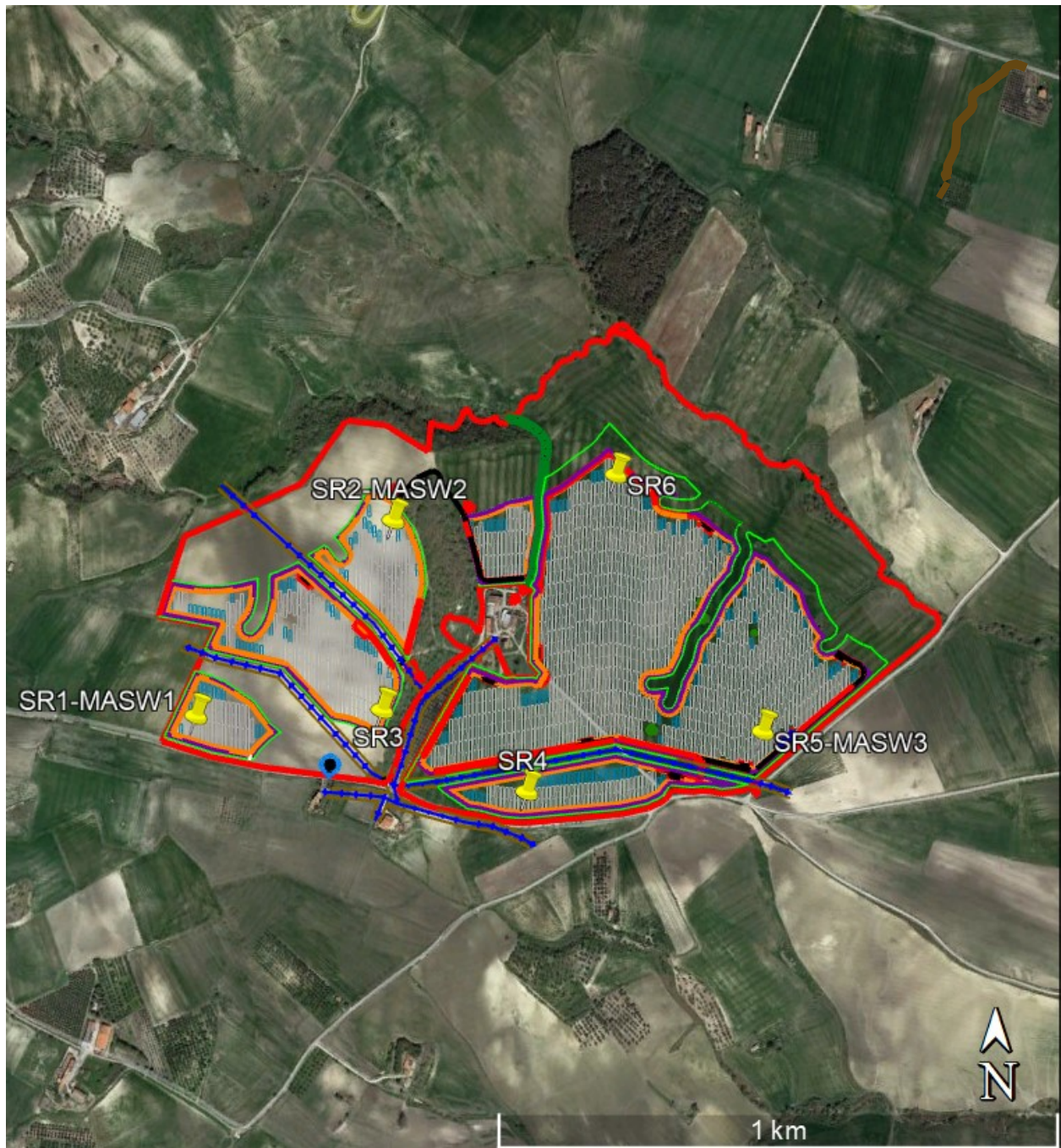
L'analisi dei sismogrammi ha consentito di ricavare i tempi di primo arrivo delle onde sismiche longitudinali tramite i quali sono stati ricavati i diagrammi distanza-tempo (dromocrone) utilizzati sia per il calcolo analitico delle velocità di propagazione delle onde elastiche, sia per l'interpretazione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

6.2 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 tomografico a rifrazione

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 i profili eseguiti, della lunghezza di 33 m ciascuno, hanno permesso di ricostruire un medesimo modello a due sismostrati:

- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR1 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,50 m caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/s; il secondo, caratterizzato da una velocità V_p di 1100 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR2 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore variabile tra circa 1,00 e 1,50 m caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/s; il secondo, caratterizzato da una velocità V_p di 1000 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR3 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore massimo di circa 0,80 m caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/s; il secondo, caratterizzato da una velocità media V_p di 1050 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR4 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,00 m caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/s; il secondo, caratterizzato da una velocità media V_p di 1100 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR5 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore fino a circa 1,30 m caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/s; il secondo, caratterizzato da una velocità media V_p di 1150 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR6 ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore variabile tra circa 1,00 e 1,40 m caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/s; il secondo, caratterizzato da una velocità media V_p di 1100 m/s.

I profili sismici eseguiti in sito hanno consentito di ricostruire le sequenze stratigrafiche di massima, di seguito riportate, che si rinvengono nel sottosuolo.

Le quote indicate sono da considerarsi quali medie tra quelle emerse dall'osservazione delle sezioni sismostratigrafiche.

Colonna stratigrafica SR1

0,00 m ÷ 1,50 m

1,50 m ÷ prof. indagata

terreno vegetale;

sabbie limose alternate a calcari organogeni ed argilliti.

Colonna stratigrafica SR2

0,00 m ÷ 1,20 m

1,20 m ÷ prof. indagata

terreno vegetale;

sabbie limose alternate a calcari organogeni ed argilliti.

Colonna stratigrafica SR3

0,00 m ÷ 0,80 m

0,80 m ÷ prof. indagata

terreno vegetale;

sabbie limose alternate a calcari organogeni ed argilliti.

Colonna stratigrafica SR4

0,00 m ÷ 1,00 m

1,00 m ÷ prof. indagata

terreno vegetale;

ghiaie e sabbie argillose.

Colonna stratigrafica SR5

0,00 m ÷ 1,30 m

1,30 m ÷ prof. indagata

terreno vegetale;

arenarie e/o livelli calcarenitici.

Colonna stratigrafica SR6

0,00 m ÷ 1,20 m

1,20 m ÷ prof. indagata

terreno vegetale;

ghiaie e sabbie argillose.

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

Le caratteristiche fisiche e geomeccaniche dei livelli individuati con i profili sismici, riportate all'interno della *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati*, mostrano parametri meccanici discretamente omogenei a parità di livello nelle cinque prove.

Per quanto riguarda i cavidotti, che verranno realizzati lungo strade esistenti, i suoi passaggi interrati interesseranno quasi esclusivamente il primo sismostrato (terreno vegetale).

Nelle Figg. 8a e 8b si riportano le colonne stratigrafiche con i due livelli individuati nei profili sismici a rifrazione eseguiti. Le quote riportate rappresentano le quote medie dei contatti individuati nelle diverse prove.

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

Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cmc)	E Din. (Kg/cmq)	η
1	400-450	-	-	-	-	-	-
2	1000-1100	270	27	0.11	1.88	2800	0.49

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

Tab. 1 - Parametri geotecnici e moduli correlati a Vp e Vs

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.

La Regione Molise ha recepito l'Ordinanza 3274/03 con la Legge Regionale n.13 del 2004, provvedendo alla riclassificazione sismica del territorio regionale molisano, operata estrapolando dall'Allegato A all'ordinanza 3274/03 i comuni molisani ivi classificati, riservandosi di provvedere definitivamente alla predetta riclassificazione sismica, successivamente all'intervenuta elaborazione della nuova mappa nazionale del rischio sismico a cura della competente Amministrazione statale. La riclassificazione sismica è stata aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Molise del 2 agosto 2006 n. 1171.

Secondo la suddetta riclassificazione il comune di Santa Croce di Magliano ricade in zona sismica 2 (Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti).

Per il sito oggetto del presente studio, la caratterizzazione sismica è stata eseguita con la modalità riportata nel paragrafo seguente.

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 sottosuolo per l'area indagata.

All'interno del lotto nel quale è prevista la realizzazione dell'impianto sono stati eseguiti n.3 profili di lunghezza pari a 33 m, di seguito denominati MASW1, MASW2 e MASW3.

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 $V_{s,eq}$.

MASW1: 360 m/s;

MASW2: 473 m/s;

MASW3: 455 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 i valori di $V_{s,eq}$ ottenuti sono ascrivibili alla categoria B; difatti, in base all'analisi dei profili sismici e delle correlazioni relative, si attribuisce ai suoli di fondazione la seguente categoria:

- **MASW1, MASW2, MASW3**

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.*

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.

L' “Ordinanza Ministeriale” è stata recepita con la Legge Regionale n.13 del 2004 prima e, successivamente, con la Delibera della Giunta Regionale del Molise del 2 agosto 2006 n. 1171. Sulla base di tale norma il comune di Santa Croce di Magliano ricade in zona sismica 2 (“Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti”).

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

Lotti ricadenti nel comune di Santa Croce di Magliano

Codice ISTAT 2001: 14070072

Coordinate sito Progetto “Santa Croce 27.0”:

Longitudine = 15°01'56.06"E;

Latitudine = 41°42'20.99"N.

Nodi intorno al sito: 29216 29438 29439 29217

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

Classe d'uso: II (opera privata di rilevante importanza in zona sismica 2)

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	0.58013785	2.45158062	0.28267960
SLD	50	0.76591378	2.49000000	0.29000000
SLV	475	2.07982377	2.46410862	0.34000000
SLC	975	2.74007894	2.44410862	0.35000000

Tab. 2 - Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i Periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite

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

Dove: SL = Stato Limite considerato; T_r = Tempo di ritorno (anni); a_g = Accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c^* = Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Popolazione residente	4.387
Densità per Km² (Istat 2001)	83,3
Zona sismica (D.G.R. Molise n.1172/2006)	2

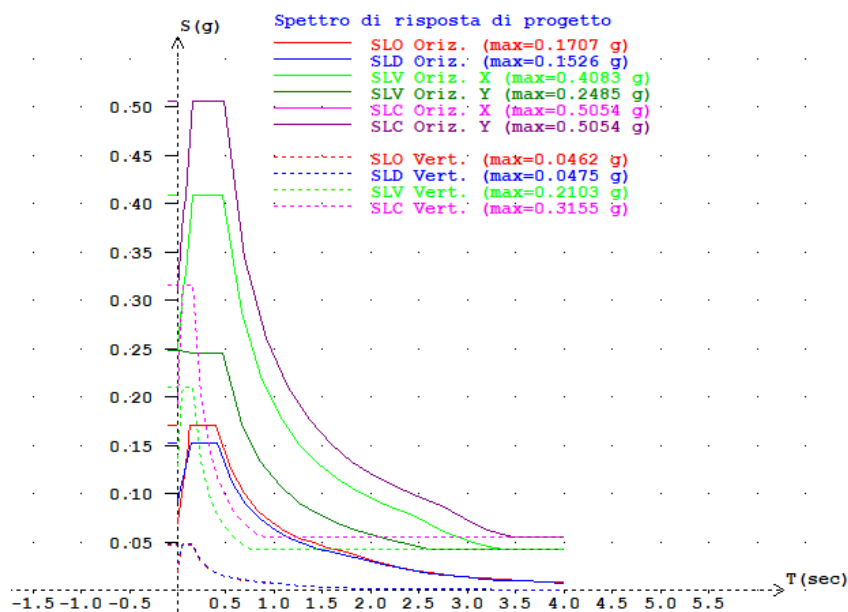


Fig. 9 - Spettri di risposta sismica di progetto - Santa Croce di Magliano 27.0

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

9. Conclusioni

La società proponente **SANTA CROCE SOLAR PARK S.R.L.**, con sede legale in Viale Francesco Restelli 3/7 - 20124 Milano - C.F e P.IVA: 02372270682 - PEC: nrgsolar9@pec.it, ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione di una Relazione Geologica relativa al progetto di installazione di un impianto denominato *Impianto Agrivoltaico Santa Croce 27.0* della potenza di 33.462,00 kWp, in agro di Santa Croce di Magliano nella Provincia di Campobasso, realizzato con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 660Wp.

La Società Proponente intende realizzare un impianto “agrivoltaico” nel Comune di Santa Croce di Magliano (CB), 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 pervenire ad una sua caratterizzazione geologica, 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 indirette:
 - o n.6 profili sismici a rifrazione con ricostruzione tomografica;
 - o n.3 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

Lo studio ha evidenziato che:

- la successione stratigrafica dei terreni in sito può essere ricostruita nel seguente modo:

<u>profili sismici SR1, SR2, SR3</u>	
0,00 m ÷ 1,20 m	terreno vegetale;
1,20 m ÷ prof. indagata	sabbie limose alternate a calcari organogeni ed argilliti.
<u>profili sismici SR4, SR5, SR6</u>	
0,00 m ÷ 1,20 m	terreno vegetale;
1,20 m ÷ prof. indagata	Ghiaie e sabbie argillose (o arenarie e/o livelli calcarenitici per SR5).

- per quanto riguarda i cavidotti, che verranno realizzati lungo strade esistenti, i suoi passaggi interrati interesseranno quasi esclusivamente il primo sismostrato (terreno vegetale);
- lo studio idrogeologico eseguito non ha evidenziato la presenza di una falda freatica. Ciononostante, non si esclude la possibilità di una presenza di modeste falde superficiali sospese, anche a carattere stagionale, in stretta connessione con il regime pluviometrico;
- 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, la seguente categoria di sottosuolo:
 - **MASW1, MASW2, MASW3**
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;
- secondo la Delibera della Giunta Regionale del Molise del 2 agosto 2006 n. 1171, il comune di Santa Croce di Magliano ricade in zona sismica 2 ("Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti").

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

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

Brindisi, novembre 2023

dott. geol. Francesco Caldarone



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

GEOPROVE S.R.L.

COMUNE DI SANTA CROCE DI MAGLIANO (PROV. DI CAMPOBASSO)

COMMITTENTE: Dott. Geol. Francesco Caldarone

INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE PRESSO
UN'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO DI
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGRIVOLTAICO

Ruffano, Novembre 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 06206 Il Livello



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.geoprave.eu • info@geoprave.eu

INDICE

<i>INDICE</i>	1
<i>PREMESSA</i>	2
<i>INDAGINE GEOGNOSTICA</i>	3
<i>Profili sismici a rifrazione</i>	4
<i>Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)</i>	18

PREMESSA

Nel mese di Novembre 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 in un agro ad sud-est del Comune di Santa Croce di Magliano (CB).

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 profili sismici a rifrazione (i profili nn.1, 2, 3, 4, 5 e 6);
- n.3 profili sismici con metodologia MASW (sulle stesse stese nn.1, 2 e 5).

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 profili sismici a rifrazione;
- n.3 profili sismici con metodologia MASW.

Profili sismici a rifrazione

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

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

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

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

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

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

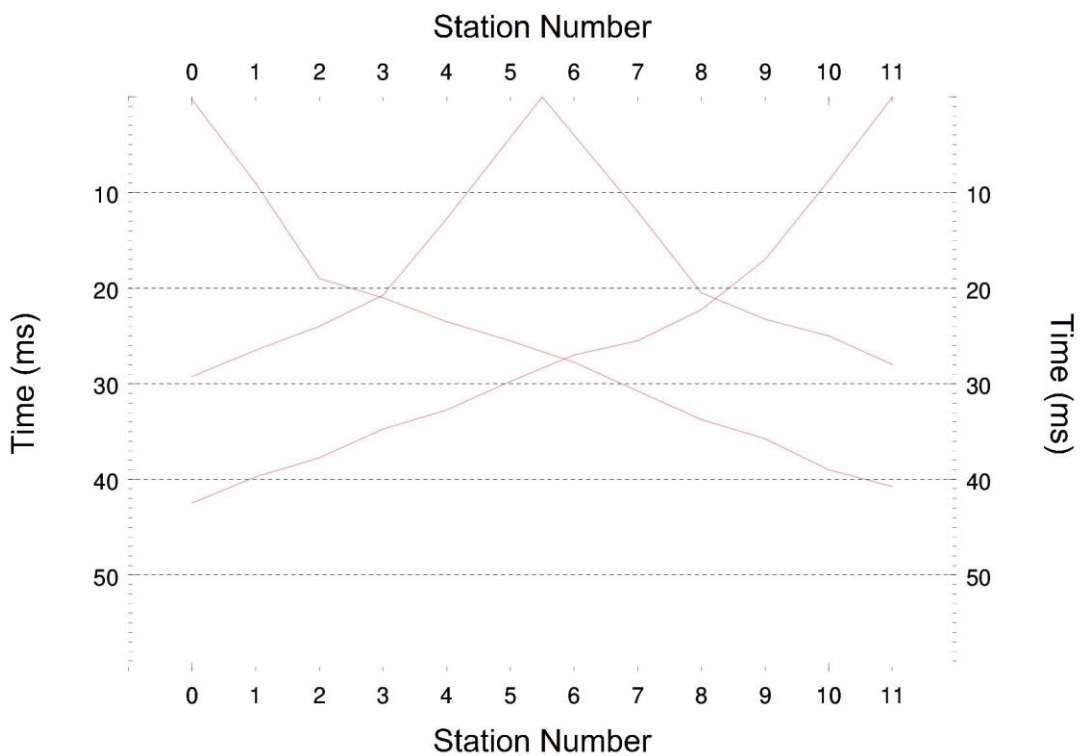
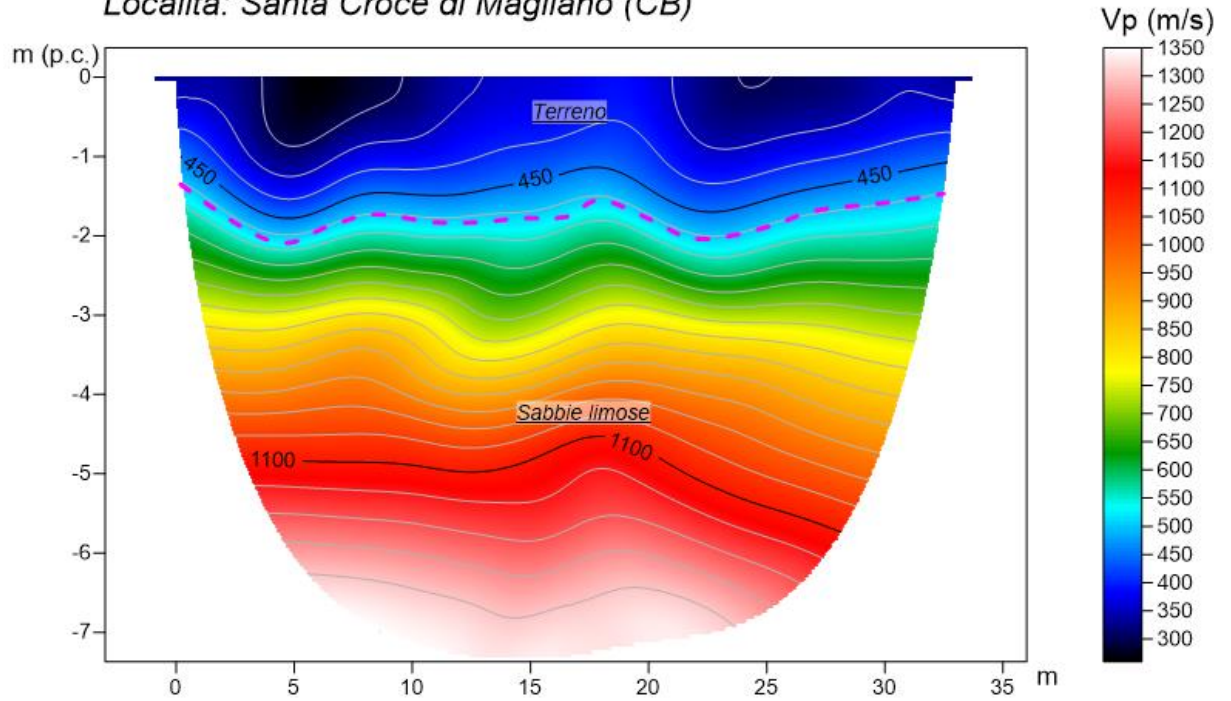
Profilo sismico SR 1

Il profilo sismico a rifrazione 1 ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.50 metri circa si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 1100 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limose con possibili alternanze di calcari organogeni e argilliti.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 1 e Masw n.1 sullo stesso stendimento

Sismica tomografica a rifrazione 1
Località: Santa Croce di Magliano (CB)



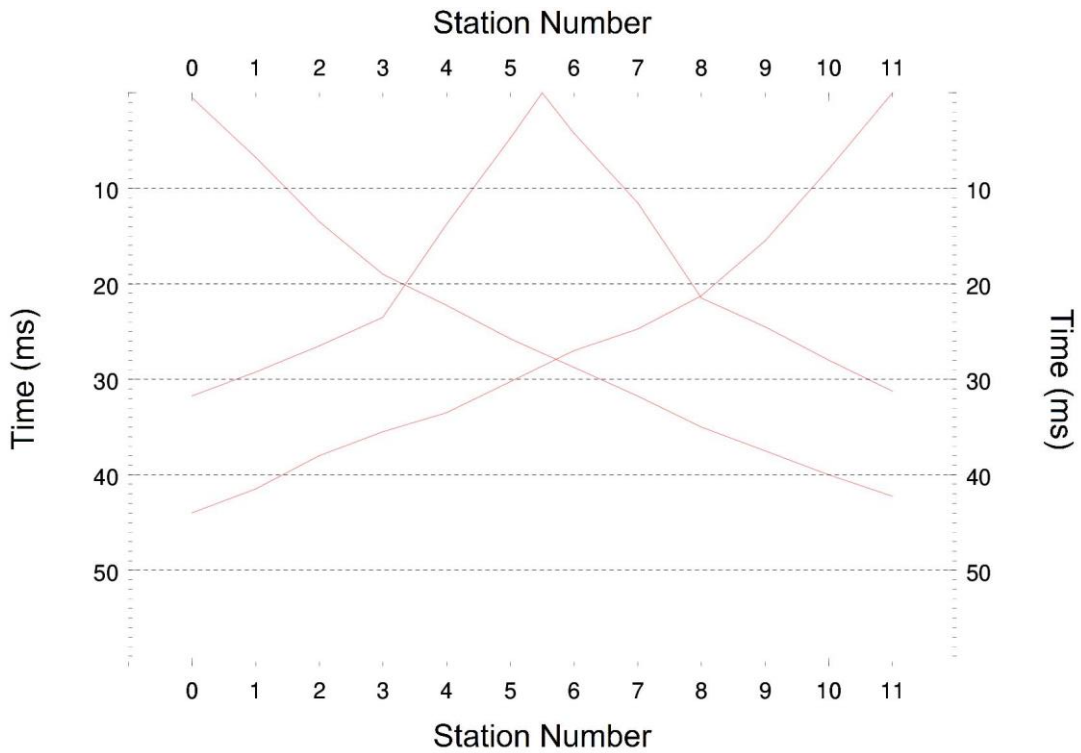
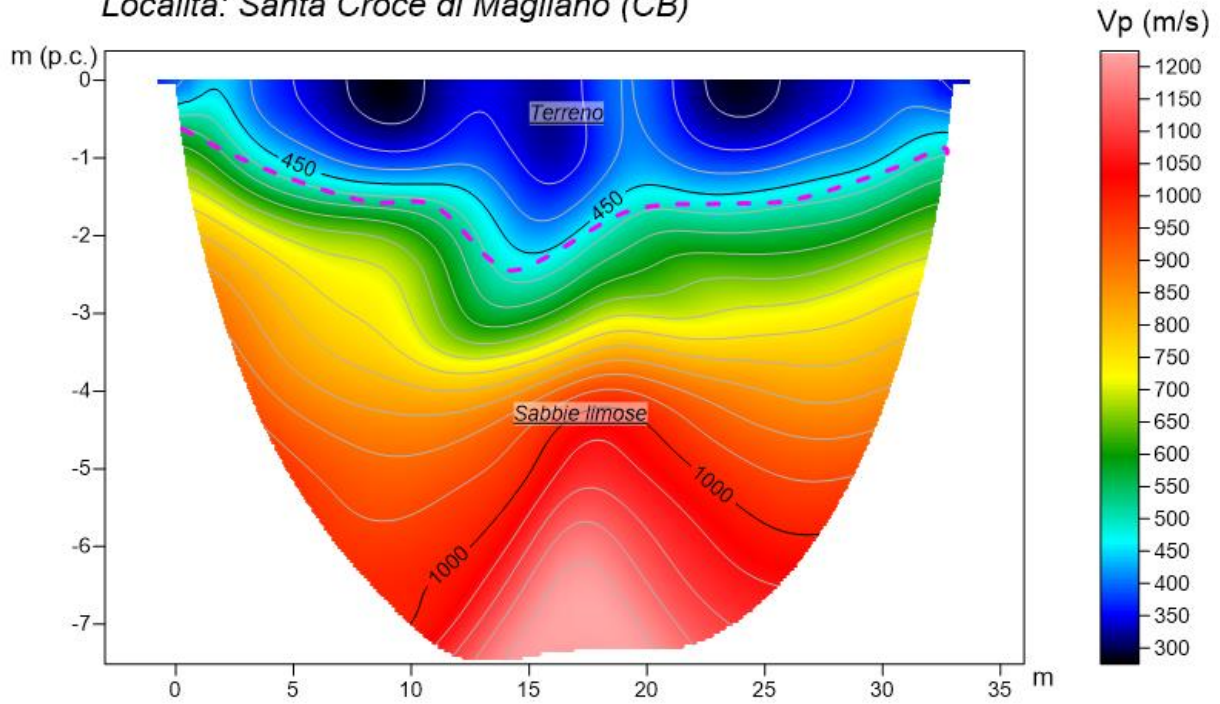
Profilo sismico SR 2

Il profilo sismico a rifrazione 2 ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.0-1.5 metri si rinviene il primo sismostrato che è caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/sec ed è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 1000 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limose con possibili alternanze di calcari organogeni e argilliti.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 2 e Masw n.2 sullo stesso stendimento

Sismica tomografica a rifrazione 2
Località: Santa Croce di Magliano (CB)



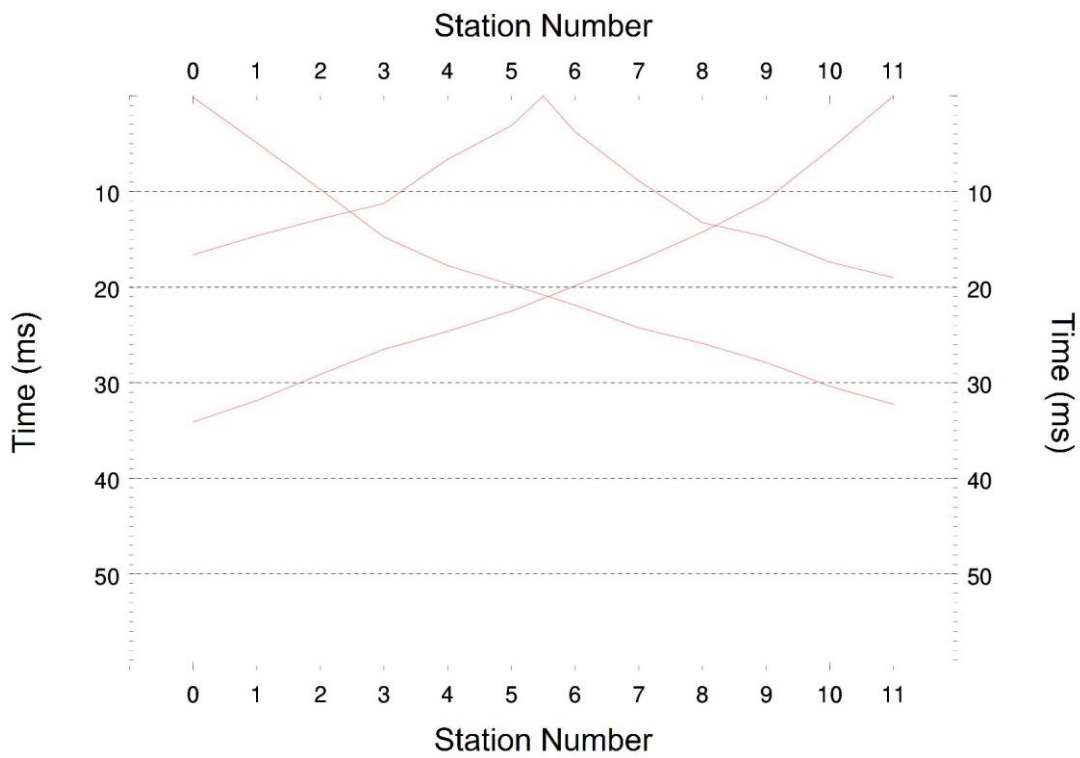
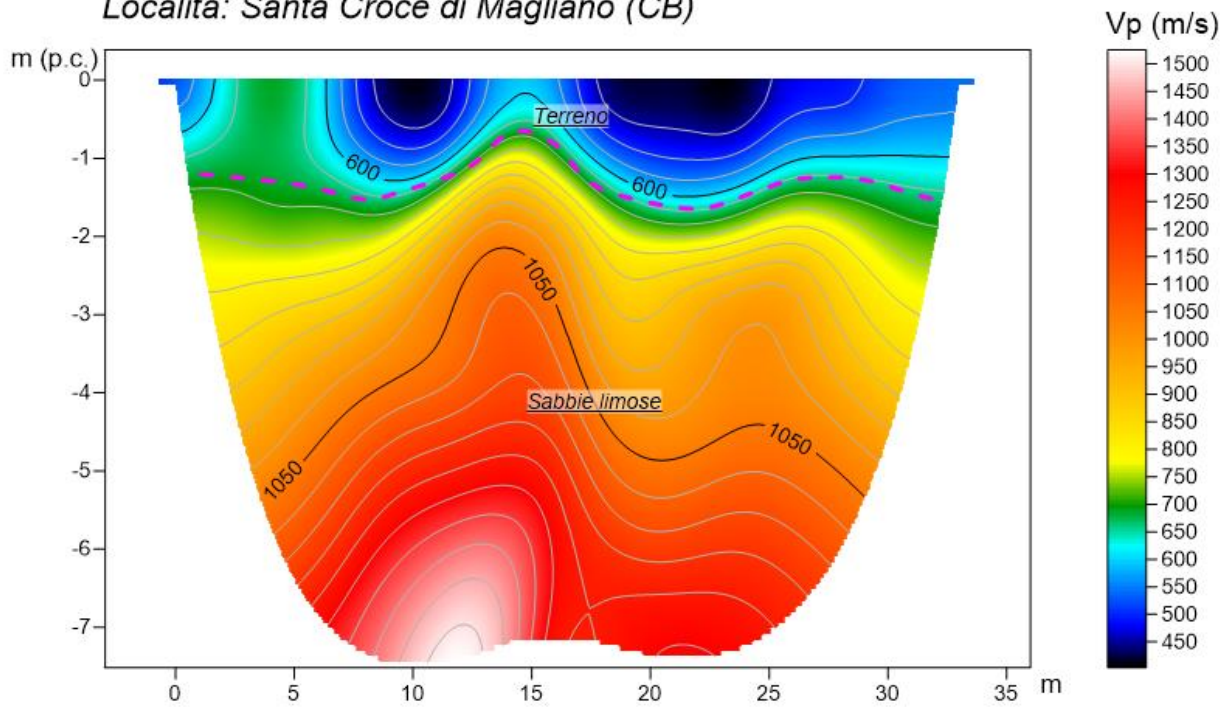
Profilo sismico SR 3

Il profilo sismico a rifrazione 3 ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 0.80 metri circa si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 1050 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 3

Sismica tomografica a rifrazione 3
Località: Santa Croce di Magliano (CB)



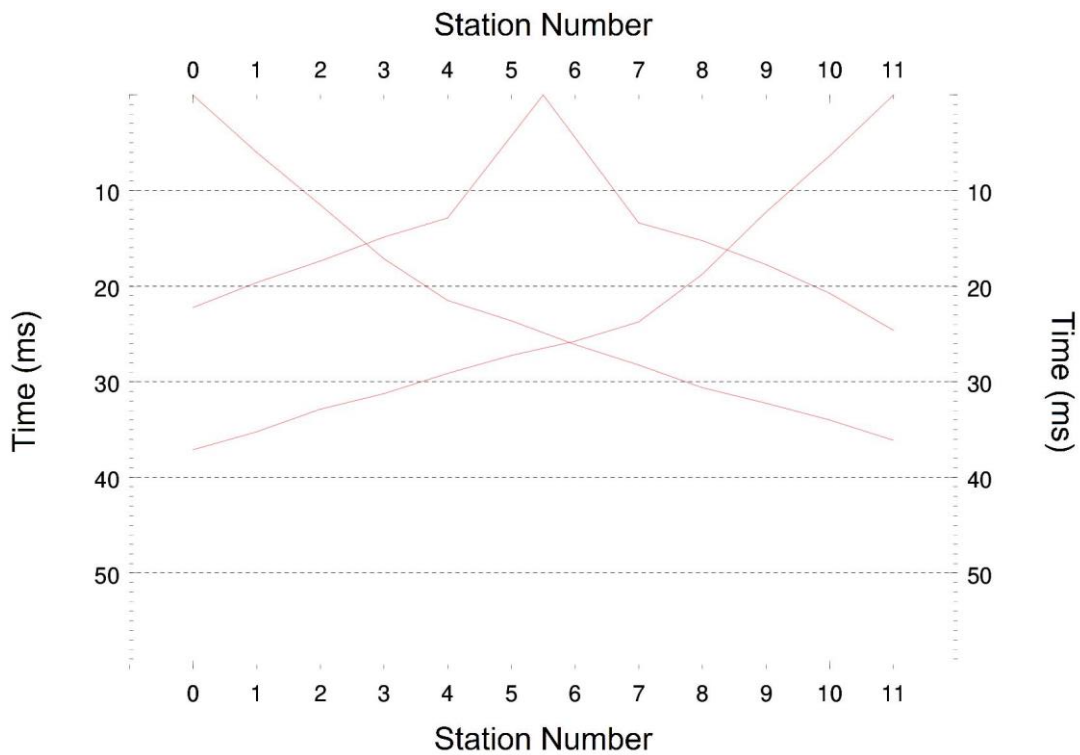
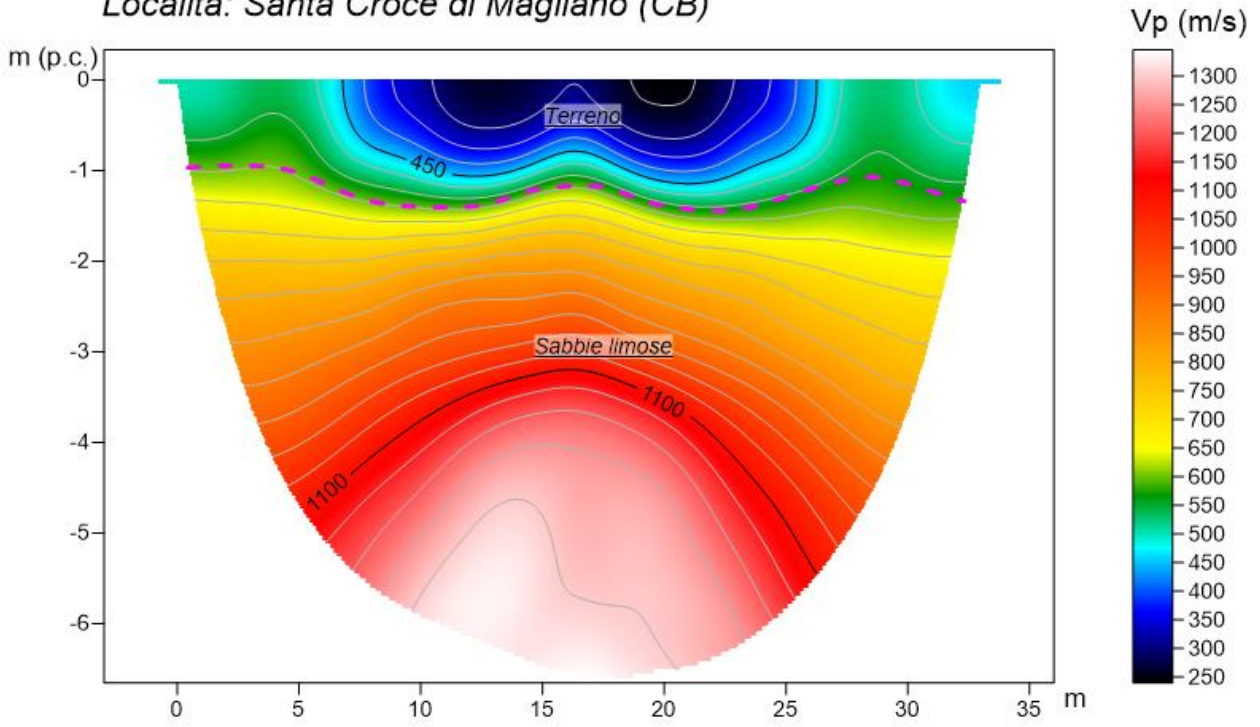
Profilo sismico SR 4

Il profilo sismico a rifrazione 4 ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore di 1.0 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 1100 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 4

Sismica tomografica a rifrazione S4
Località: Santa Croce di Magliano (CB)



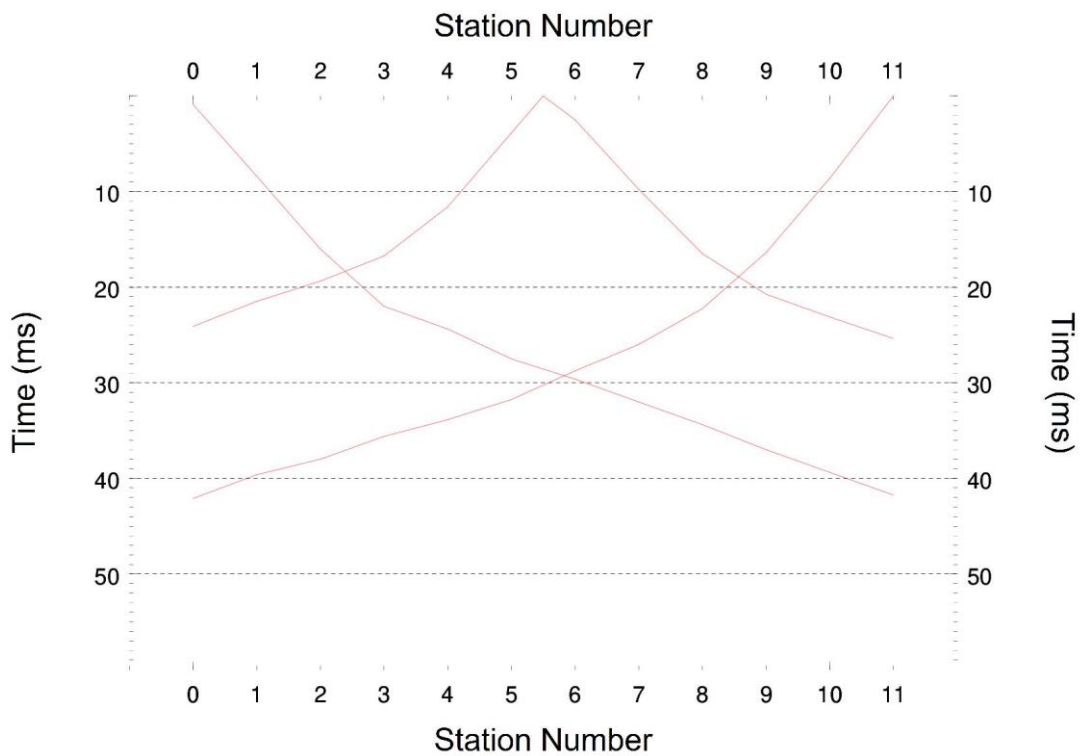
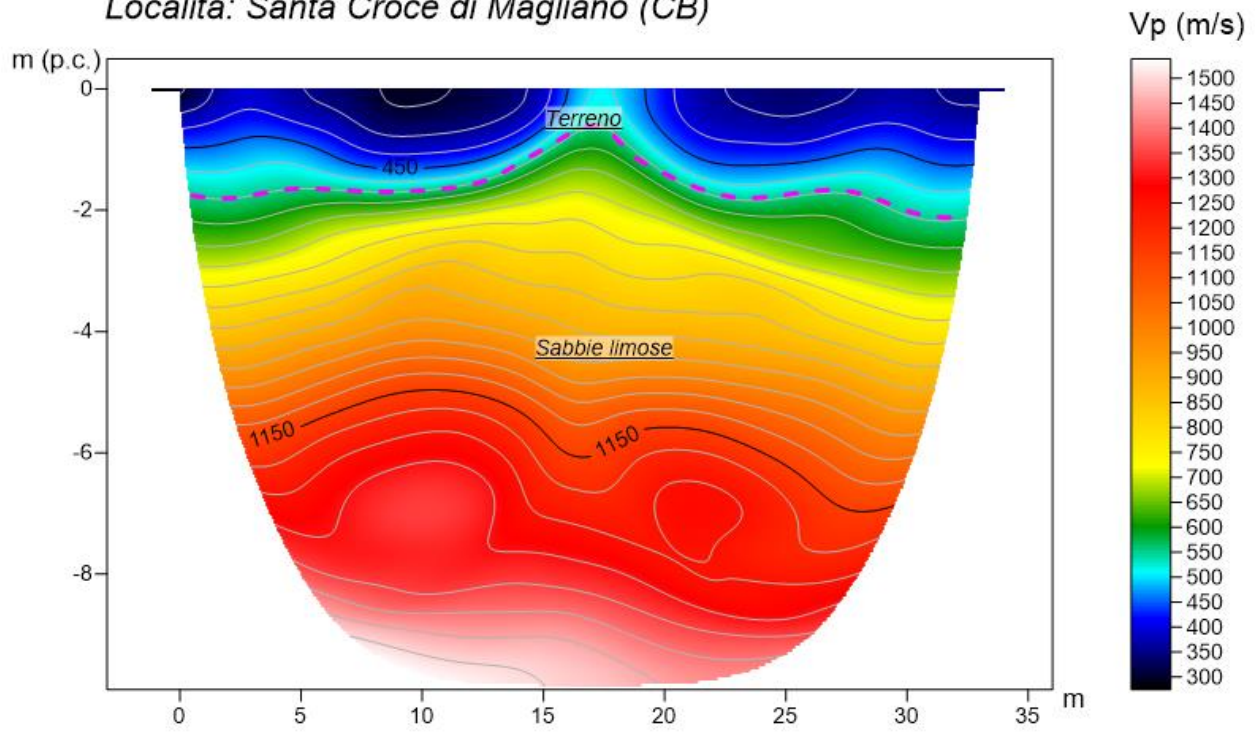
Profilo sismico SR 5

Il profilo sismico a rifrazione 5 ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore fino a 1.30 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 1150 m/sec; tali velocità sono da attribuire sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 5 e Masw 3 sullo stesso stendimento

Sismica tomografica a rifrazione 5
Località: Santa Croce di Magliano (CB)



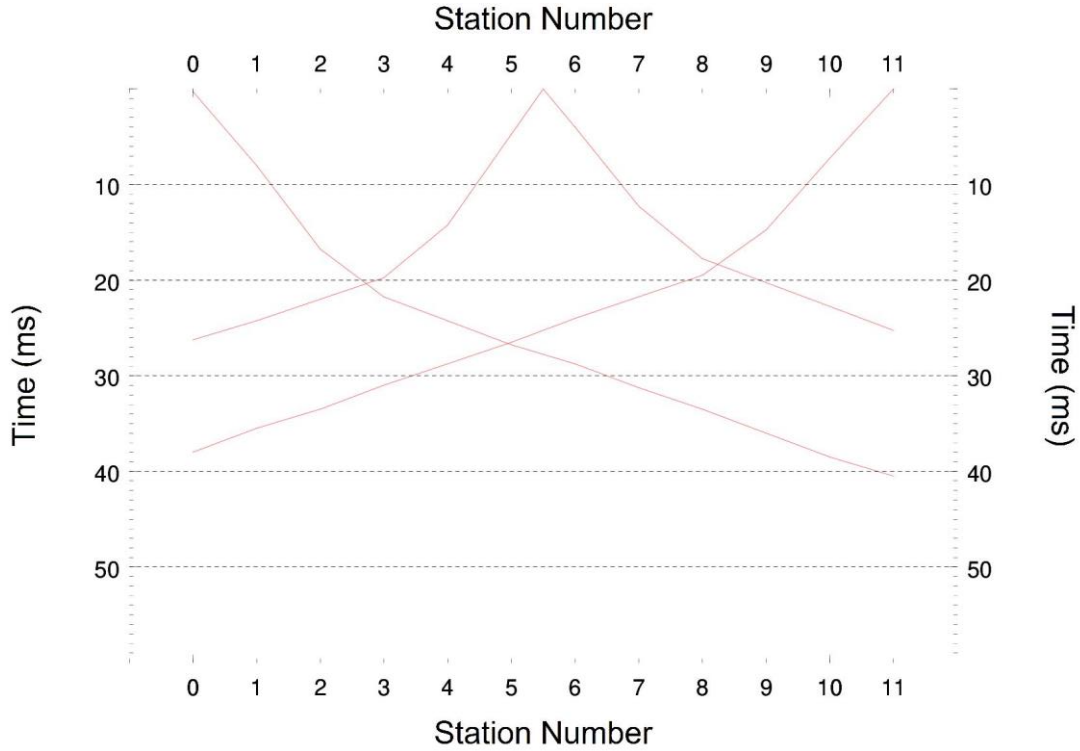
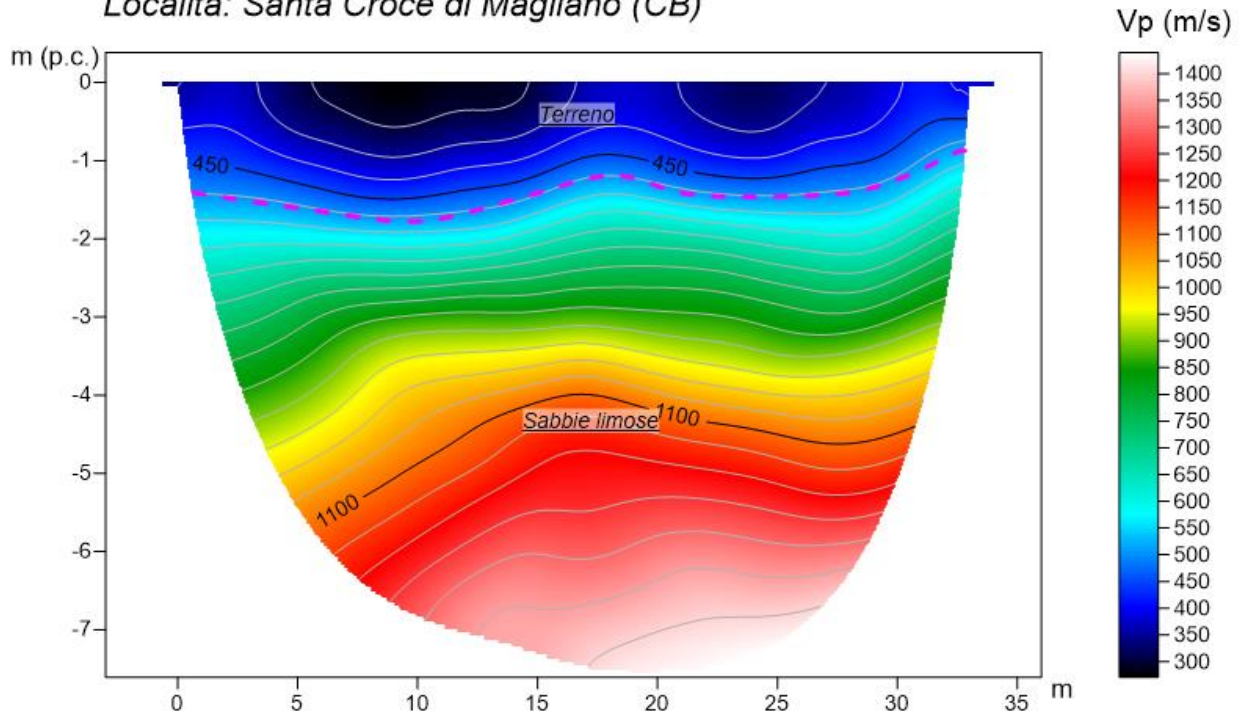
Profilo sismico SR 6

Il profilo sismico a rifrazione 6 ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore variabile tra 1.00 e 1.40 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità V_p di 450 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di V_p di 1100 m/sec; tali velocità sono da attribuire a sabbie limose.



Esecuzione profilo sismico a rifrazione 6

Sismica tomografica a rifrazione 6
Località: Santa Croce di Magliano (CB)



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

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ϕ (°)	C (kg/cmq)	γ (gr/cm ³)	E Din. (Kg/cmq)	η
1	400-450	-	-	-	-	-	-
2	1000-1100	270	27	0.11	1.88	2800	0.49

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

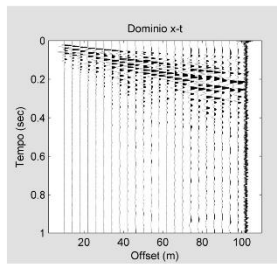
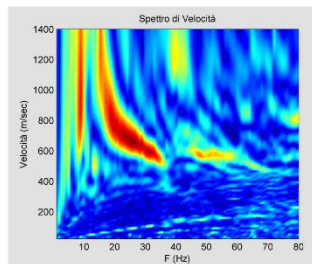
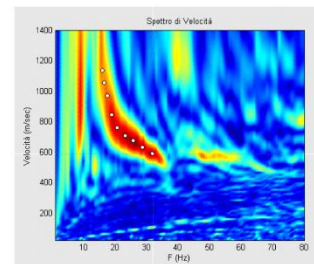
Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

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

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni (da 4.5 Hz) e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

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

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

Prima parte: determinazione curva di dispersione**Determinazione Spettro di Velocità****A) Caricamento dati****B) Calcolo spettro di velocità****C) Picking della curva di dispersione****Seconda parte: inversione della curva di dispersione****Inversione delle Curve di Dispersione****A) Fissare parametri di inversione**

secondo passo - definizione numero di strati

numero di strati: 3

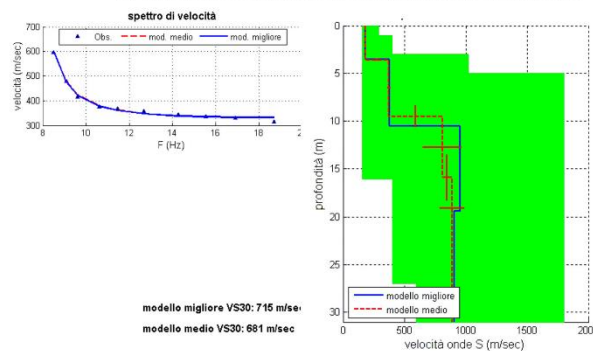
menu genetico

numero di individui (min 6 - max 10000): 50

numero di generazioni (min 10 - max 400): 40

	velocità minima (m/sec)	velocità massima (m/sec)	spessore minimo (m)	spessore massimo (m)
1° strato	257.948	572.628	0.16174	17.4894
2° strato	298.049	1021.62	0.16174	17.4894
semispazio	196.333	1570.66		Semispazio

annulla calcola

B) Lanciare l'inversione ed attendere il risultato

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).

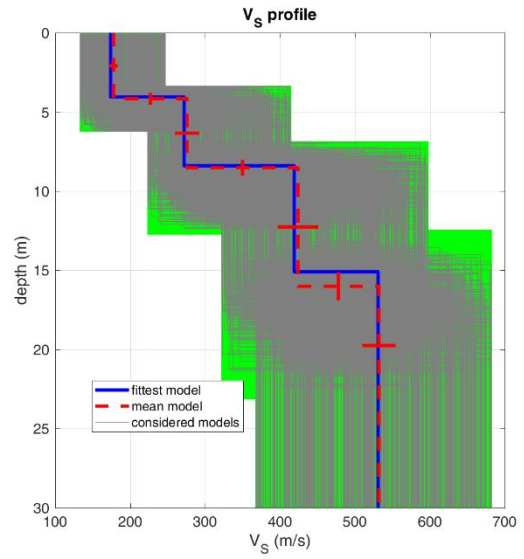
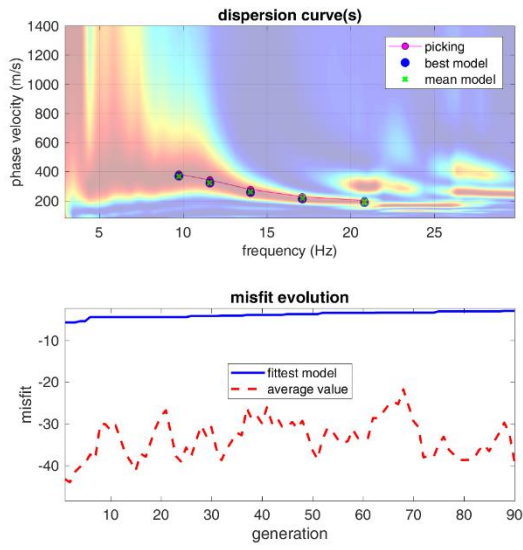
In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

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

La V_{Seq} è stata calcolata con la seguente espressione:

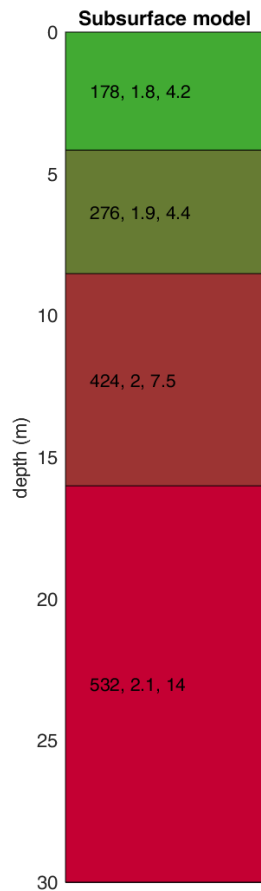
$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum h_i/V_i}$$

Profilo sismico Masw 1



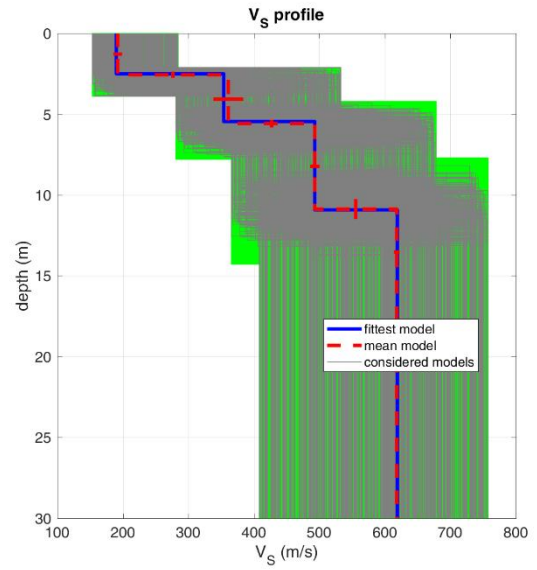
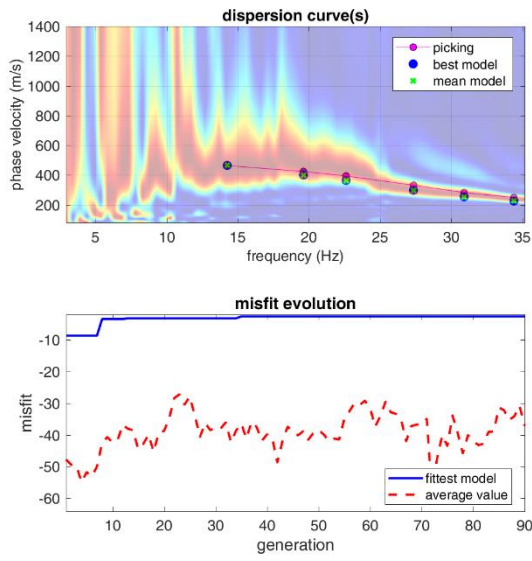
dataset: 1909.dat
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 360 360 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 361 361 m/s

www.wlnmasw.com



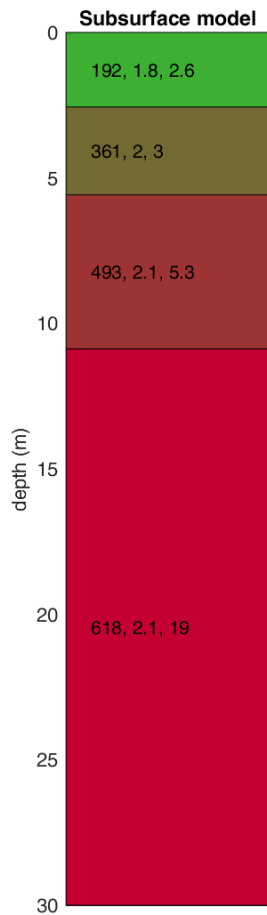
V_s density thickness
 (m/s) (gr/cm³) (m)

Profilo sismico Masw 2



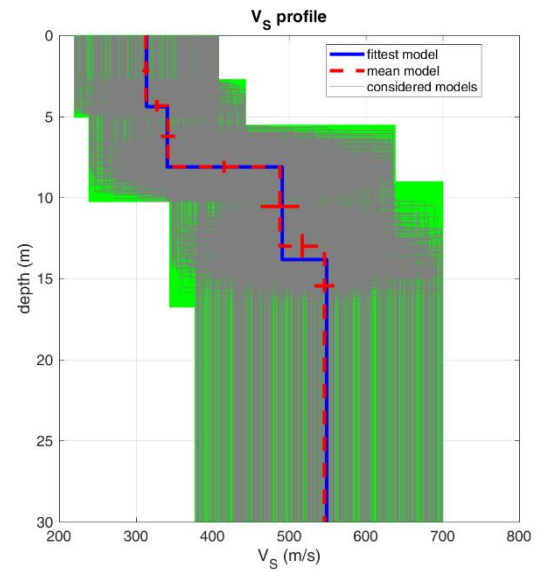
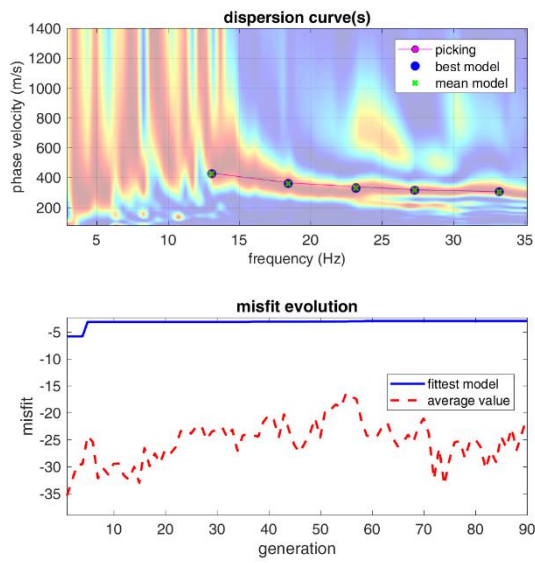
dataset: 1919.dat
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 473 473 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 473 473 m/s

www.wlmmasw.com



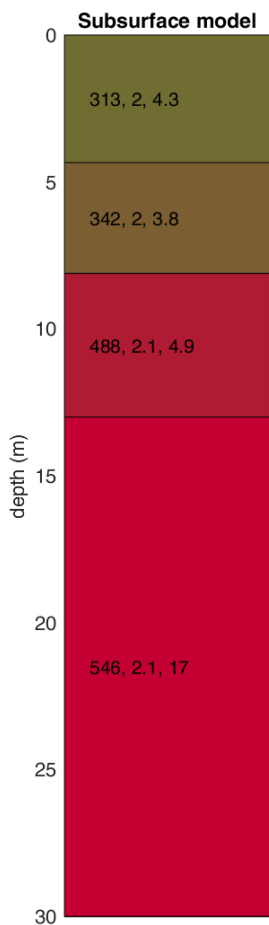
V _s	density	thickness
(m/s)	(gr/cm ³)	(m)

Profilo sismico Masw 3



dataset: 1938.dat
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 455 455 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 454 454 m/s

www.winmasw.com



V _s	density	thickness
(m/s)	(gr/cm ³)	(m)

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 = 360 m/sec

Masw 2 = 473 m/sec

Masw 3 = 455 m/sec

Il sottosuolo oggetto di studio rientra nella categoria B con valori di velocità equivalenti compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Ruffano, novembre 2023

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Geol. Marcello DE DONATIS

