


PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO CON POTENZA NOMINALE DI 38,3 MW_p DA REALIZZARE IN CONTRADA ZAFFARANA (TP) DENOMINATO "ZAFFARANA 38"



RELAZIONE GEOLOGICA

RELAZIONE GEOLOGICA						
Project Manager	 <p>Soluzioni Tecniche Multidisciplinari</p> <p>Ing. Giuseppe Meli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N. 5355</p> <p><i>TEAM di Progettazione:</i> <i>Ing. Davide Baldini</i> <i>Ing. Maurizio Savi</i> <i>Dott. Cristian Mancino</i> <i>Ing. Giovanni Termini</i> <i>Ing. Vincenzo Chiarelli</i> <i>Ing. Andrea Garramone</i> <i>Ing. Luca Argano</i></p>		Consulenze Specialistiche	<p>Dott. Geol. Michele Ognibene Viale Croce Rossa n.25 90145 - Palermo Tel. 091 - 9763933 ognibene.michele@gmail.com</p>		
	<p>Piazza Diodoro Siculo, 4 90141 - Palermo Tel. 091-6818075 info@stmingegneria.it</p>					
Visto Ente						
	Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato
0	05/09/2021		...			

1. PREMESSA

La Società EDPR SICILIA PV SRL Con sede in Milano (MI) Via Roberto Lepetit 8/10 CAP 20124 intende Realizzare nel Comune di Trapani (TP), un impianto Agro-Fotovoltaico denominato "Zaffarana" della potenza di 38,3 MW nel Comune di Trapani (Tp) in contrada "Zaffarana".

Il progetto dell'impianto fotovoltaico consisterà nella costruzione, montaggio e manutenzione di un impianto di produzione di energia elettrica costituito da moduli fotovoltaici monocristallini installati su sistemi ad inseguimento (tracker) monoassiale con inseguitori di rollio.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito quindi dai seguenti componenti:

- generatore fotovoltaico, le cui stringhe saranno costituite di moduli fotovoltaici di tipo monocristallino bifacciale in serie;
- strutture di sostegno dei moduli, infisse nel terreno;
- quadri di parallelo stringhe (QPS), con relativi diodi di stringa e scaricatori di sovratensione per il sezionamento e la protezione delle linee in corrente continua in ingresso agli inverter;
- quadro di sezionamento inverter;
- n. 141 inverter della Sungrow modello SG250HX con Potenza apparente nominale AC da 227 kVA @ 30°C collegati in parallelo sul lato bt delle cabine MT/bt;
- n.6 cabine di trasformazione bt/MT per elevare la tensione in uscita dagli inverter con trasformatori con rapporto di trasformazione 30/0,8 kV/kV, e potenza nominale apparente di 4,5 MVA;
- cavi elettrici di cablaggio;
- impianto di messa a terra;
- sistema di monitoraggio e controllo remoto;
- Potenza installata (lato CC) 38,3 MWp;
- Sistema di montaggio: Tracker monoassiale;
- Passo direzione ovest-est, interasse tracker 11 m;
- Totale moduli 65.988 moduli cristallini bifacciali.

In uscita dall'impianto si ha una terna di cavi MT che raggiungeranno la sottostazione elettrica utente, realizzata in un terreno individuato catastalmente al Foglio 189 p.IIa 26 del Comune di Marsala, dove avviene la trasformazione da 30 kV a 220 kV, tensione di collegamento alla RTN di Terna.

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

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

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

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

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

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

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

- ✓ Il sopralluogo preliminare, al fine di accertare la reale situazione dei luoghi e lo stato delle strutture ivi insediate.
- ✓ La ricerca bibliografica, allo scopo di ricostruire, sulla base degli studi svolti da numerosi autori italiani e stranieri, il quadro generale della storia geologica e strutturale della zona.

- ✓ Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, in una zona estesa al contorno, in modo da avere un quadro d'insieme indicativo e, quindi, inquadrare il sito nell'ambito di un contesto geolitologico e geomorfologico più ampio.
- ✓ L'analisi di n.4 indagini di sismica a rifrazione (identificate con le sigle RZ1, RZ2 RZ3 e RZ4) che ha consentito di individuare le principali discontinuità grazie alla velocità delle onde P e di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo in esame.
- ✓ L'analisi di n.4 acquisizioni di sismica MASW (identificate con le sigle MW1, MW2 MW3 e MW4) eseguita entro l'area oggetto di studio, ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20/03/2003 (GU n.252 del 29/10/2003) e dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018.

Il lavoro ha inoltre portato alla redazione di allegati cartografici che ne costituiscono parte integrante.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in cui sorgerà l'impianto in progetto, ricade nel territorio comunale di Trapani (TP) in contrada Zaffarana. L'area è raggiungibile percorrendo la strada provinciale 8 fino al congiungimento con la strada provinciale 43 e, successivamente, proseguendo su strade secondarie che incrociano perpendicolarmente la provinciale 8. Il territorio oggetto di studio ricade amministrativamente all'interno del comune di Trapani così come anche catastalmente i terreni.



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

Dal punto di vista Cartografico il sito ricade nella tavoletta I.G.M. 257 IV SE e nelle sezioni 605120 (la quasi totalità dell'impianto) e 605160 (marginalmente le estremi porzioni meridionali dell'impianto) della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

I dati geografici (WGS84) di riferimento della porzione baricentrica dell'impianto, sono:

- Latitudine = **37° 51' 15.5267" N**
- Longitudine = **12° 38' 26.9445" E**
- Altitudine media = **105 m s.l.m.**

Dal punto di vista planimetrico, in linea generale le quote diminuiscono verso la parte centrale dell'impianto dove si raggiungono i 95 metri s.l.m., in corrispondenza di un impluvio che attraversa l'impianto da est verso ovest riversando le acque circa 1 km più a ovest all'interno dell'invaso artificiale Zaffarana. Si raggiungono quote massime di circa 125

m. s.l.m. lungo i confini settentrionale e meridionale dell'impianto lungo le basse pendici di Serre delle Rocche.

L'energia generata dal parco fotovoltaico raggiungerà la sottostazione elettrica utente, realizzata in un terreno individuato catastalmente al Foglio 189 p.lla 26 del Comune di Marsala, dove avviene la trasformazione da 30 kV a 220 kV, tensione di collegamento alla RTN di Terna.

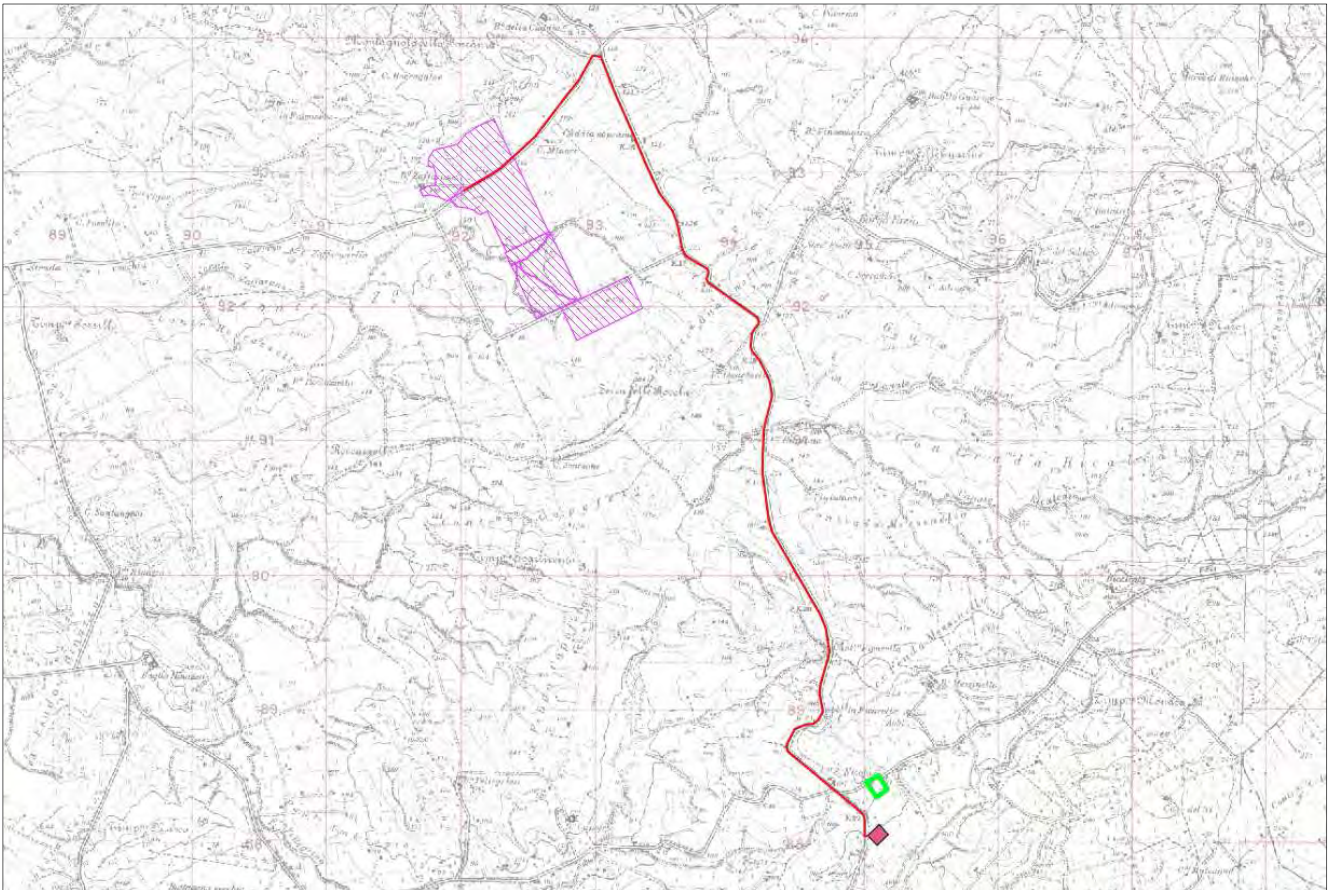


Fig.2.2: Inquadramento dell'impianto e linea di collegamento elettrica (linea rossa) alla nuova stazione utente (Riquadro Rosso) ed alla RTN Partanna 2 (Riquadro Verde).

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Gli studi geologici e la redazione della presente relazione sono stati eseguiti seguendo le prescrizioni delle norme, i cui riferimenti sono di seguito riportati:

- ✓ D.M. 17 Gennaio 2018 – Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- ✓ Circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014;
- ✓ D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni; Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 – istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- ✓ Norme Tecniche di cui al D.M. 11.03.88 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica."; modificata dall'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005;
- ✓ Delibera della Giunta Regionale della Regione Siciliana n. 408 del 19/12/2003 - "Elenco dei comuni della Sicilia classificati sismici con i criteri della delibera di Giunta Regionale n.408 del 19 Dicembre 2003" pubblicato sulla GURS n.7 del 13/02/2004";
- ✓ Regio Decreto Legge 30 dicembre 1923, n.3267 - "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- ✓ Regolamento 16 maggio 1926, n.1126 - "Approvazione del regolamento per l'applicazione del R.D. 30 dicembre 1923, n.3267, concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- ✓ Legge regionale 6 aprile 1996, n.16 - "Riordino della legislazione in materia forestale e di tutela della vegetazione";
- ✓ Legge Regionale 14 aprile 2006, n.14 - "Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 6 aprile 1996, n. 16, - "Riordino della legislazione in materia forestale e di tutela della vegetazione";
- ✓ Legge 18 maggio 1989, n.183 - "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e s.m.i.;
- ✓ Legge 3 agosto 1998, n. 267 - "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania" e s.m.i.;

- ✓ Nota del Dirigente Generale del Comando del Corpo Forestale n.55184 del 28/12/2011;
- ✓ D.A. N. 569 del 17/04/2012 - "Nuove direttive unificate per il rilascio delle autorizzazioni e del Nulla Osta al vincolo idrogeologico in armonia con il Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) G.U.R.S. N. 18 DEL 4 MAGGIO 2012, approvate con D. Assessoriale N. 569 del 17/4/2012.

4. GEOLOGIA

4.1 Inquadramento geologico generale

Il sito in progetto si localizza in generale nell'estremo settore occidentale della Sicilia, ricadono in una zona il cui contesto geologico generale riguarda terreni affioranti in unità e successioni più superficiali, di età quaternaria ed olocenica, trasgressive sul basamento originario, costituito da terreni ascrivibili al periodo compreso tra il Triassico ed il Pliocene. L'ampia piana costiera, che si sviluppa tra gli abitati di Trapani e di Marsala, è caratterizzata prevalentemente dai depositi di natura calcarenitica di età quaternaria ed, in subordine, da terreni di natura argillosa, argilloso-marnosa ed arenacea di età compresa tra il Miocene ed il Pliocene. Le unità stratigrafiche, affioranti nelle aree più interne, sono essenzialmente riconducibili a terreni afferenti al Dominio Trapanese e al Complesso Postorogeno. In ordine stratigrafico, dall'alto verso il basso, nell'area in esame si possono individuare i seguenti depositi, così come riportato nella cartografia CARG Foglio 605 "Paceco" reperibile online dal sito dell'Ispra:

DEPOSITI EMERSI QUATERNARI

Sintema di Capo Plaia:

- Detrito di Falda costituito da ciottoli a spigoli vivi eterometrici e poligenici (AFL_{a3});
- Limi sabbiosi fluviali grigiastri con faune miste di gasteropodi e lamellibranchi (AFL_b);
- Ghiaie, sabbie e limi eluviali e colluviali variamente frammisti, spesso pedogenizzati (AFL_{b2}). Questi ultimi ricoprono diffusamente il sito in progetto;
- Ghiaie eterometriche e poligeniche brune o giallastre, a clasti prevalentemente arrotondati di 2- 20 cm, a supporto di matrice sabbioso-argillosa: sabbie e limi argillosi e suolo agrario terrazzati in più ordini. Spessore fino a 15 metri (bn-gn).

SUCCESSIONI MESO-CENOZOICHE DEL DOMINIO PREPANORMIDE

Argille Marnose, Calcari e Arenarie Glauconitiche di Monte Luziano

La formazione è stata separata in due unità di associazione di litofacies che vengono definite principalmente sulla base della prevalenza della facies clastico-carbonatiche o di

quelle clastico-terrigene. Quando non differenziabili i litotipi sono stati assegnati all'unità litostratigrafica indistinta (LUO). Il contenuto fossilifero è indicativo dell'intervallo Oligocene superiore- Miocene Medio. Nel loro insieme i depositi raggiungono di oltre 300 metri. Si distinguono al suo interno:

Marne, calcari, biocalcareni ed arenarie glauconitiche di Montagnola della Borranìa.

Marne, calcilutiti (LUO_a) con intercalazioni di arenarie, banchi di calcareniti e calciruditi glauconifere e bioclastiche a base generalmente erosiva (LUO_c).

Arenarie, argille sabbiose, quarzosiltiti glauconitiche e calcareniti bioclastiche torbiditiche di Costiere Sigiare.

Arenarie fini e grossolane fino a sabbie argillose con grandi molluschi, progressivamente più ricche in glauconite verso l'alto (LUO_b) con intercalazioni di calcareniti e calcirudite molto glauconifere (LUO_d).

4.2 Geologia del sito di intervento

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto al sito di progetto, opportunamente correlato con le interpretazioni delle indagini sismiche in situ effettuate, hanno permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata. Le formazioni geologiche che affiorano nell'area in studio, procedendo da quelle di deposizione più recente verso quelle più antiche, sono le seguenti:

Depositi Eluvio Colluviali:

Ricoprono diffusamente l'area oggetto di studio con spessore variabile 2-5 metri dal p.c. e ammantano i sottostanti depositi clastico-terrigene della formazione marnosa arenacea di Monte Luziano. Gli spessori medi riscontrati attraverso le indagini di sismica a rifrazione risultano essere rispettivamente di 2,5 m dal p.c. in Rz1, 2 metri dal p.c. in Rz2 e Rz4 e 5 metri in Rz3 con un leggero assottigliamento verso le quote più elevate. Tali depositi sono prevalentemente incoerenti, costituiti da limi con intercalazioni di sabbie e ghiaie variamente frammisti spesso pedogenizzati. I limi sono costituiti, in prevalenza, da minerali argillosi e sono privi di tessitura; le sabbie, che presentano granulometria variabile da fine a grossa, sono costituite per la maggior parte da elementi calcarei.

Da un punto di vista geotecnico è da considerare un substrato estremamente plastico, privo di coesione e di scarse capacità portanti.

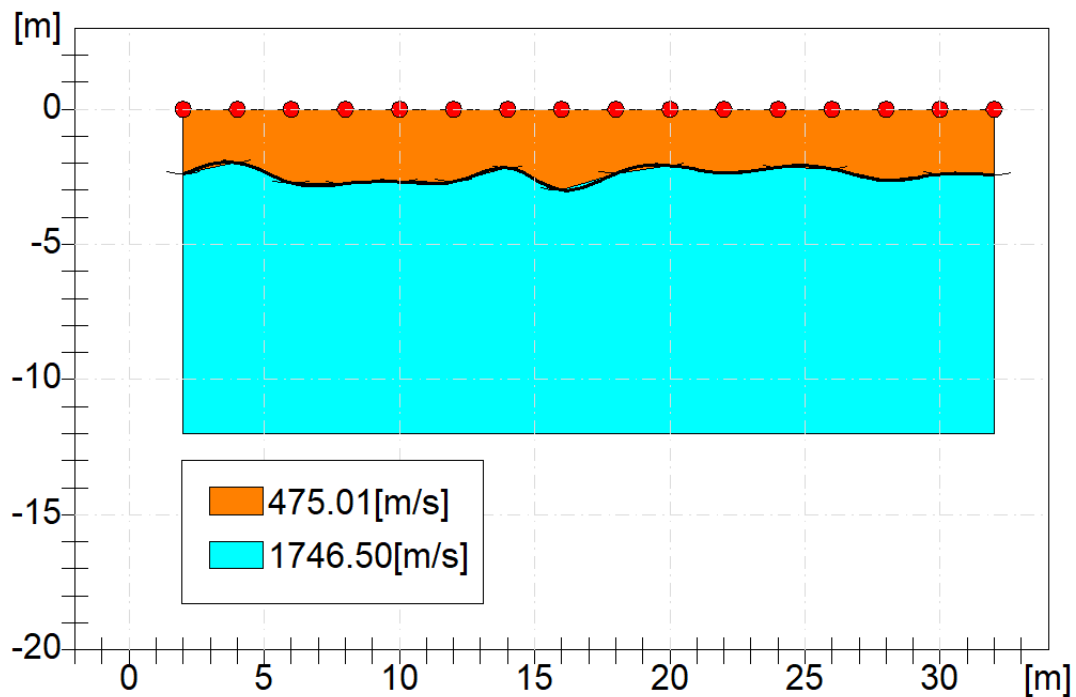


Fig. 4.1.1: Sismo-sezione Rz1 eseguita all'interno del sito in progetto.

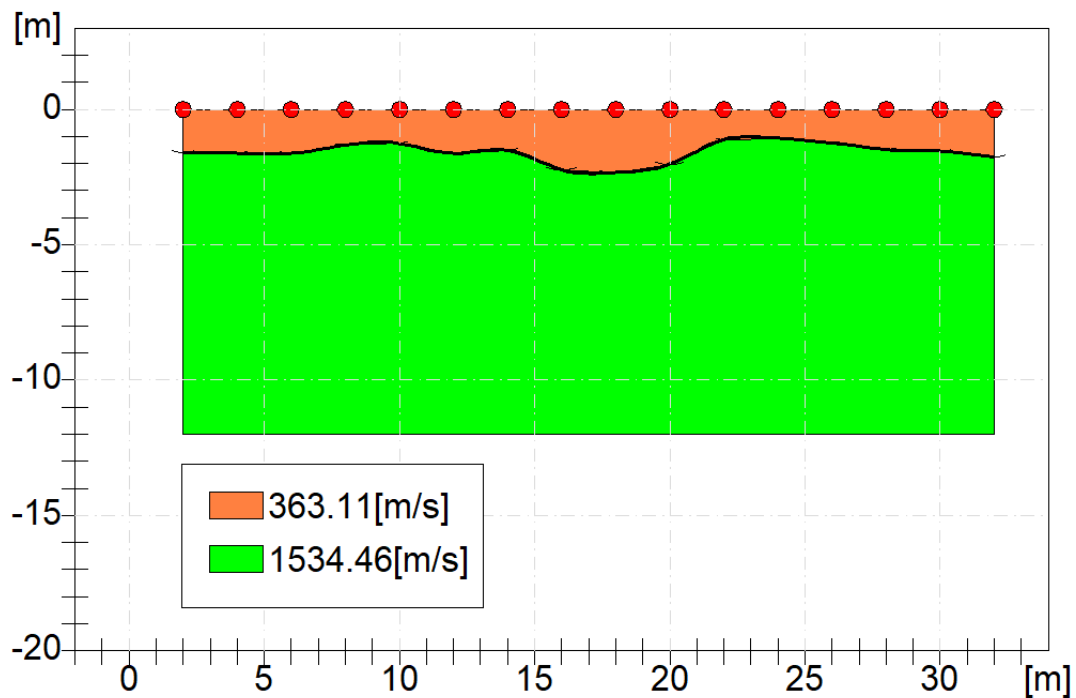


Fig. 4.1.2: Sismo-sezione Rz2 eseguita all'interno del sito in progetto.

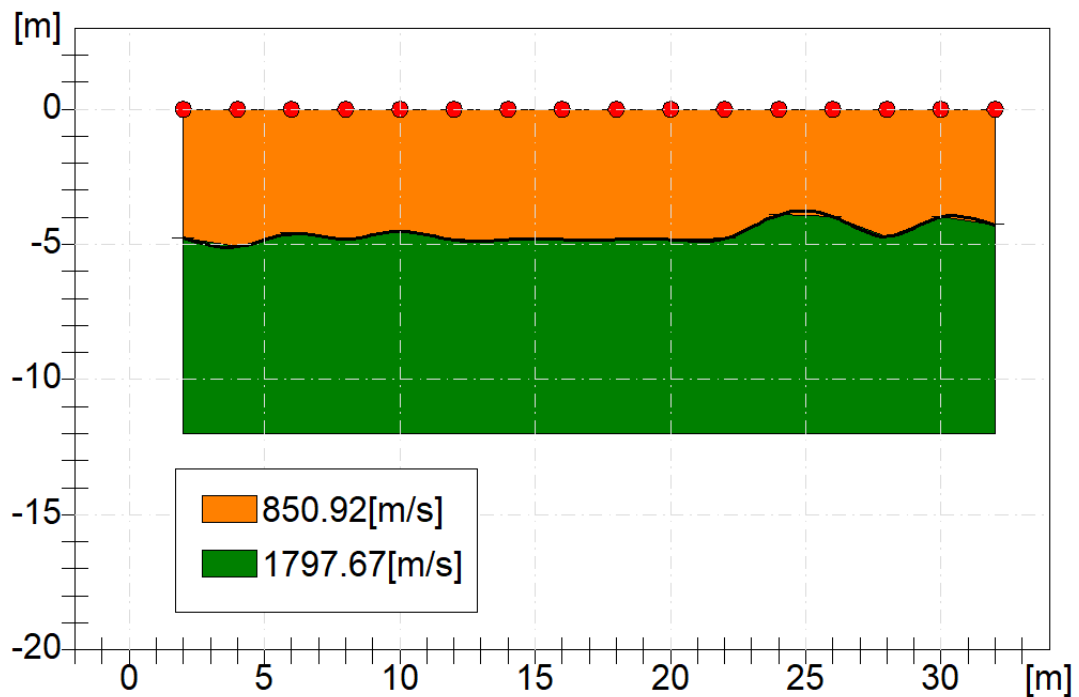


Fig. 4.1.3: Sismo-sezione Rz3 eseguita all'interno del sito in progetto.

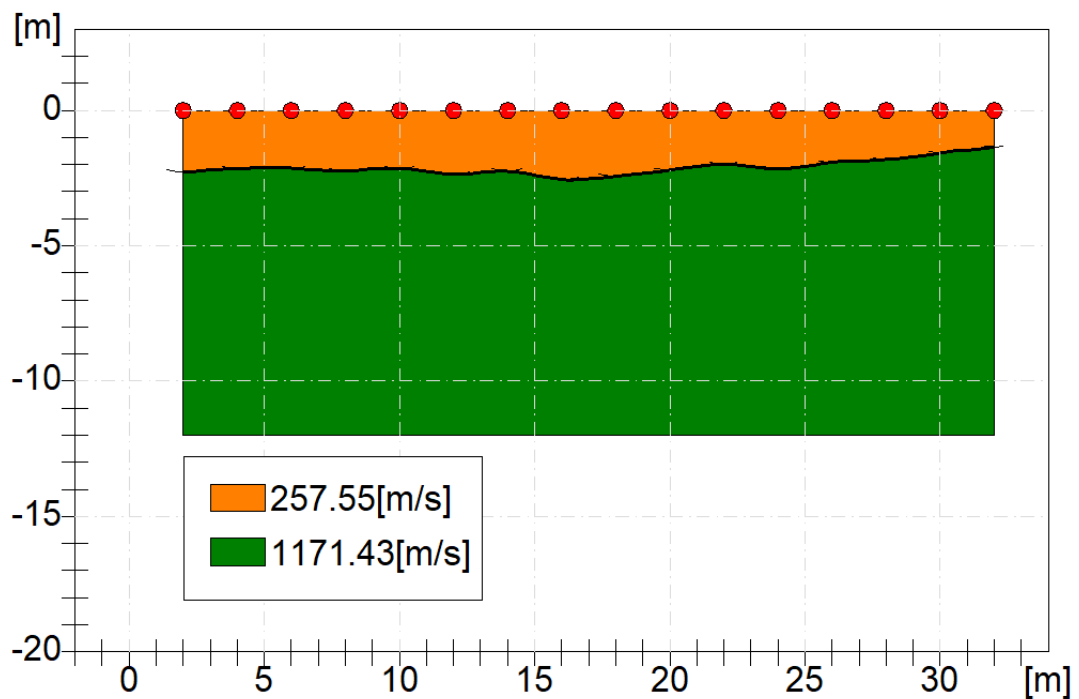


Fig. 4.1.4: Sismo-sezione Rz4 eseguita all'interno del sito in progetto.

Volendo sintetizzare quanto sopra specificato è stato possibile ricostruire il modello stratigrafico dell'area che per questo sito è assimilabile ad un modello a 4 strati, così evidenziato:

-**Livello 1:** costituito da terreno agrario, detritico caratterizzato da una matrice limo-sabbiosa con presenza di litici spigolosi di varia natura. Lo spessore è di circa 1,0 metri.

-**Livello 2:** livello litologico, a componente prevalente limo-argillosa-sabbiosa, nell'insieme risulta poco consistente. Lo spessore, lungo le verticali di indagine, è valutabile in 4,0 metri.

-**Livello 3:** livello litologico costituito da limi argillo-sabbiosi, appare come un livello di transizione da moderatamente consistente a consistente con uno spessore, lungo le verticali di indagine, di circa 1,5 metri.

-**Livello 4:** livello litologico costituito da limo-argillosa con possibili intercalazioni arenitiche, risulta nell'insieme da consistente a molto consistente fino alla profondità indagata.

La geologia generale con la descrizione delle formazioni affioranti vengono sintetizzate nella carta geologica e sezione geologica schematica allegata al progetto.

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

5. GEOMORFOLOGIA

La morfologia dell'area è il risultato delle azioni combinate di diversi processi sia endogeni che esogeni. In linea generale, la morfologia risulta prevalentemente di tipo collinare, nella zona settentrionale, con rilievi caratterizzati da versanti a debole pendenza e forme arrotondate, in corrispondenza dei terreni argillosi. Tali rilievi, che per le loro caratteristiche litologiche risultano interessati da fenomeni di erosione dovuta alle acque superficiali, si raccordano con le aree sub-pianeggianti nelle zone di fondovalle. Rilievi caratterizzati da versanti più acclivi posti a nord del sito in progetto (Montagnola della Borrania) e a sud (Serre delle Rocche) caratterizzano zone in cui affiorano litotipi più competenti, arenacei-calcarenitici. L'evoluzione morfologica del territorio in esame risulta fortemente condizionata dai processi gravitativi ed erosivi che determinano l'attuale stato di dissesto. Laddove affiorano litotipi carbonatici sono presenti anche processi erosivi dovuti ad alterazione e dissoluzione chimica. Una certa importanza riveste, inoltre, l'attività antropica che con il modellamento artificiale dei pendii e il carico aggiunto dovuto all'espansione dei centri abitati costituisce spesso uno dei fattori innescanti di rapidi processi evolutivi finalizzati a compensare gli squilibri generati, producendo anche fenomeni franosi. Naturalmente lo stato morfologico attuale dell'area rappresenta una fase transitoria del processo di modellamento della superficie tendente ad una condizione di equilibrio, e pertanto, nel tempo, è suscettibile di continue modificazioni. In linea generale, le condizioni di dissesto derivano dalla combinazione dell'assetto litologico e strutturale con altri fattori predisponenti delle condizioni di instabilità, quali ad esempio le caratteristiche climatiche (contrasto fra il semestre piovoso e quello asciutto con notevoli variazioni cicliche annuali) e la presenza di ampie aree ad uso agricolo estensivo che espongono terreni arati e, quindi, senza vegetazione al ruscellamento autunnale ed invernale. Le morfologie derivanti sono connesse all'erodibilità delle rocce affioranti, in relazione con lo stato di acclività dei versanti; l'azione erosiva risulta maggiormente accentuata in corrispondenza degli affioramenti plastici piuttosto che in quelli lapidei. Nei versanti argillosi e argilloso-sabbiosi l'azione erosiva si esercita con più rapidità e facilità; la rete idrografica risulta infatti notevolmente sviluppata, con incisioni più o meno accentuate in funzione delle condizioni di acclività del pendio, dello stato di alterazione dei terreni e della presenza di copertura vegetale. In questo contesto si sviluppano condizioni di dissesto dovuti ad erosione accelerata che si manifesta con la formazione di fossi di erosione

concentrata, particolarmente accentuati lungo i pendii argillosi e detritici, e forme di erosione diffusa spesso degeneranti in strutture calanchive.

5.1 Considerazioni sulla stabilità del versante oggetto di Studio

In linea generale dal punto di vista morfologico l'area in progetto risulta mediamente pianeggiante e rientra prevalentemente nella classe 0-5° (**cf. carta delle pendenze**). Dal punto di vista planimetrico, in linea generale le quote diminuiscono verso la parte centrale dell'impianto dove si raggiungono i 95 metri s.l.m., in corrispondenza di un impluvio che attraversa l'impianto da est verso ovest riversando le acque circa 1 km più a ovest all'interno dell'invaso artificiale Zaffarana. Si raggiungono quote massime di circa 125 m. s.l.m. lungo i confini settentrionale e meridionale dell'impianto lungo le basse pendici di Serre delle Rocche. Per la conoscenza globale dello stato di dissesto idrogeologico del territorio, sono state consultate le carte redatte per il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia. Dal P.A.I. sono state riprodotte le carte relative ai dissesti ed alla pericolosità geomorfologica. Le verifiche dirette attraverso sopralluoghi, integrate con gli studi e le indagini specifiche, non hanno evidenziato situazioni di rischio o individuato pericolosità connesse ai dissesti sui versanti o pericolosità idrauliche o idrologiche sia per l'area di installazione dell'impianto agro-fotovoltaico sia lungo il tracciato del cavidotto.

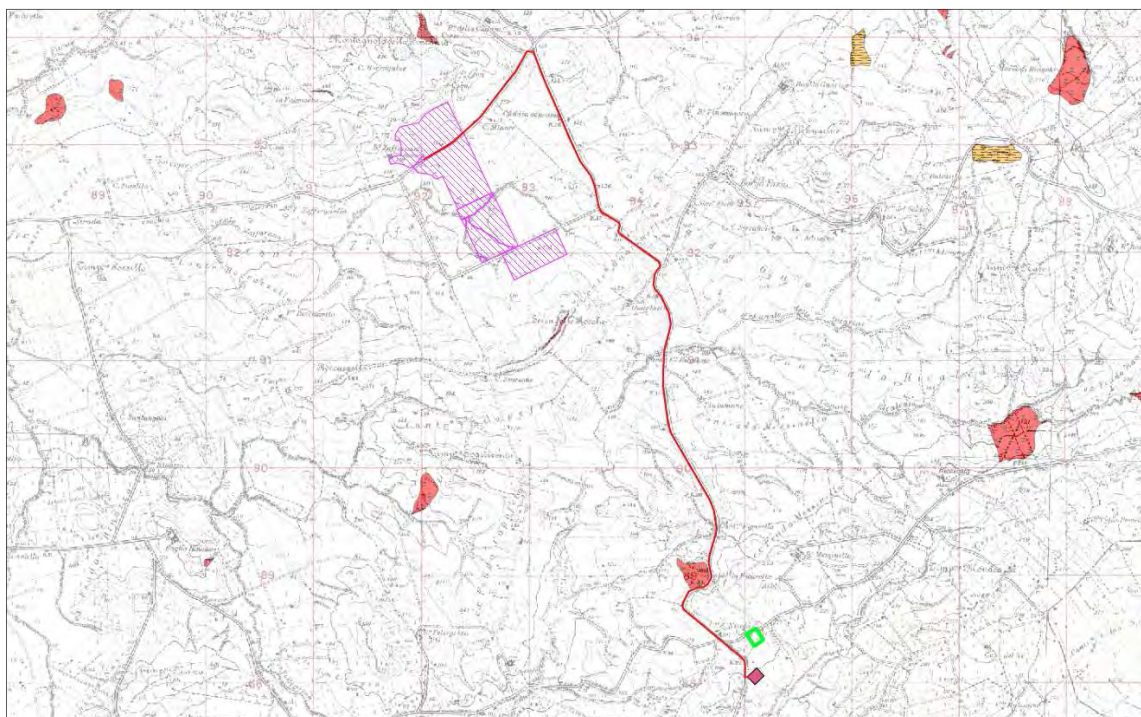


Fig. 5.1.1: Stralcio dissesti PAI area di progetto.

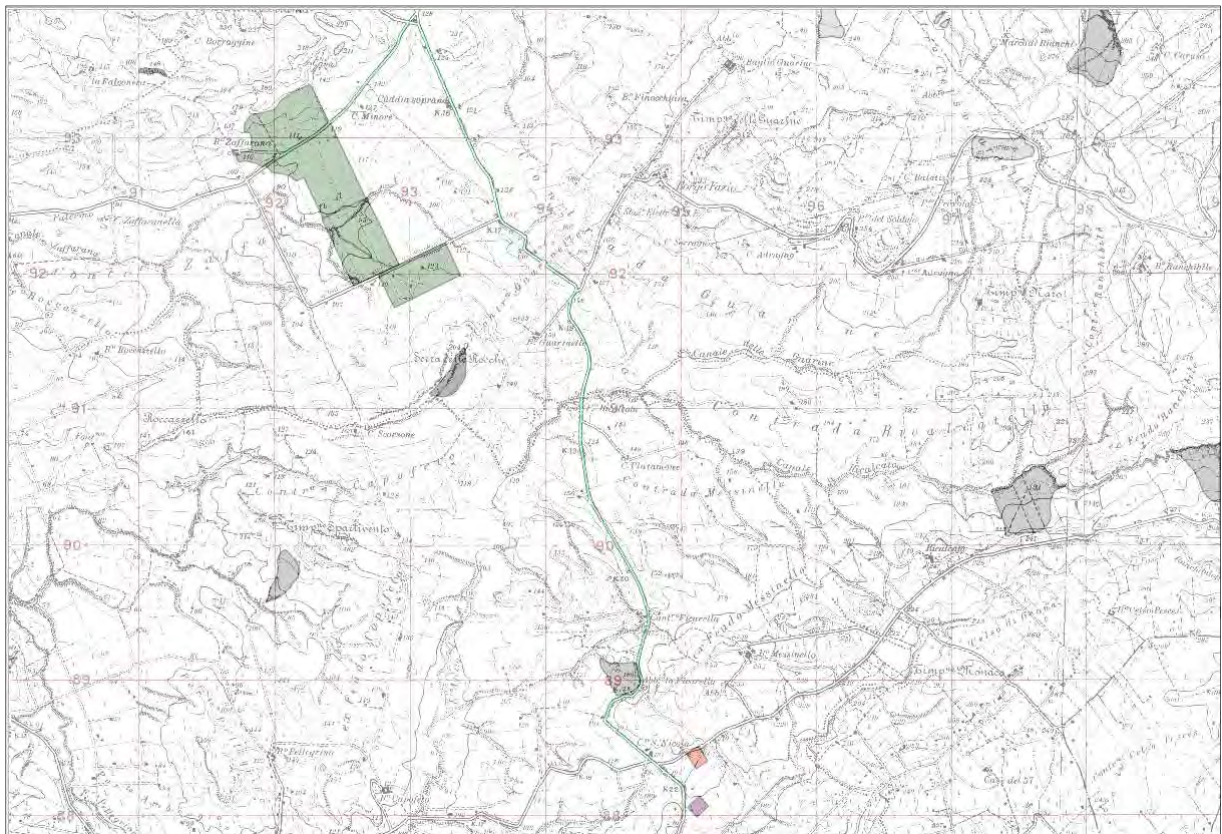


Fig. 5.1.2: Stralcio Pericolosità Geomorfologica PAI area di progetto.

Dal punto di vista geomorfologico, pertanto, l'area è inserita in un ambiente, che non lascia prevedere evoluzioni negative per l'insediamento dell'opera in progetto, e pertanto, presenta i necessari requisiti, per definirla idonea alla realizzazione dell'opera in progetto. **(cfr. cartografia allegata).**

Unico elemento da segnalare e attenzionare nelle successive fasi progettuali, riguarda un'area a franosità diffusa identificata con il codice dissesto 051-9MA-002 che ricade, in prossimità del tracciato del cavidotto, lungo la SP8, in località abbeveratoio La Ficarella che determina una pericolosità geomorfologica P2.

Il fenomeno erosivo appare riconducibile, all'assenza di opere di regimentazione idraulica delle acque di scorrimento superficiale. In sede di progettazione esecutiva occorrerà attenzionare l'area dal punto di vista di stabilità generale e puntuale al fine di valutare le opportune opere di drenaggio e consolidamento, possibilmente con interventi di ingegneria naturalistica.



Fig. 5.1.3: Area in dissesto lungo la SP8 interessata dal percorso del cavidotto.

6. VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE E PERMEABILITÀ

In questo paragrafo si rappresentano le principali caratteristiche idrogeologiche esistenti nel territorio preso in considerazione.

La caratterizzazione idrogeologica dei terreni individuati scaturisce da una serie di osservazioni qualitative riguardanti gli aspetti macroscopici che questi presentano ad un primo esame, quali: porosità, fatturazione grado di cementazione, discontinuità strutturali. La permeabilità dei complessi idrogeologici affioranti nell'areale oggetto di studio, risulta essere, principalmente, primaria per porosità ed in maniera ridotta per fratturazione, laddove si riscontra una cementazione piuttosto spinta dei litotipi marnosi e arenacei.

Sulla base delle considerazioni di carattere geologico-strutturale, l'area in esame, può essere suddivisa, dal punto di vista idrogeologico, in tre complessi principali; infatti, la circolazione idrica sotterranea presenta aspetti e caratteristiche differenti in relazione soprattutto ai litotipi affioranti, ma anche al loro particolare assetto. Di seguito si riportano le caratteristiche idrogeologiche dei terreni dell'intorno investigato, associati in funzione delle loro caratteristiche.

Rocce permeabili per porosità (permeabilità medio-bassa)

Appartengono a questa categoria i depositi eluvio-colluviali. I terreni di tale complesso idrogeologico presentano una permeabilità variabile da medio-bassa, in funzione del prevalere della classe granulometrica più minuta su quella grossolana. Generalmente i pori intergranulari dei depositi clastici aventi una scarsa matrice limosa tendono a saturarsi durante la circolazione delle acque di infiltrazione consentendo la formazione di un acquifero.

Tuttavia, quando la componente pelitica prevale in percentuale su quella sabbio-ghiaiosa, la permeabilità tende a diminuire perché i pori si occludono rendendo difficoltosa la circolazione idrica.

Rocce mediamente permeabili per porosità e/o fessurazione

Appartengono a questa categoria le Argille Marnose, Calcari e Arenarie Glauconitiche di Monte Luziano e le Marne biocalcarenitiche e le arenarie glauconitiche di Montagnola della Borrania.

Rocce permeabili per porosità (permeabilità alta)

Appartengono a questa categoria il detrito di Falda costituito da ciottoli a spigoli vivi eterometrici e poligenici e le ghiaie eterometriche e poligeniche brune o giallastre, a clasti prevalentemente arrotondati di 2-20 cm.

In conclusione, sulla base delle indagini effettuate trattandosi di un areale piuttosto ampio, laddove prevale la componente limosa e argillosa la permeabilità è medio bassa, laddove invece risulta prevalente la componente sabbiosa e ghiaiosa e permeabilità risulta medio alta. Unico elemento di rilievo è la possibile presenza, a seguito di precipitazioni intense, di uno locale scorrimento delle acque di infiltrazione sub-superficiale da monte verso valle. Tale aspetto dovrà essere meglio attenzionata nelle successive fasi progettuali attraverso la sistemazione con tecniche di ingegneria naturalistica.

Al fine di mantenere inalterato la naturale capacità di assorbimento delle acque meteoriche da parte dei terreni, bisognerà limitare al massimo la realizzazione di superfici impermeabili quali a titolo esemplificativo il manto di copertura della viabilità interna, delle piazzole, utilizzando materiale con misto granulometrico opportunamente classato che garantirà un grado di permeabilità idonea. Con tali accorgimenti le acque piovane verranno

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

Inoltre la creazione di fasce vegetali di rinaturazione e la messa a dimora della cotica erbosa tra le strighe, avranno effetti benefici sulla mitigazione di fenomeni quali splash erosion e rill erosion che concorrono in maniera determinate al "Consumo del Suolo" e "al rischio desertificazione". Tali aspetti mitigativi, unitamente alle soluzioni tecniche prescritte nella relazione agronomica, avranno effetti positivi anche sull'applicazione del principio di invarianza idraulica, grazie ad una diminuzione dei valori di coefficienti di deflusso meteorico ed un miglioramento dei valori di infiltrazione efficace e di ritenzione idrica non incrementando, dunque, le portate di deflusso verso i corpi idrici ricettori rispetto ai valori preesistenti.

Per quanto riguarda gli aspetti delle interferenze con il reticolo idrografico le linee di drenaggio superficiale delle aree oggetto di studio sono ben evidenti e si manifestano con un pattern di tipo dendritico o sub-dendritico. Il reticolo in particolare nel sito in progetto mostra una direzione preferenziale E-W. Gli impluvi che scorrono all'interno del sito in progetto risultano quasi sempre in condizioni asciutte, e fungono da elementi idrografici di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento verso l'invaso artificiale Zaffarana posto a circa 1 km più a ovest rispetto il sito in progetto.

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

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

I risultati di questa analisi preliminare sono riferiti all'area di progetto e ad un intorno significativo.

7 INDAGINE SISMICHE

Il piano di indagini in fase di progettazione definitiva ha previsto la realizzazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018, la realizzazione di n°4 stendimenti per indagine di sismica a rifrazione e n°4 stese sismiche per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di valutare sia la stratigrafia del sito e ricavare il parametro V_{Seq} . Si rimanda allo specifico allegato per la trattazione specifica di tali aspetti.

7.1 Risultati dell'Indagine di Sismica Masw

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 1 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. **I risultati delle inversioni delle quattro indagini eseguite (MW1-Mw2-MW3-MW4) hanno fornito valori di categoria suolo fondazione di tipo C per il sito in progetto.**

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

Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato; successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, richiamata dal DM 17/01/2018, è stato possibile classificare tali terreni.

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito bedrock sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al

di sopra del bedrock, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive.

Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

con: h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo (in m), V_s = Velocità dell'onda di taglio i -esimo strato, N = Numero di strati, H = profondità del substrato sismico (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

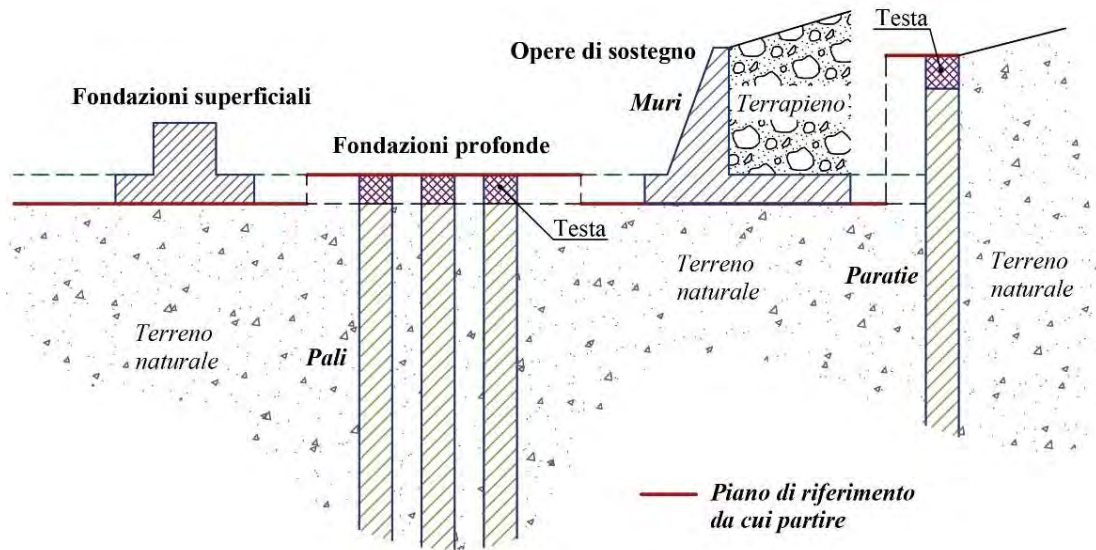


Figura 7.1.1: Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

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

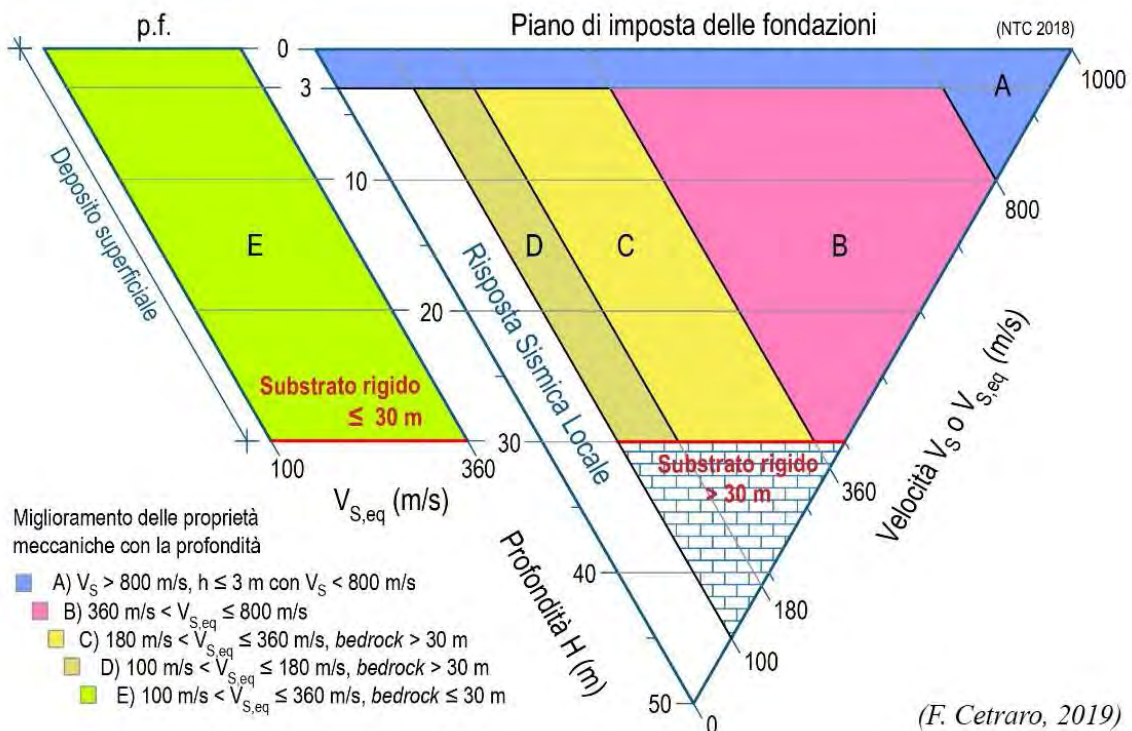


Figura 7.1.2: Diagramma categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

7.2 Risultati dei calcoli

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 1 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

INDAGINE SISMICA MASW 1

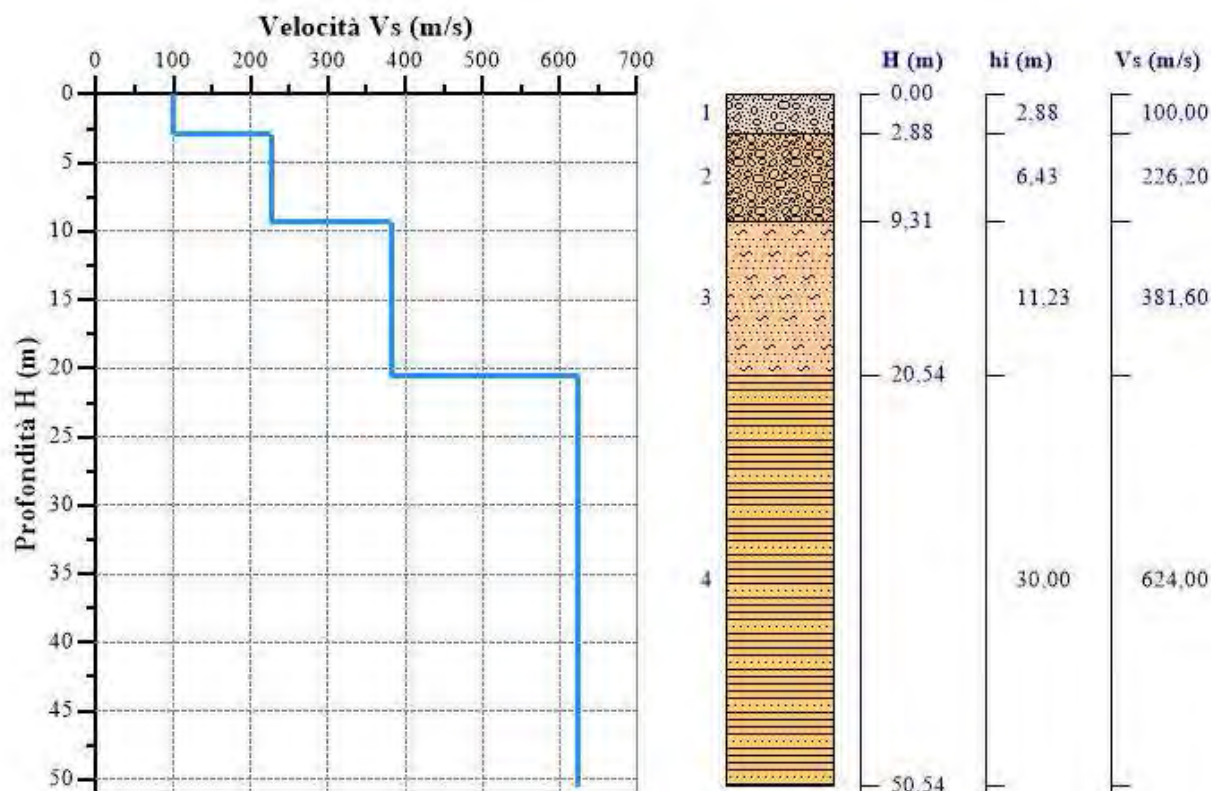
Strato n°1: $V_s = 100.0\text{m/s}$; spessore medio 2.88 metri.

Strato n°2: $V_s = 226.2\text{m/s}$; spessore medio oltre 6.43metri.

Strato n°3: $V_s = 381.6\text{m/s}$; spessore medio 11.23 metri.

Strato n°4: $V_s = 624.0\text{m/s}$; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 294.53\text{m/s}$, unitamente a valutazioni circa

la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

INDAGINE SISMICA MASW 2

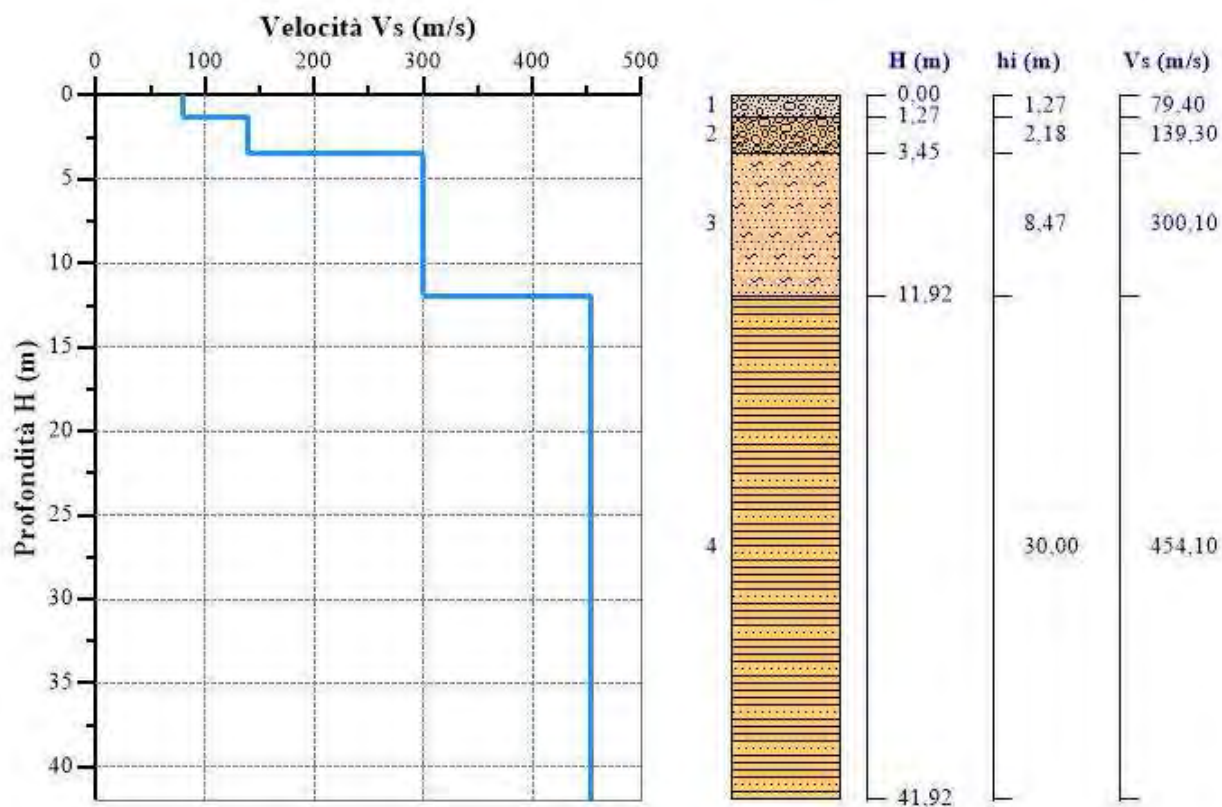
Strato n°1: Vs = 79.4m/s; spessore medio 1.27metri.

Strato n°2: Vs = 139.3m/s; spessore medio oltre 2.18metri.

Strato n°3: Vs = 300.1m/s; spessore medio 8.47metri.

Strato n°4: Vs = 454.1m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 301.04m/s$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

INDAGINE SISMICA MASW 3

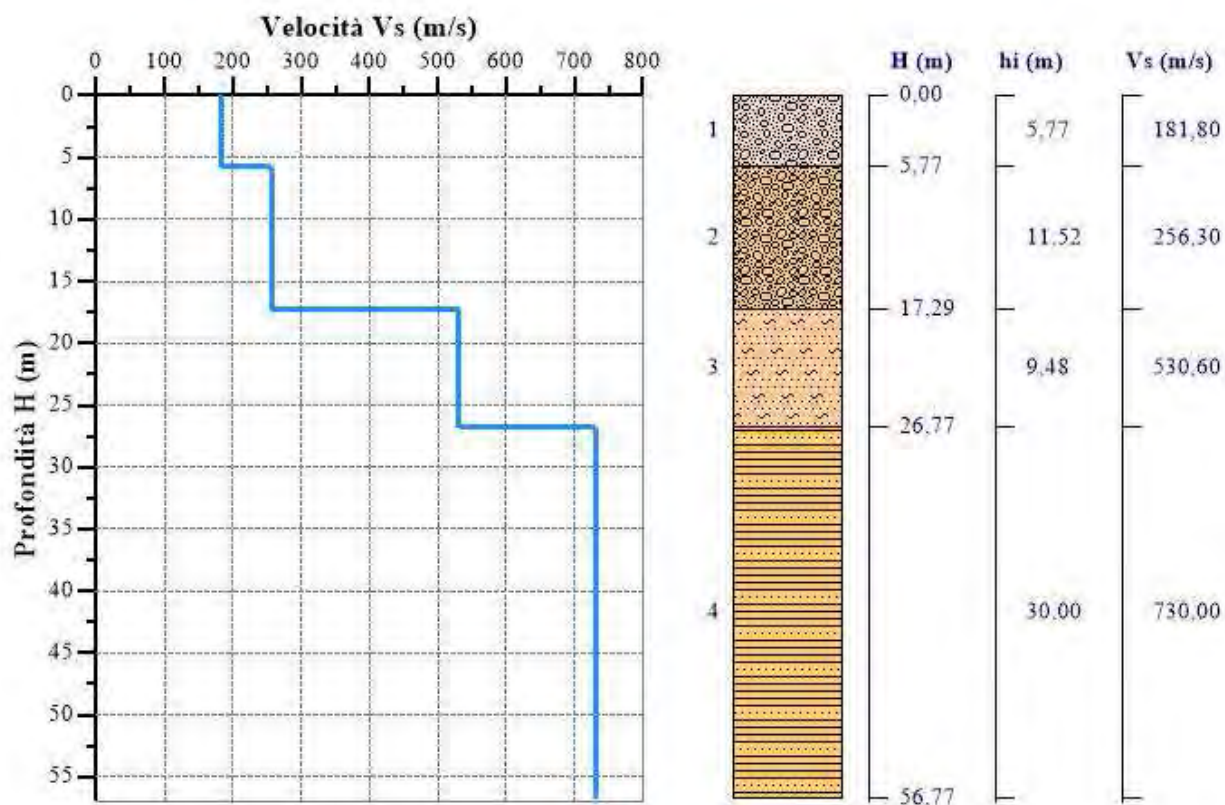
Strato n°1: Vs = 181.8m/s; spessore medio 5.77metri.

Strato n°2: Vs = 256.3m/s; spessore medio oltre 11.52metri.

Strato n°3: Vs = 530.6m/s; spessore medio 9.48metri.

Strato n°4: Vs = 730.0m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 303,10\text{m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

INDAGINE SISMICA MASW 4

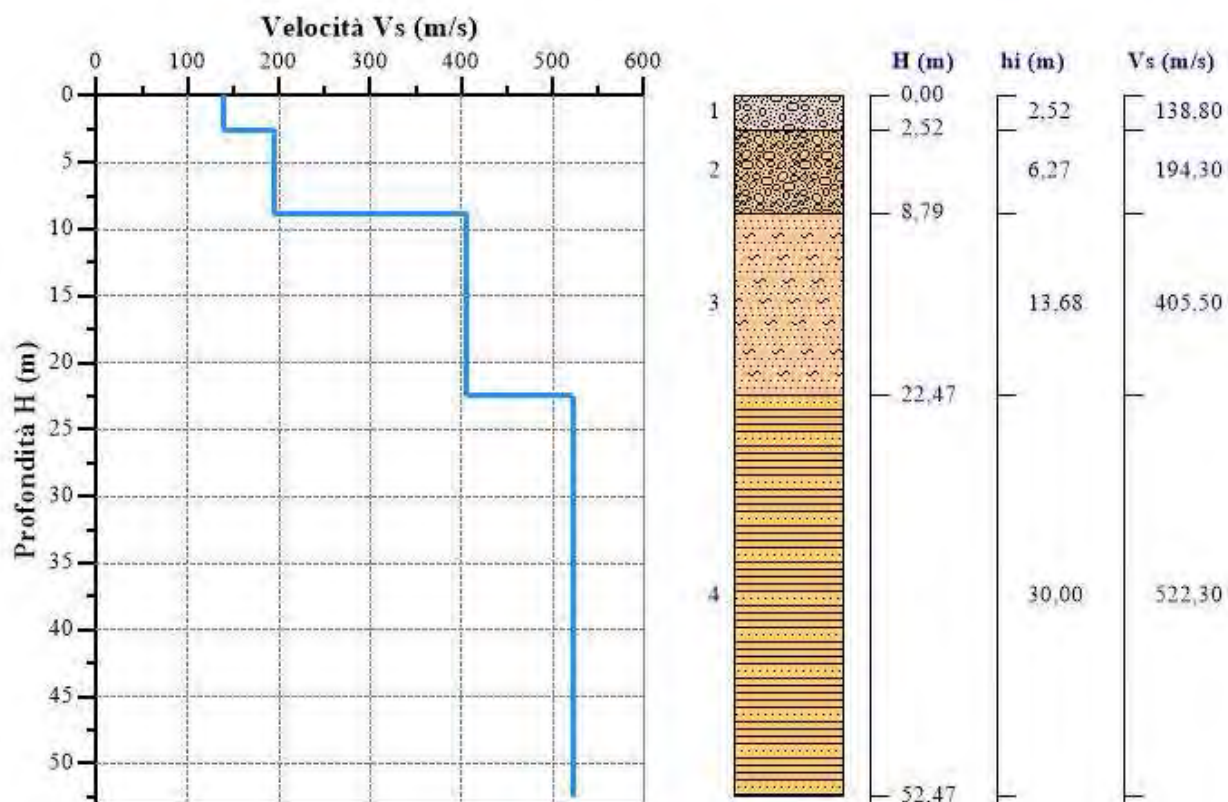
Strato n°1: Vs = 138.8m/s; spessore medio 2.52metri.

Strato n°2: Vs = 194.3m/s; spessore medio oltre 6.27metri.

Strato n°3: Vs = 405.5m/s; spessore medio 13.68metri.

Strato n°4: Vs = 522.3m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 304.36m/s$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

In questo capitolo vengono analizzate le caratteristiche fisico-meccaniche della litofacies che caratterizzeranno il sedime di fondazione dell'area oggetto di studio.

Per le valutazioni geotecniche, riguardanti l'area oggetto di studio, si è fatto riferimento ai risultati di una campagna di prove penetrometriche dinamiche medie, effettuate dallo scrivente in aree limitrofe dalle analoghe caratteristiche litologiche.

Dai dati raccolti, in definitiva, è stato possibile, ricostruire la seguente colonna litostratigrafica tipo:

- Livello 1 - costituito da terreno agrario, detritico caratterizzato da una matrice limo-sabbiosa con elevata presenza di litici spigolosi di varia natura. Lo spessore è di circa 1,0 metri.

- Livello 2- Livello litologico, a componente prevalente limo-argillosa-sabbiosa, nell'insieme risulta poco consistente. Lo spessore, lungo le verticali di indagine, è valutabile in 4,0 metri.

- Livello 3 - Livello litologico costituito da limi argillo-sabbiosi, appare come un livello di transizione da moderatamente consistente a consistente con uno spessore, lungo le verticali di indagine, di circa 1,5 metri.

- Livello 4 - Livello litologico costituito da limo-argillosa con possibili intercalazioni arenitiche, risulta nell'insieme da consistente a molto consistente fino alla profondità indagata.

Di seguito si riportano le tabelle relative alle analisi di tutti dati che sono stati interpretati e che risultano fondamentali per il dimensionamento delle opere di fondazione del manufatto in progetto.

Tabelle riepilogative con le principali correlazioni usate

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	9,08	1,00	Sanglerat	-----
Strato 2	3,84	5,00	Sanglerat	37,66
Strato 3	9,99	6,50	Sanglerat	97,97
Strato 4	18,6	10,00	Sanglerat	182,40

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	9,08	1,00	Robertson (1983)	1,78
Strato 2	3,84	5,00	Robertson (1983)	0,75
Strato 3	9,99	6,50	Robertson (1983)	1,96
Strato 4	18,6	10,00	Robertson (1983)	3,65

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	9,08	1,00	Buisman-Sanglerat	-----
Strato 2	3,84	5,00	Buisman-Sanglerat	1,88
Strato 3	9,99	6,50	Buisman-Sanglerat	4,9
Strato 4	18,6	10,00	Buisman-Sanglerat	13,68

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato 1	9,08	1,00	Schultze-Menzenbach	-----
Strato 2	3,84	5,00	Schultze-Menzenbach	4,72
Strato 3	9,99	6,50	Schultze-Menzenbach	11,66
Strato 4	18,6	10,00	Schultze-Menzenbach	21,37

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	9,08	1,00	Classificaz. A.G.I.	-----
Strato 2	3,84	5,00	Classificaz. A.G.I.	POCO CONSIST.
Strato 3	9,99	6,50	Classificaz. A.G.I.	CONSISTENTE
Strato 4	18,6	10,00	Classificaz. A.G.I.	MOLTO CONSIST.

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	9,08	1,00	Meyerhof ed altri	-----
Strato 2	3,84	5,00	Meyerhof ed altri	17,45
Strato 3	9,99	6,50	Meyerhof ed altri	19,32
Strato 4	18,6	10,00	Meyerhof ed altri	20,50

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	9,08	1,00	9,08	Shioi-Fukuni (1982)	-----
Strato 2	3,84	5,00	3,84	Shioi-Fukuni (1982)	22,59
Strato 3	9,99	6,50	9,99	Shioi-Fukuni (1982)	27,24
Strato 4	18,6	10,00	18,6	Shioi-Fukuni (1982)	31,7

Per una preliminare valutazione, infine, sulla tipologia e dimensionamento delle fondazioni possono essere usati i parametri nominali indicati anche se gli aspetti geotecnici dovranno essere implementati in sede di progettazione esecutiva, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche in situ e prove di laboratorio.

9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto precedentemente esposto circa le condizioni morfologiche, geologiche, idrogeologiche, meccaniche e sismiche dei terreni di progetto, si ritiene di poter esporre le seguenti considerazioni conclusive:

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

- **Livello 1 Terreno di copertura eluvio-colluviale:** Ricoprono diffusamente l'area oggetto di studio con spessore variabile 2-5 metri dal p.c. e ammantano i sottostanti depositi clastico-terrigene della formazione marnosa arenacea di Monte Luziano. Gli spessori medi riscontrati attraverso le indagini di sismica a rifrazione risultano essere rispettivamente di 2,5 m dal p.c. in Rz1, 2 metri dal p.c. in Rz2 e Rz4 e 5 metri in Rz3 con un leggero assottigliamento verso le quote più elevate. Tali depositi sono prevalentemente incoerenti, costituiti da limi con intercalazioni di sabbie e ghiaie variamente frammisti spesso pedogenizzati. I limi sono costituiti, in prevalenza, da minerali argillosi e sono privi di tessitura; le sabbie, che presentano granulometria variabile da fine a grossa, sono costituite per la maggior parte da elementi calcarei.

Volendo sintetizzare quanto sopra specificato è stato possibile ricostruire il modello stratigrafico dell'area che per questo sito è assimilabile ad un modello a 4 strati, così evidenziato:

-**Livello 1:** costituito da terreno agrario, detritico caratterizzato da una matrice limo-sabbiosa con presenza di litici spigolosi di varia natura. Lo spessore è di circa 1,0 metri.

-**Livello 2:** livello litologico, a componente prevalente limo-argillosa-sabbiosa, nell'insieme risulta poco consistente. Lo spessore, lungo le verticali di indagine, è valutabile in 4,0 metri.

-**Livello 3:** livello litologico costituito da limi argillo-sabbiosi, appare come un livello di transizione da moderatamente consistente a consistente con uno spessore, lungo le verticali di indagine, di circa 1,5 metri.

-**Livello 4:** livello litologico costituito da limo-argillosa con possibili intercalazioni arenitiche, risulta nell'insieme da consistente a molto consistente fino alla profondità indagata.

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

Dal punto di vista morfologico l'area in progetto risulta mediamente pianeggiante e rientra

prevalentemente nella classe di pendenza 0-5°. Dal punto di vista planimetrico, in linea generale le quote diminuiscono verso la parte centrale dell'impianto dove si raggiungono i 95 metri s.l.m., in corrispondenza di un impluvio che attraversa l'impianto da est verso ovest riversando le acque circa 1 km più a ovest all'interno dell'invaso artificiale Zaffarana. Si raggiungono quote massime di circa 125 m. s.l.m. lungo i confini settentrionali e meridionali dell'impianto in corrispondenze delle basse pendici di Serre delle Rocche.

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

Il contesto geomorfologico attuale mostra come l'area di affioramento dei litotipi limo-argillosi, appare interessata in particolari punti, da movimenti gravitativi diffusi; si tratta, perlopiù, di movimenti superficiali lenti tipici dei versanti argillosi con pendenze intorno ai 10° o superiori come ben visibile dalla carta delle pendenze allegata.

In queste condizioni, infatti, fenomeni di ritiro, peculiari delle argille, creano una coltre superficiale aerata, molto permeabile, con la conseguente instaurazione tra questa coltre ed il sottostante substrato argilloso non alterato di una effimera circolazione idrica (specie in concomitanza con lunghi e/o intensi periodi piovosi) con conseguente decadimento delle caratteristiche di resistenza al taglio e scollamento" delle porzioni di terreno più superficiali.

Nell'area ove è prevista la realizzazione del parco agro-fotovoltaico **non sono** stati rilevati fenomeni morfogenetici attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali da essere in contrasto con il progetto proposto.

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

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

minimizzando possibili fenomeni di impaludamenti e solchi di erosione superficiali che con il passare degli anni possono alterare la capacità portante dei terreni.

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

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

Si segnala, altresì, un'area a franosità diffusa, identificata con il codice dissesto 051-9MA-002, che ricade in prossimità del tracciato del cavidotto, lungo la SP8 in località abbeveratoio La Ficarella e che determina una pericolosità geomorfologica P2.

Il fenomeno erosivo appare riconducibile, all'assenza di opere di regimentazione idraulica delle acque di scorrimento superficiale. In sede di progettazione esecutiva occorrerà attenzionare l'area dal punto di vista di stabilità generale e puntuale al fine di valutare le opportune opere di drenaggio e consolidamento, possibilmente con interventi di ingegneria naturalistica.

Dal punto di vista dei valori di permeabilità dei complessi idrogeologici presenti, sulla base delle indagini effettuate trattandosi di un areale piuttosto ampio, la sequenza e la continuità latero-verticale di tali depositi, mostrano condizione di permeabilità molto variabile sia in relazione alla varietà dei termini costituenti le varie successioni stratigrafiche, sia alla frequente variabilità degli aspetti litologici e strutturali riscontrabili all'interno delle singole unità che compongono tali successioni. Laddove prevale la componente limosa e argillosa la permeabilità è medio bassa, laddove invece risulta prevalente la componente sabbiosa la permeabilità risulta medio alta.

Unico elemento di rilievo è la possibile presenza, a seguito di precipitazioni intense, di uno locale scorrimento delle acque di infiltrazione sub-superficiale da monte verso valle.

Tale aspetto dovrà essere meglio attenzionata nelle successive fasi progettuali attraverso la sistemazione con tecniche di ingegneria naturalistica.

Al fine di mantenere inalterato la naturale capacità di assorbimento delle acque meteoriche da parte dei terreni, bisognerà limitare al massimo la realizzazione di superfici impermeabili quali a titolo esemplificativo il manto di copertura della viabilità interna, delle piazzole, utilizzando materiale con misto granulometrico opportunamente classato che

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

Per quanto riguarda gli aspetti delle interferenze con il reticolo idrografico le linee di drenaggio superficiale delle aree oggetto di studio sono ben evidenti e si manifestano con un pattern di tipo dendritico o sub-dendritico. Il reticolo in particolare nel sito in progetto mostra una direzione preferenziale E-W. Gli impluvi che scorrono all'interno del sito in progetto risultano quasi sempre in condizioni asciutte, e fungono da elementi idrografici di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento verso l'invaso artificiale Zaffarana posto a circa 1 km più a ovest rispetto il sito in progetto.

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

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

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

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

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

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

Gli aspetti geomorfologici, geotecnici ed idrogeologici dovranno, comunque, essere appurati in sede di progettazione esecutiva e in ogni caso prima della realizzazione dell'opera, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche e prove di laboratorio, al

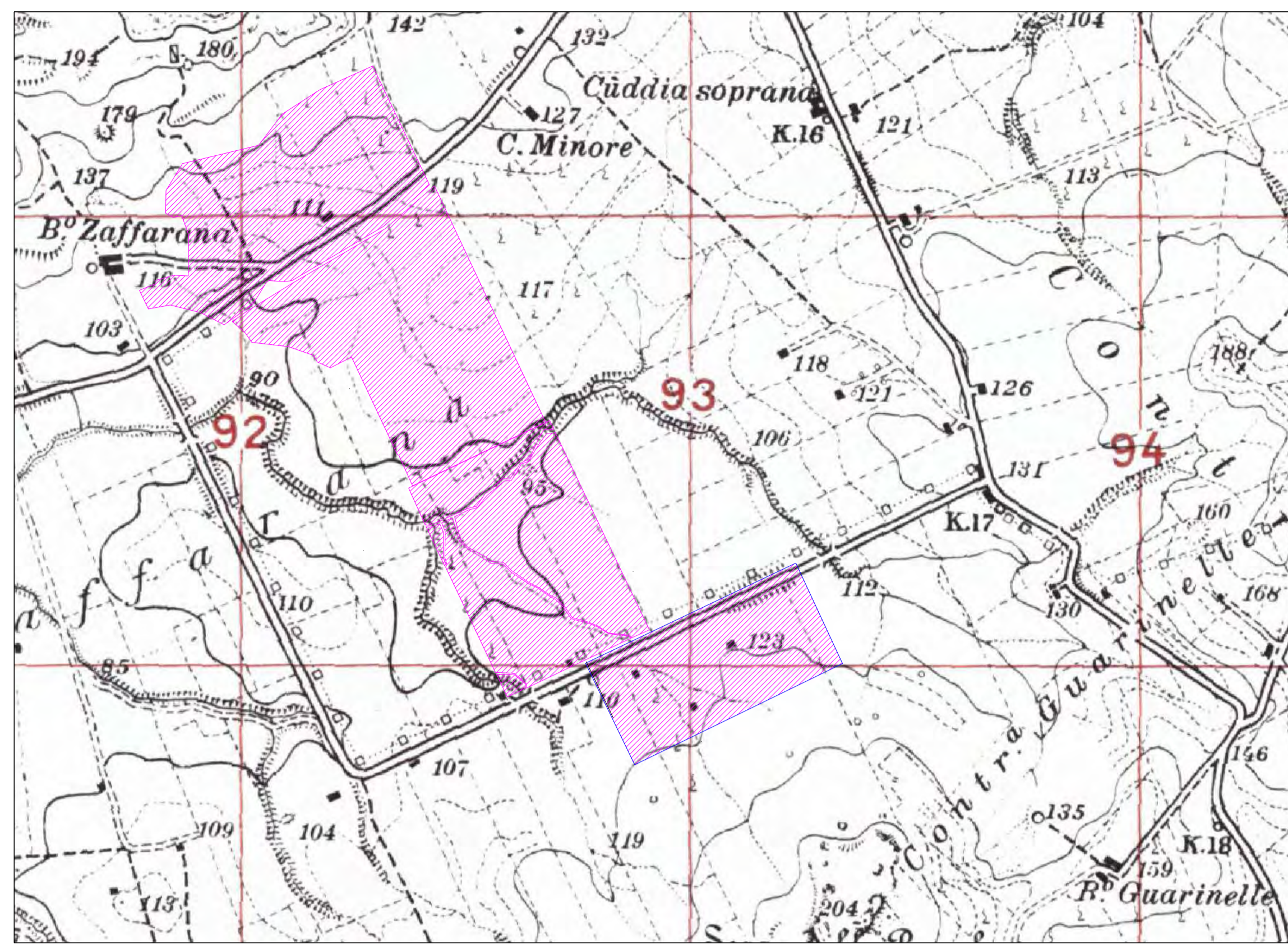
fine di potere effettivamente individuare le stratigrafie presenti e le eventuali problematiche sul dimensionamento delle fondazioni degli impianti e di stabilità l.s..

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

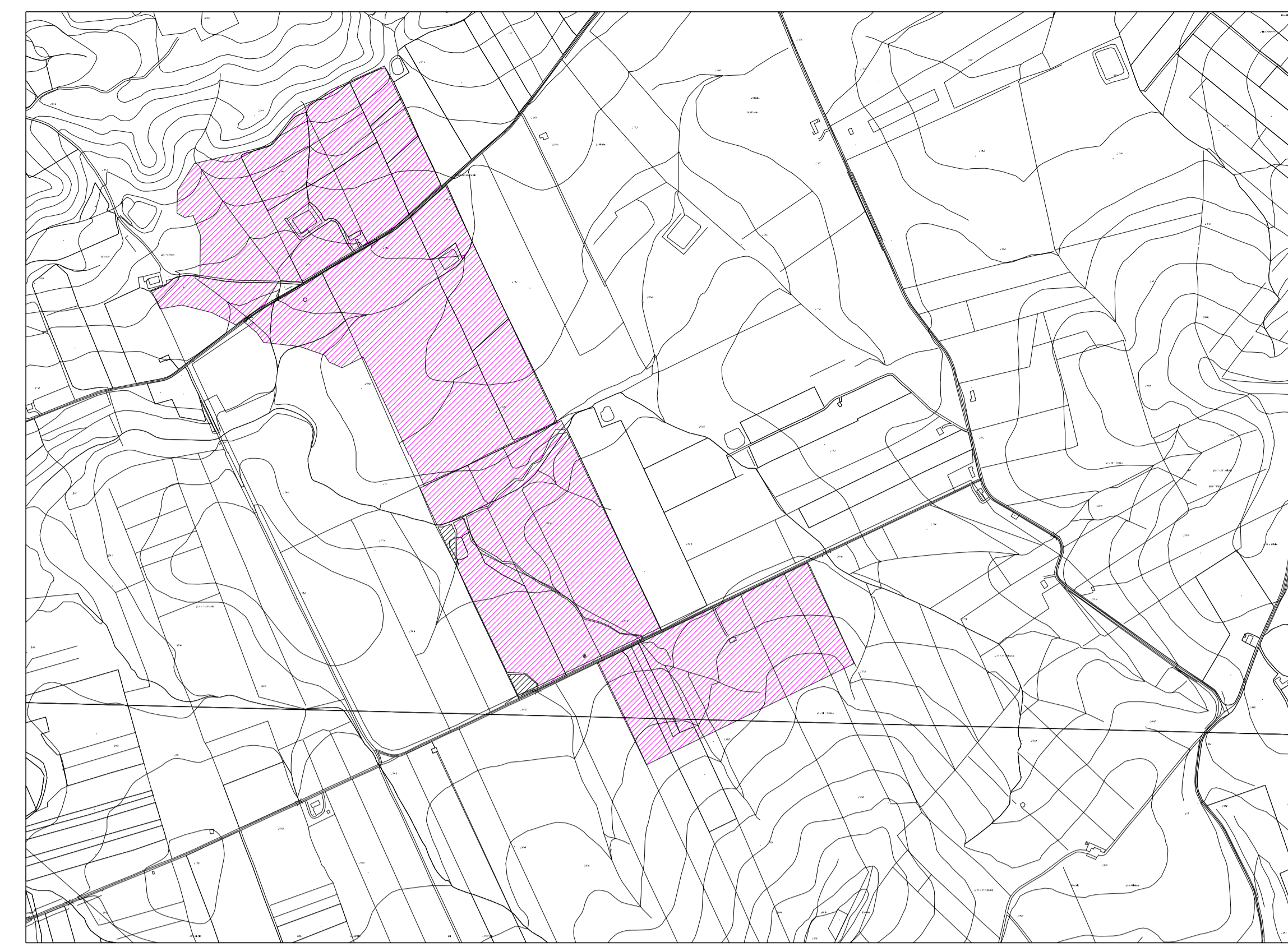
Palermo, Settembre 2021

IL PROFESSIONISTA

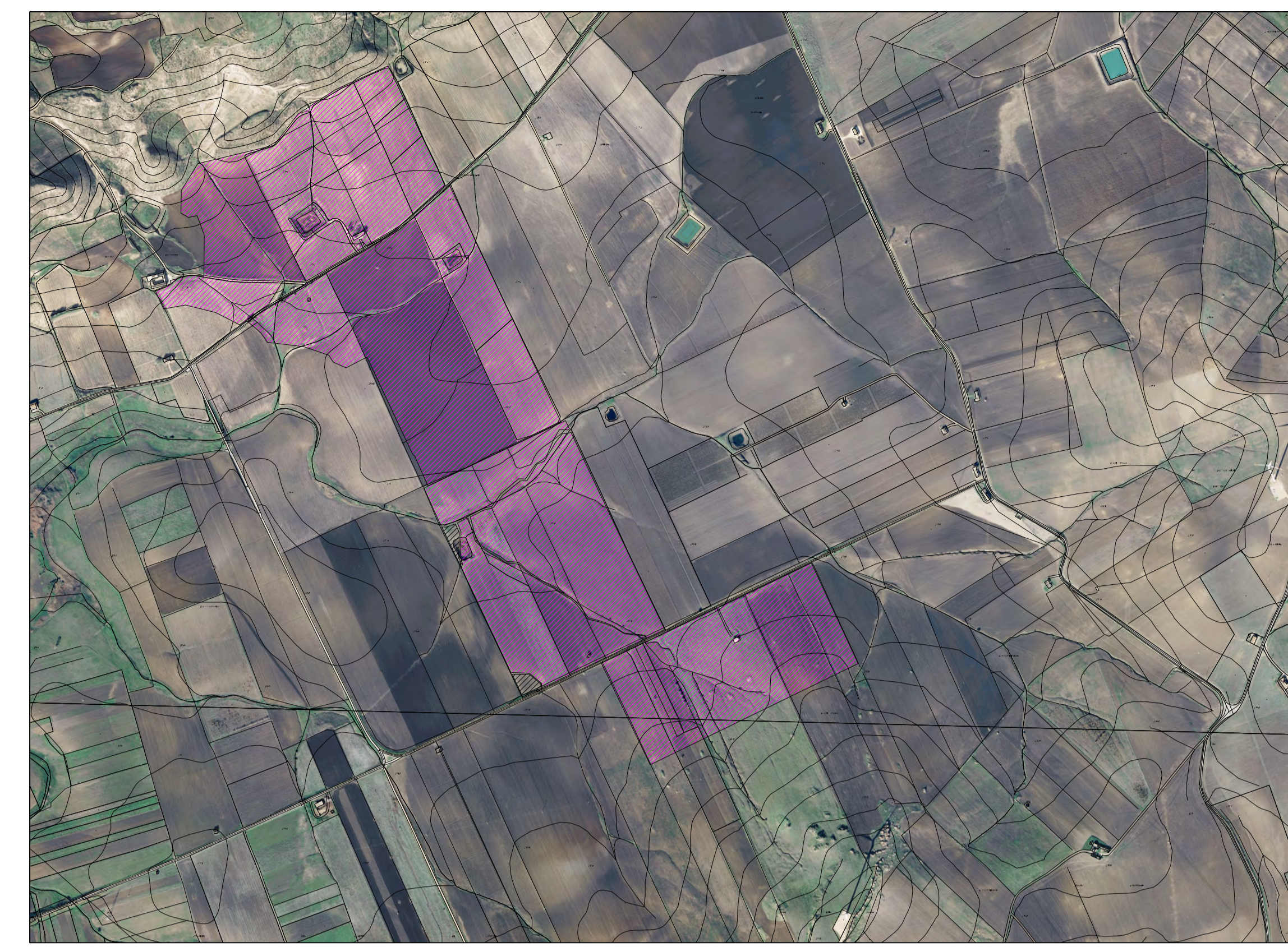
Dott. Geol. Michele Ognibene



I.G.M 257 IV SE Scala 1:25.000

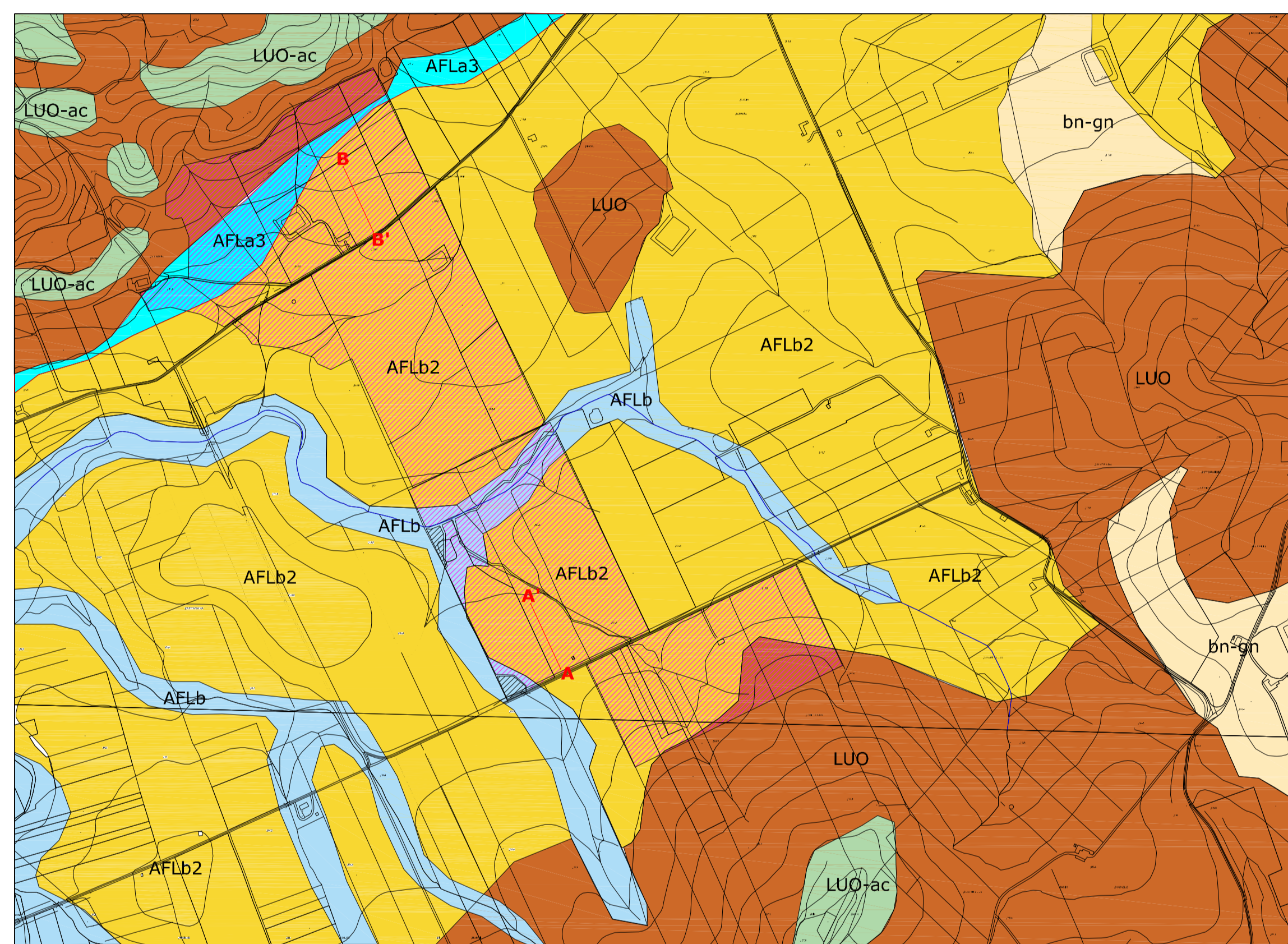


C.T.R Sezione 605120-605160 Scala 1:10.000

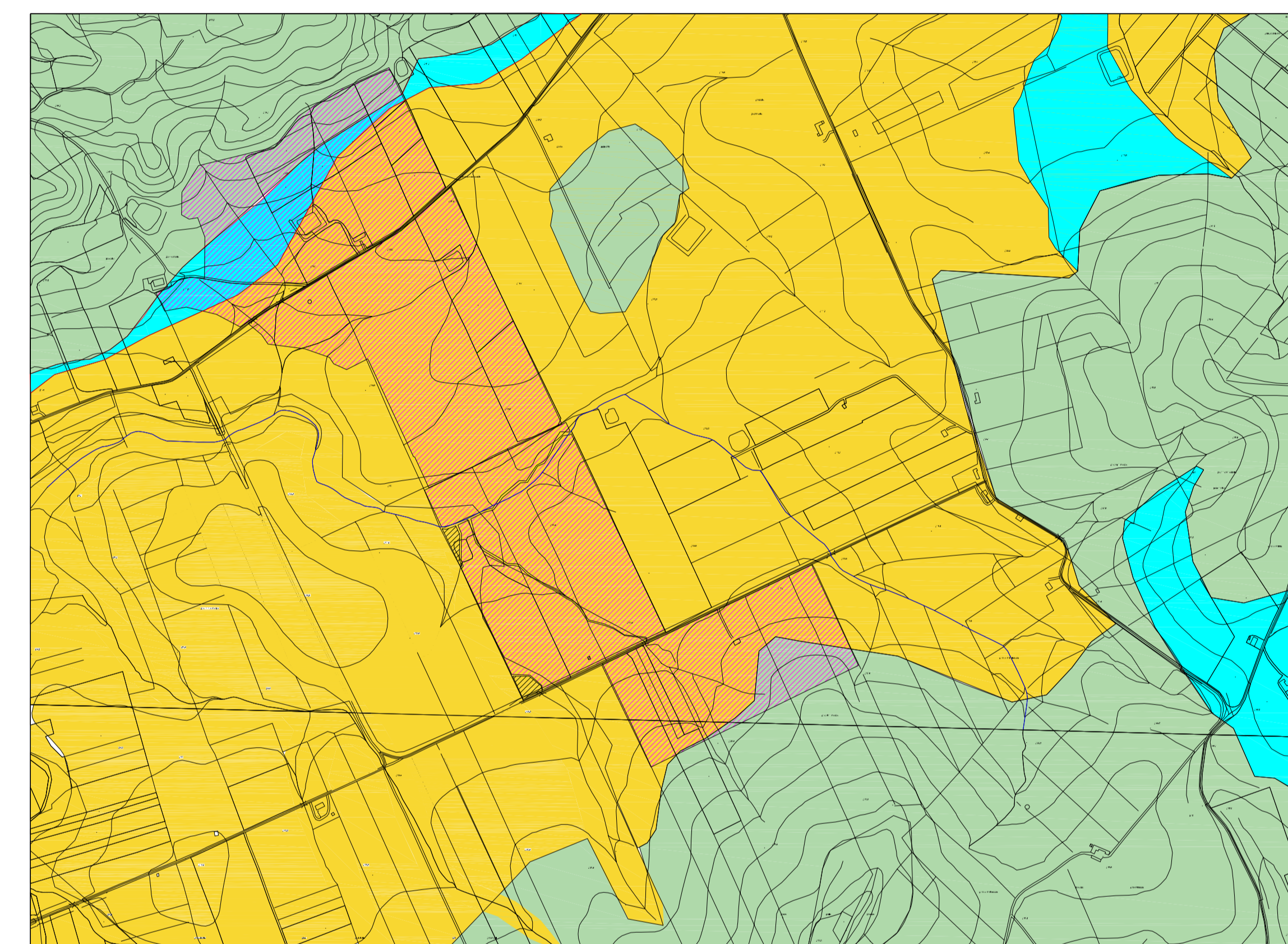


ORTOFOTO Sezione 605120-605160 Scala 1:10.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Stazione Utente
	Stazione RTN Partanna 2
	Percorso Cavidotto

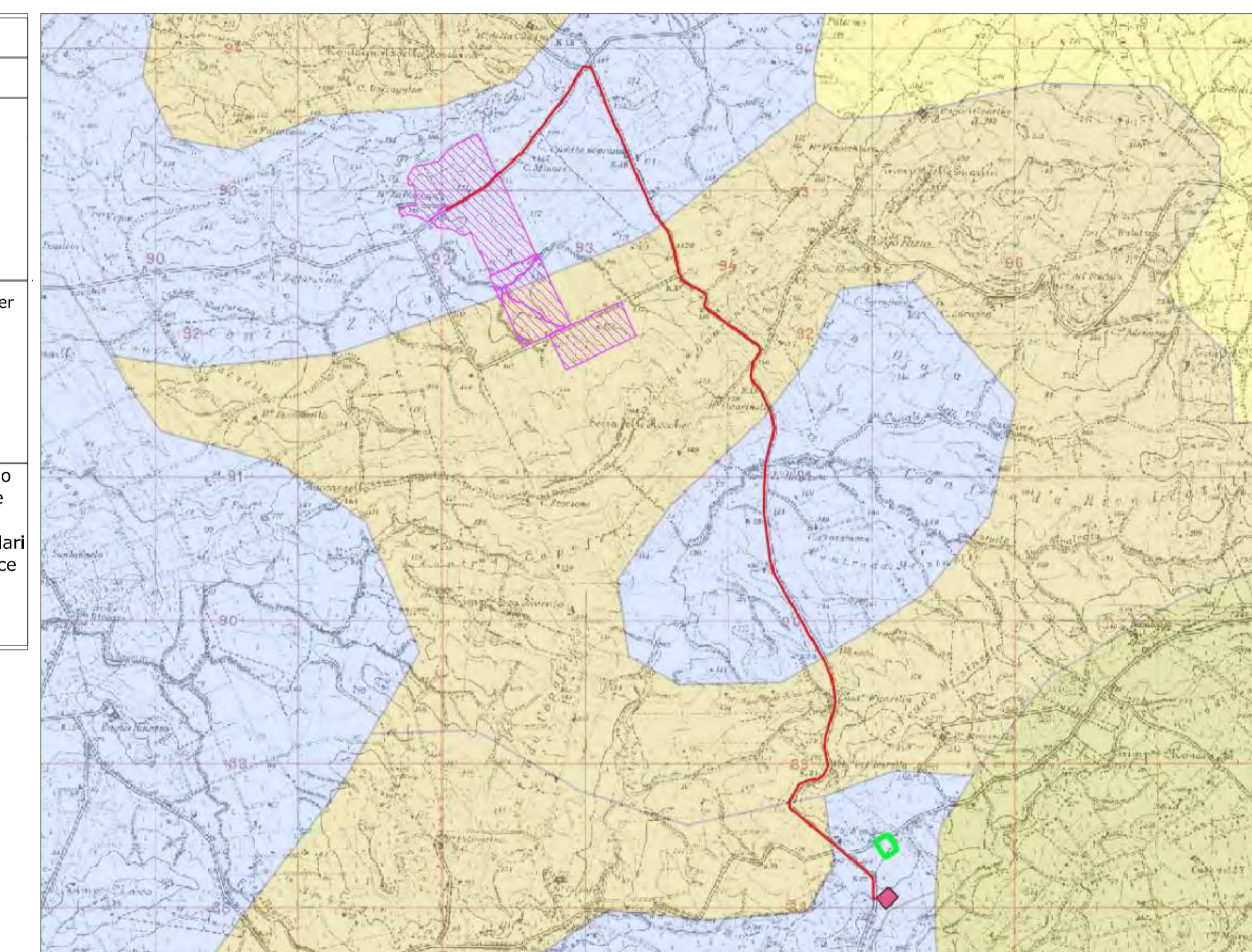


Carta Geologica Scala 1:10.000



Carta Idrogeologica Scala 1:10.000

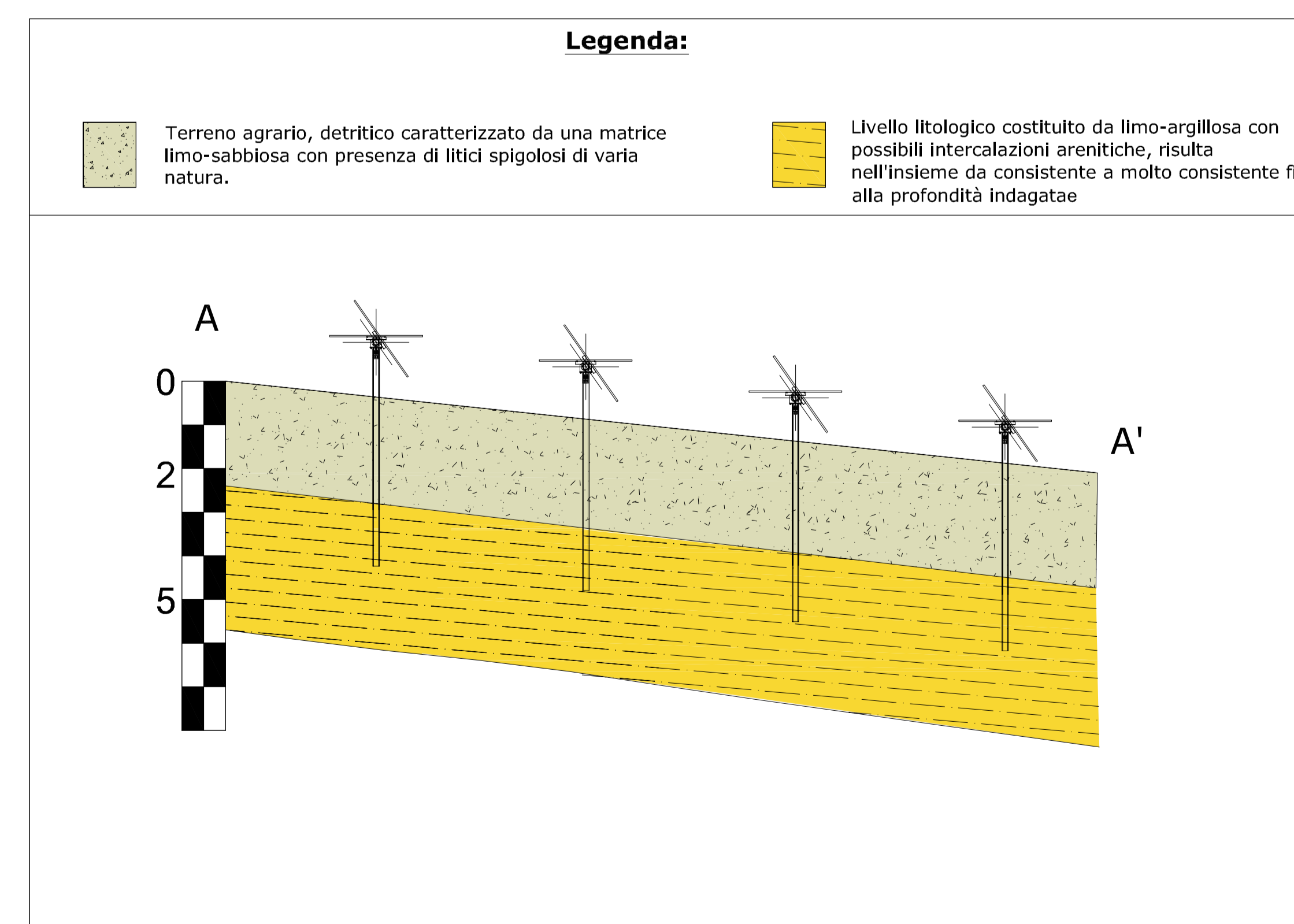
LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Depositi caratterizzati da permeabilità alta.
	Depositi caratterizzati da permeabilità media per porosità e/o per fratturazione.
	Depositi caratterizzati da permeabilità medio bassa in funzione del prevalere della classe granulometrica più minuta su quella grossolana. Generalmente i pori intergranulari dei depositi clastici aventi una scarsa matrice limosa tendono a saturarsi durante la circolazione delle acque di infiltrazione consentendo la formazione di un acquifero.



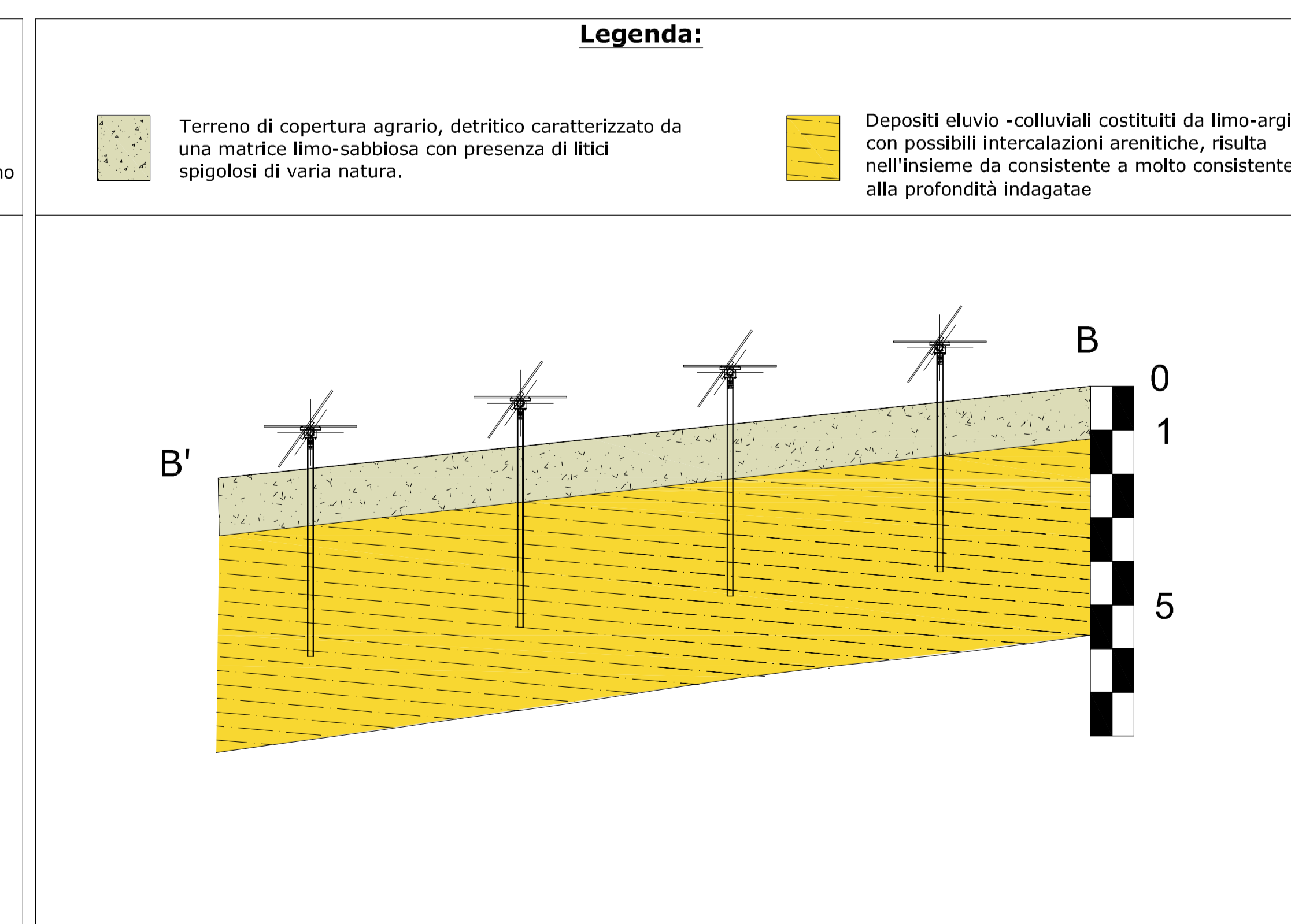
Carta Geolitologica Scala 1:25.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Depositi detritici, Depositi Alluvionali terrazzati, fluvioacustici e fluviali.
	Depositi terrigeni argillo marnosi prevalenti.
	Depositi argillosi e argilloso calcareo (Torbiditiche).
	Depositi sabbiosi-conglomeratici.

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Detrito di Falda costituito da ciottoli a spigoli vivi eterometrici e poligenici.
	Limi sabbiosi fluviali grigiastri con faune miste di gasteropodi e lamelibranchi
	Depositi Eluvio-Colluviali: Ghiaie, sabbie e limi eluviali e colluviali variamente frammiti, spesso pedogenizzati.
	Ghiaie eterometriche e poligeniche bruno o giallastre, a clasti prevalentemente arrotondati di 2-20 cm, a supporto di matrice sabbioso-argillosa; sabbie e limi argillosi e suolo agrario terrazzati in più ordini. Spessore fino a 15 metri.
	Argille Marnose, Calcari e Arenarie Glauconitiche di Monte Luziano. La formazione è stata separata in due unità di associazione di litofacies. Quando non differenziabili i litotipi sono stati assegnati all'unità litostratigrafica indistinta (LUO).
	Marne, calcari, biocalcarenti ed arenarie glauconitiche di Montagnola della Borrana. Marne, calcilutiti (LUOa) con intercalazioni di arenarie, banchi di calcareniti e calciruditi glauconifere e bioclastiche a base generalmente erosiva (LUOc).



Sezione Geologica A-A' Rappresentativa Scala 1:100



Sezione Geologica B-B' Rappresentativa Scala 1:100

EDPR SICILIA PV SRL
Sede Legale via Roberto Lupatini 8/10 - 90124 Milano
P.IVA 1106460965

**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO
CON POTENZA NOMINALE DI 38,3 MWp
DA REALIZZARE IN CONTRADA ZAFFARANA (TP)
DENOMINATO "ZAFFARANA 38"**

ELABORATI CARTOGRAFICI

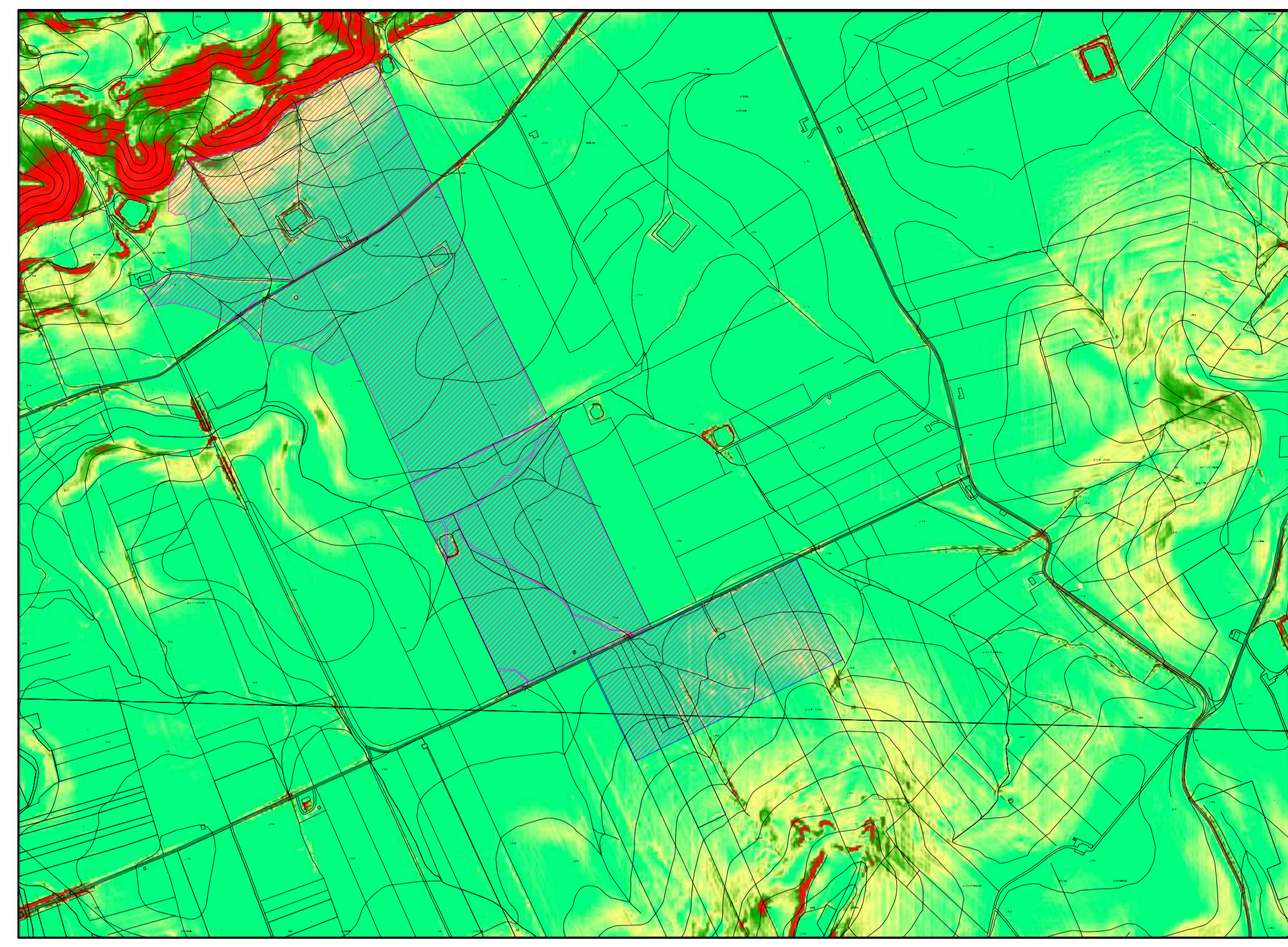
<p>- I.G.M. scala 1:25.000 - C.T.R. scala 1:10.000 - Ortofoto scala 1:10.000</p>	<p>- Carta Geologica scala 1:5.000 - Sezione Idrogeologica scala 1:5.000 - Carta Geolitologica scala 1:25.000</p>	<p>- Sezione Geologica AA' scala 1:100 - Sezione Geologica BB' scala 1:100</p>
--	---	--

EL1

<p>STM Solutions Techniche Multidisciplinari Piazza Duomo Sicula, 4 90134 - Palermo Tel. 091.4818875 info@stmgroup.it</p>	<p>Ing. Giuseppe Meli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N. 5355</p> <p>TEAM di Progettazione: Ing. Danilo Dattilo Ing. Maurizio Soti Dott. Cristina Manente Ing. Giovanni Formisano Ing. Francesco Chiodelli Ing. Andrea Giarranone Ing. Luca Ingrosso</p>	<p>Dott. Geol. Michele Opilone Viale Croce Rossa n.25 90145 - Palermo Tel. 091 - 9763953 opilone.michele@gmail.com</p>
--	---	--

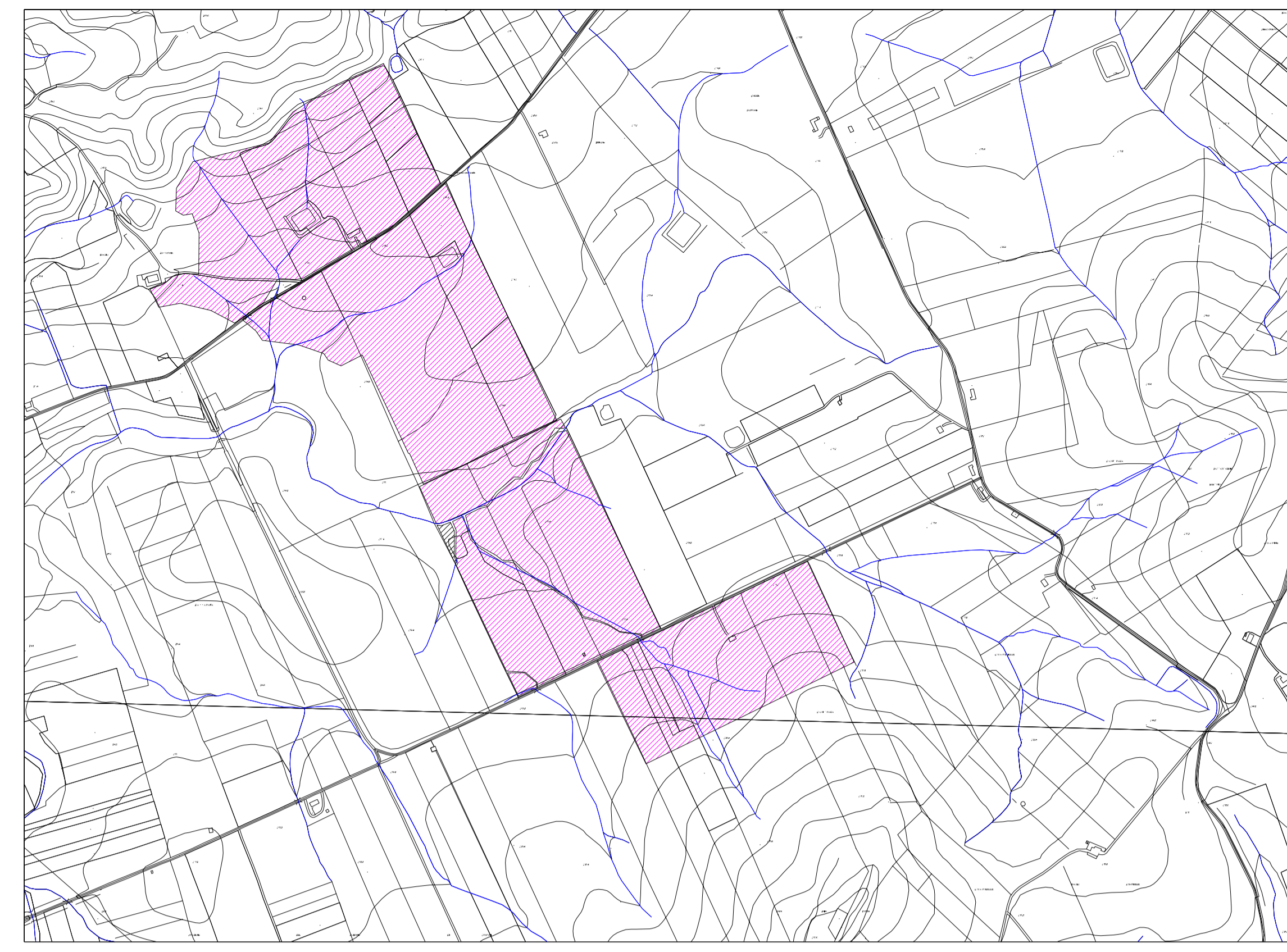
Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato
0	05/09/2021				

È vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, con qualsiasi mezzo, senza l'autorizzazione del redattore.



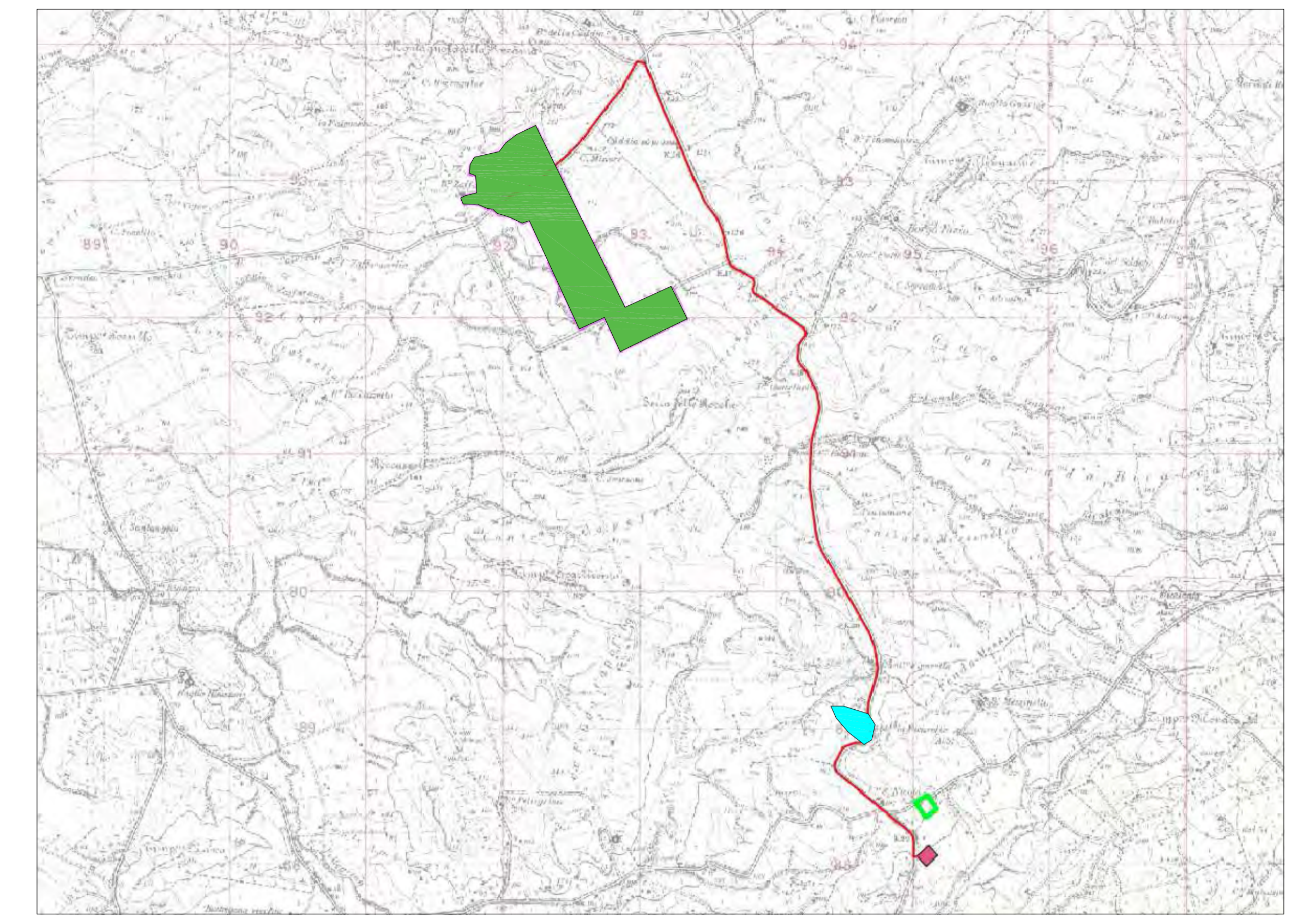
Carta delle Pendenze Scala 1:5.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	0°-5°
	5°-10°
	10°-15°
	15°-20°
	> 20°



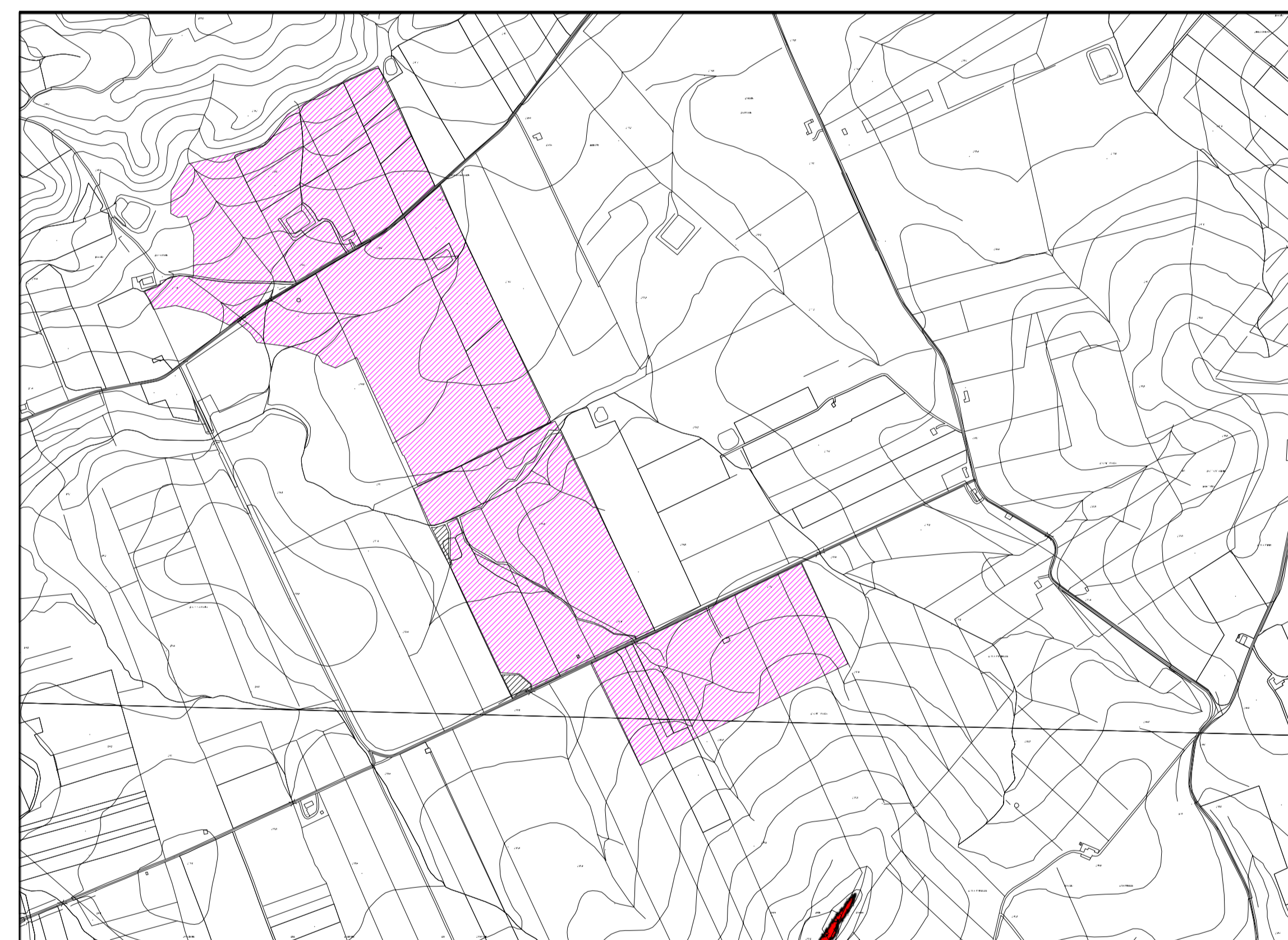
Carta delle Interferenze con il reticolo idrografico Scala 1:5.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Reticolo Idrografico ATA 2012-2013



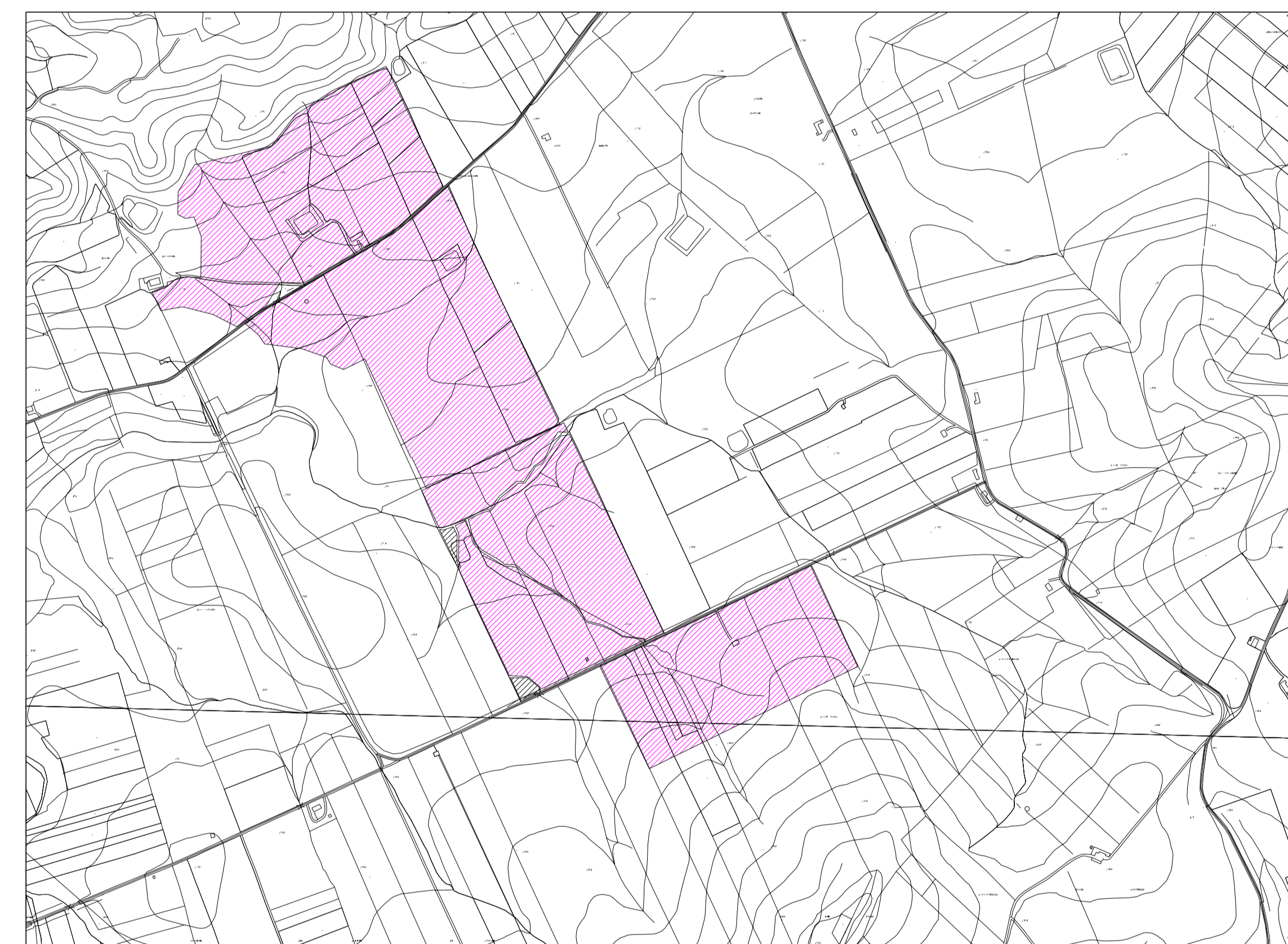
Carta delle prescrizioni ed indicazioni esecutive scala 1:25.000

LEGENDA			
	Ubicazione Impianto		Stazione Utente
	Stazione RTN Partanna 2		Percorso Cavidotto
PRESCRIZIONI ED INDICAZIONI ESECUTIVE			
	Area a franosità diffusa identificata con il codice dissesto 051-9MA-002 che ricade, in prossimità del tracciato del cavidotto, lungo la SP8 in località abbeveratoio La Ficarella, che determina una pericolosità geomorfologica P2. In sede di progettazione esecutiva occorrerà attenzionare l'area dal punto di vista di stabilità generata e puntuale al fine di valutare le opportune opere di drenaggio e consolidamento, possibilmente con interventi di Ingegneria naturalistica.		
	Al fine di mitigare fenomeni quali splash erosion e rilli erosioni che concorrono in maniera determinata al "Consumo del Suolo" e al "rischio desertificazione", appare opportuno un inerbimento in corrispondenza dell'area occupata dal campo fotovoltaico. La tecnica dell'inerbimento proteggerebbe la struttura del suolo dall'azione diretta della pioggia e, grazie agli apparati radicali legati al terreno, riduce la perdita di substrato agrario anche fino a circa il 95% rispetto alle zone oggetto di lavorazione del substrato. Consentirebbe una maggiore e più rapida infiltrazione dell'acqua piovana ed il conseguente ruscellamento e determinerebbe un aumento della portanza del terreno con ricadute positive sia sulla stabilità dei versanti, sia sulla capacità di smaltimento, mitigando e minimizzando possibili fenomeni di impaludamenti e solchi di erosione superficiali che con il passare degli anni possono alterare la capacità portante dei terreni. Con tali accorgimenti le acque piovane verranno assorbite nel terreno in modo naturale in tutta l'area non alterandone il coefficiente di permeabilità e le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Tali aspetti mitigativi, unitamente alle soluzioni tecniche prescritte nella relazione agronomica, avranno effetti positivi anche sull'applicazione del principio di invarianza idraulica, grazie ad una diminuzione dei valori di coefficienti di deflusso meteorico ed un miglioramento dei valori di infiltrazione efficace e di ritenzione idrica non incrementando, dunque, le portate di deflusso verso i corpi idrici ricettori rispetto ai valori preesistenti.		



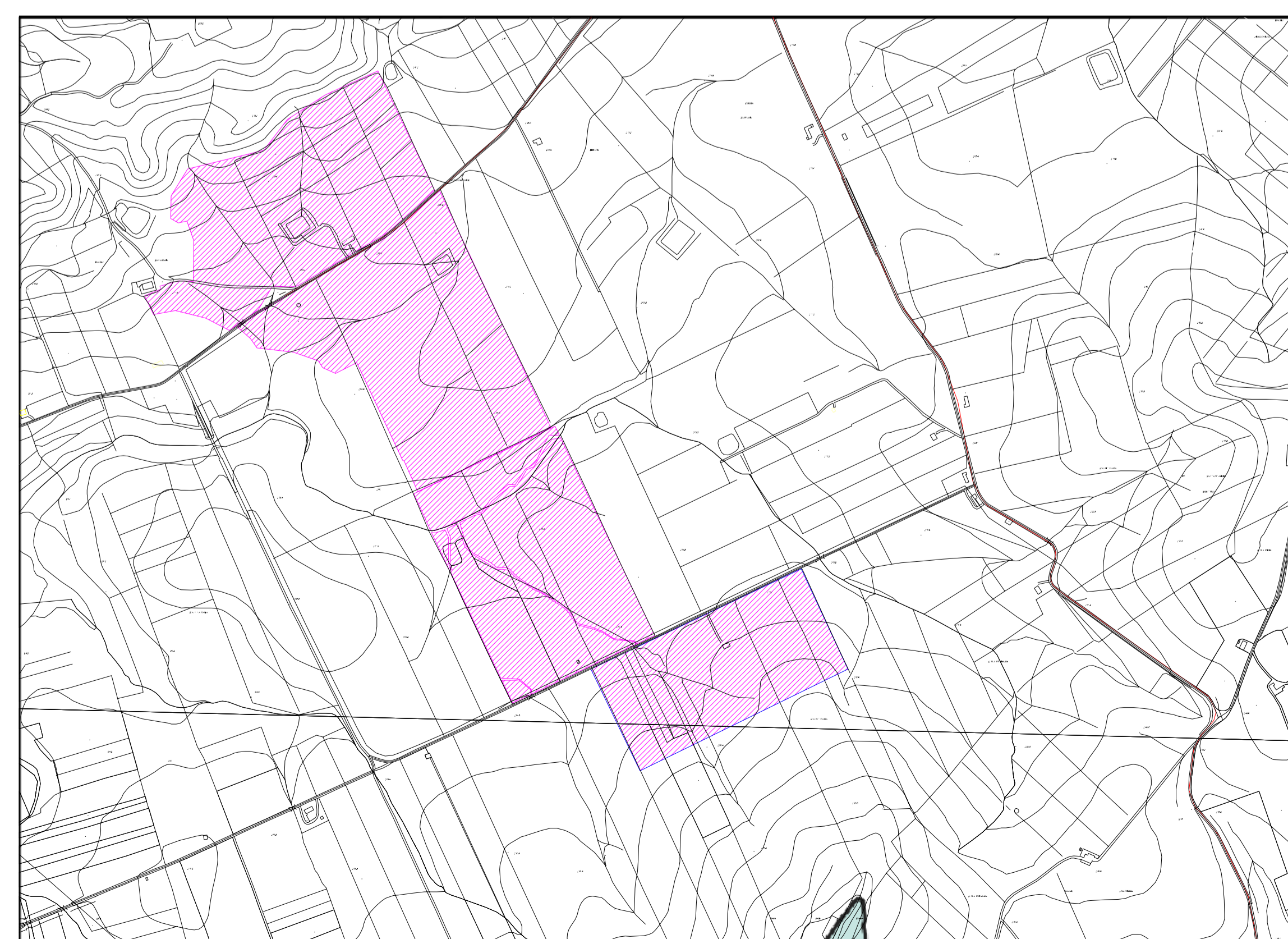
CARTA DEI DISSESTI PAI Scala 1:10.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Stazione Utente
	Percorso Cavidotto
FENOMENI FRANOSI	
	Crollo edo ribaltamento
	Colamento rapido
	Sprofondamento
	Scostamento
	Franca complessa
	Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
	Colamento lento
	Area a franosità diffusa
	Deformazione superficiale lenta
	Calanco
	Ustocci conseguenti ad erosione localizzata
STATO DI ATTIVITA'	
	Attivo
	Inattivo
	Quiescente
	Stabilizzato artificialmente o naturalmente



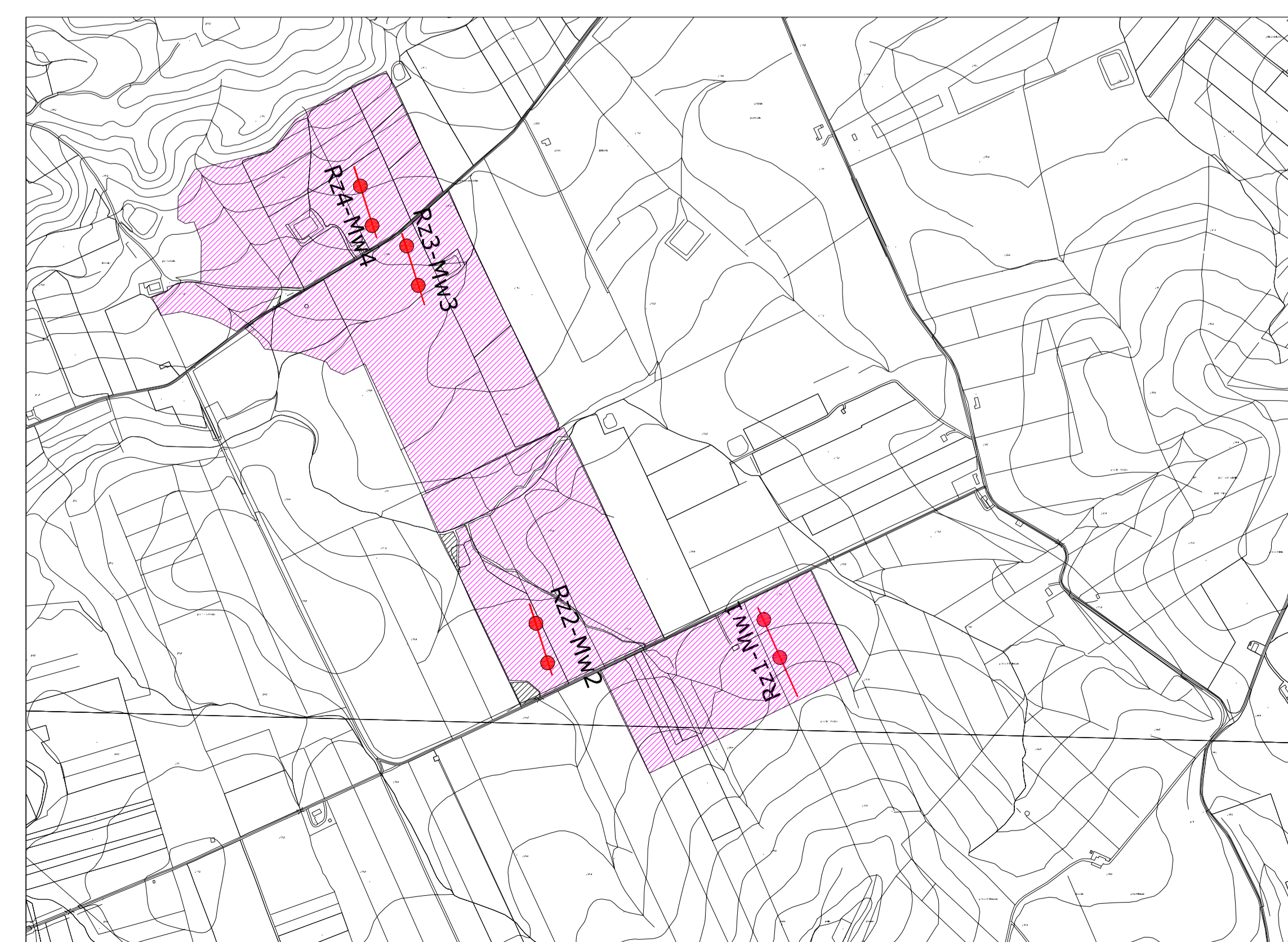
CARTA DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO PAI Scala 1:10.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Stazione Utente
	Percorso Cavidotto
LIVELLO DI RISCHIO GEOMORFOLOGICO	
	R0 Molto Basso
	R1 Moderato
	R2 Medio



CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA PAI Scala 1:10.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Stazione Utente
	Percorso Cavidotto
LIVELLO DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	
	P0 Molto Basso
	P1 Moderato
	P2 Medio
	P3 Elevato



CARTA DELLE INDAGINI Scala 1:10.000

LEGENDA	
	Ubicazione Impianto
	Stazione Utente
	Percorso Cavidotto
	Indagini di Sismica Masw e Rifrazione

EDPR SICILIA PV SRL
Sede Legale via Roberto Lupatini 8/10 - 90124 Milano
P.IVA 11064660965

**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO
CON POTENZA NOMINALE DI 38,3 MWp
DA REALIZZARE IN CONTRADA ZAFFARANA (TP)
DENOMINATO "ZAFFARANA 38"**

ELABORATI CARTOGRAFICI

Carta delle Pendenze 1:5.000 Carta delle Interferenze 1:5.000 Carta dei Dissesti PAI 1:10.000	Carta del Rischio Geomorfologico PAI 1:10.000 Carta della Pericolosità Geomorfologica PAI 1:10.000 Carta delle Indagini 1:10.000	Carta delle Prescrizioni Esecutive 1:5.000 EL2
---	--	---

Soluzioni Tecniche Multidisciplinari STM ASSOCIATA Piazza Duomo Sicilia, 4 90134 - Palermo Tel. 091-4818875 info@stmgroupitalia.it	Ing. Giuseppe Meli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N. 5355 TEAM di Progettazione: Ing. Simona Bellina Ing. Maurizio Soti Dott. Cristina Mancuso Ing. Giovanni Ferraro Ing. Francesco Chiodelli Ing. Andrea Giarranone Ing. Luca Argente	Dott. Geol. Michele Quinone Viale Croce Roma n.25 90145 - Palermo Tel. 091 - 9763913 quinone.milho@gmail.com
---	---	--


Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato
0	05/09/2021				

E' vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, senza autorizzazione del redattore.

**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO
 CON POTENZA NOMINALE DI 38,3 MW_p
 DA REALIZZARE IN CONTRADA ZAFFARANA (TP)
 DENOMINATO "ZAFFARANA 38"**




RELAZIONE SISMICA

RELAZIONE SISMICA						
Project Manager	 Soluzioni Tecniche Multidisciplinari		Consulenze Specialistiche	Dott. Geol. Michele Ognibene Viale Croce Rossa n.25 90145 - Palermo Tel. 091 - 9763933 ognibene.michele@gmail.com		
	Piazza Diodoro Siculo, 4 90141 - Palermo Tel. 091-6818075 info@stmingegneria.it			Ing. Giuseppe Meli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N. 5355 <u>TEAM di Progettazione:</u> Ing. Davide Baldini Ing. Maurizio Savi Dott. Cristian Mancino Ing. Giovanni Termini Ing. Vincenzo Chiarelli Ing. Andrea Garramone Ing. Luca Argano		
Visto Ente						
	Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato
	0	05/09/2021		...		

GENERAL INDEX

GENERAL INDEX.....	2
1 INTRODUZIONE	3
2 INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE	4
2.1 Cenni sulla sismica a rifrazione.....	4
2.2 Strumentazione e tecniche utilizzate	7
3 INDAGINE DI SISMICA MASW	8
3.2 Cenni sulla metodologia di indagine	8
3.3 Strumentazione e tecniche utilizzate	10
4 RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE	11
4.1 Prospezione sismica a rifrazione Rz1	11
4.2 Prospezione sismica a rifrazione Rz2	20
4.3 Prospezione sismica a rifrazione Rz3	29
4.4 Prospezione sismica a rifrazione Rz4	38
5 RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW	47
5.1 Indagine sismica MASW1	47
5.2 Indagine sismica MASW2	48
5.3 Indagine sismica MASW3	49
5.4 Indagine sismica MASW4	50
6 CONCLUSIONI	52

	PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)	
--	--	--

1. INTRODUZIONE

La Società EDPR SICILIA PV SRL Con sede in Milano (MI) Via Roberto Lepetit 8/10 CAP 20124 intende Realizzare nel Comune di Trapani (TP), un impianto Agro-Fotovoltaico denominato "Zaffarana" della potenza di 38,3 MW nel Comune di Trapani (Tp) in contrada "Zaffarana".

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

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

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

Lat.: 37° 51' 15.5267" N. Long.: 12° 38' 26.9445" E.

Il piano di indagini in fase di progettazione definitiva ha previsto la realizzazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018, la realizzazione di n°4 stendimenti per indagine di sismica a rifrazione e n°4 stese sismiche per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di valutare sia la stratigrafia del sito e ricavare il parametro VSeq.

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

Dette indagini sono state realizzate in data 08/09/2021.

2. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

2.1. CENNI SULLA SISMICA A RIFRAZIONE

Le indagini di sismica a rifrazione, consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattore). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda λ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

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

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

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

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

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

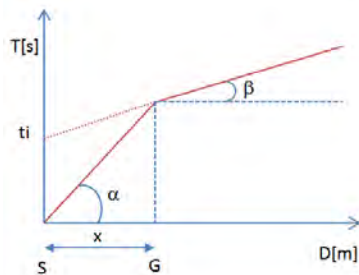
$$T = x_i / V_1$$

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

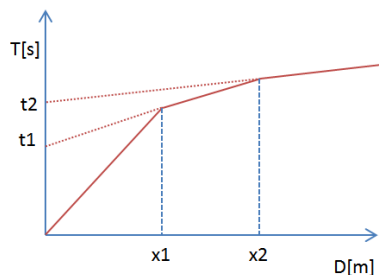
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi- distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

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

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



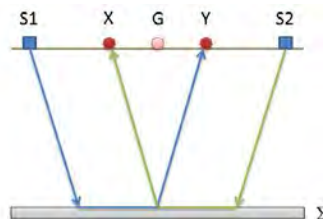
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque,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



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

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

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



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto

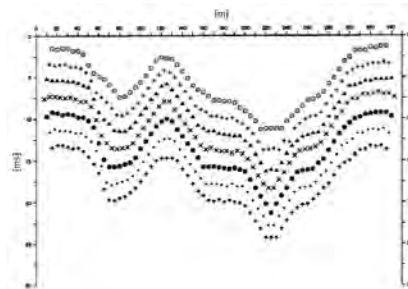
all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione:

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

dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S_1 a X e dalla sorgente S_2 a Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S_1 ed S_2 , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X e Y , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento. Il calcolo della funzione T_v viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare. Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

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

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo. Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

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

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h . Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20° .

2.2. STRUMENTAZIONE E TECNICHE UTILIZZATE

Le indagini sono state eseguite utilizzando il sismografo digitale della Sara electronic instruments® dotato di un sistema di acquisizione fino a 24 canali e convertitore A/D a 24 bit. La prova è stata realizzata mediante uno stendimento lineare, lungo un terreno di copertura, con n°16 trasduttori di velocità verticali (geofoni) con frequenza di vibrazione propria di 4,5Hz dotati di memoria e convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi); i canali a sua volta sono collegati ad un'unità di testa collegata ad un personal computer portatile. L'attrezzatura risulta, inoltre, dotata di un sistema di trigger che consiste in un geofono indipendente posto a fianco della piastra di battuta, che dà il segnale di start al sismografo; Nello stendimento i geofoni sono stati posizionati ad una distanza intergeofonica di 2 metri mentre l'acquisizione è stata effettuata con un tempo di registrazione $T = 256 \text{ ms}$ ed un intervallo di campionamento $\Delta t = 250 \mu\text{s}$. Per l'energizzazione è stata usata una mazza da 8 kg ed un piattello in PVC 20x20 cm; in tutto sono state effettuate numero 3 energizzazioni. Per ottenere una traccia con un buon rapporto segnale/rumore, sono state eseguite tre energizzazioni per ogni punto di battuta rispettivamente, tra l'8° e il 9° geofono. Inoltre ulteriori 2 battute poste a 2 metri dall'ultimo e dal primo geofono come da schema riportato in figure 2.2.1.

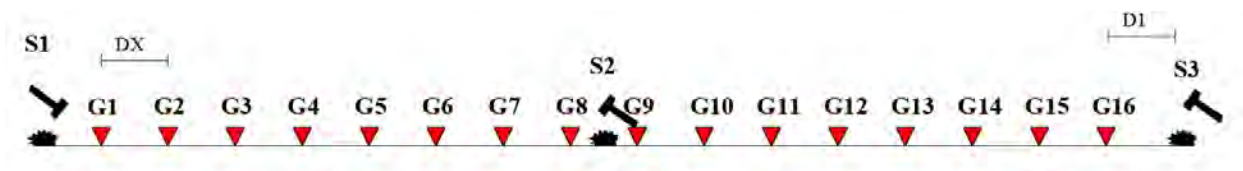



Fig. 2.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

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

	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

3. INDAGINE DI SISMICA MASW

3.1. CENNI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale.

L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

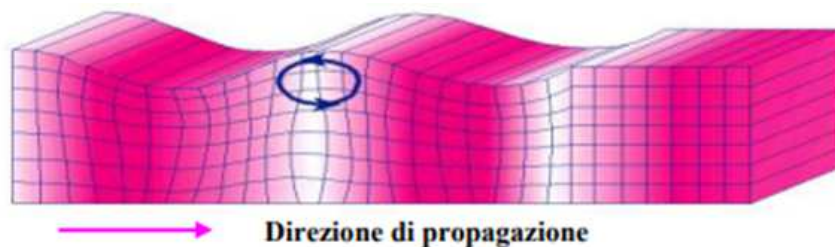
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

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

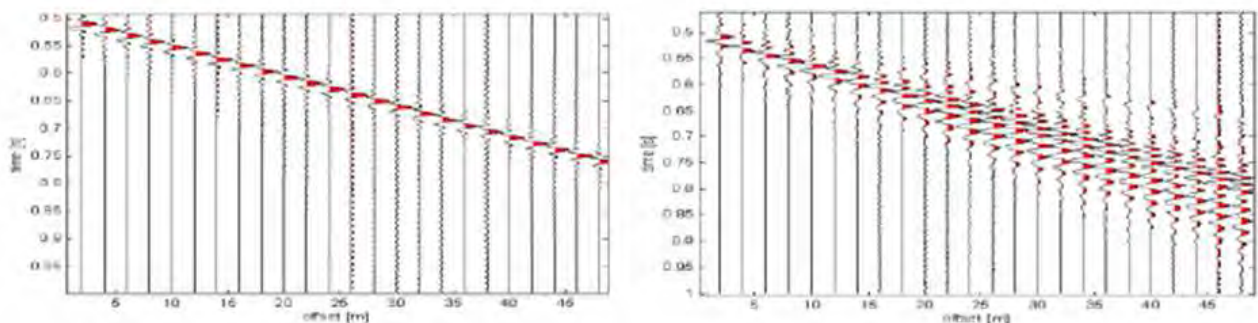
Il metodo si basa sul rilievo di onde di superficie (onde di Rayleigh); queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono polarizzate in un piano verticale. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

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

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




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



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

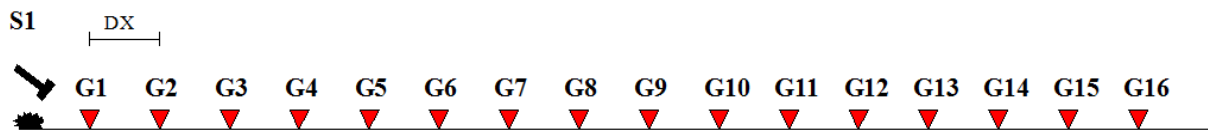
Una volta misurata in situ la velocità di fase (o curva di dispersione apparente) delle onde superficiali essendo questa funzione della velocità delle onde di taglio V_s (oltre che della natura del terreno e degli spessori degli strati) è possibile risalire al valore di queste ultime attraverso un processo d'inversione, in genere attraverso una procedura automatica tramite software che variando opportunamente spessore

	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

degli stati e velocità Vs cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale della velocità di fase misurata in situ e la curva numerica elaborata. In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è inferiore al 10% il profilo di velocità delle onde di taglio Vs rappresenta una soluzione potenzialmente valida.

3.2. STRUMENTAZIONE MASW E TECNICHE UTILIZZATE

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



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

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

4. RISULTATI DELLE INDAGINI DI SIMICA A RIFRAZIONE

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

4.1 Prospezione sismica a rifrazione Rz1

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

- 1° Sismostrato

E' caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 475,01 m/s, indicative di un orizzonte costituito da terreni sciolti e comunque poco addensati. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la superficie topografica, risulta variabile e mediamente valutabile in circa 2,5 metri.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una V_p di 1746 m/s; tale valore, medio, è compatibile con terreni di natura limo-argillosa da moderatamente consistenti a consistenti.

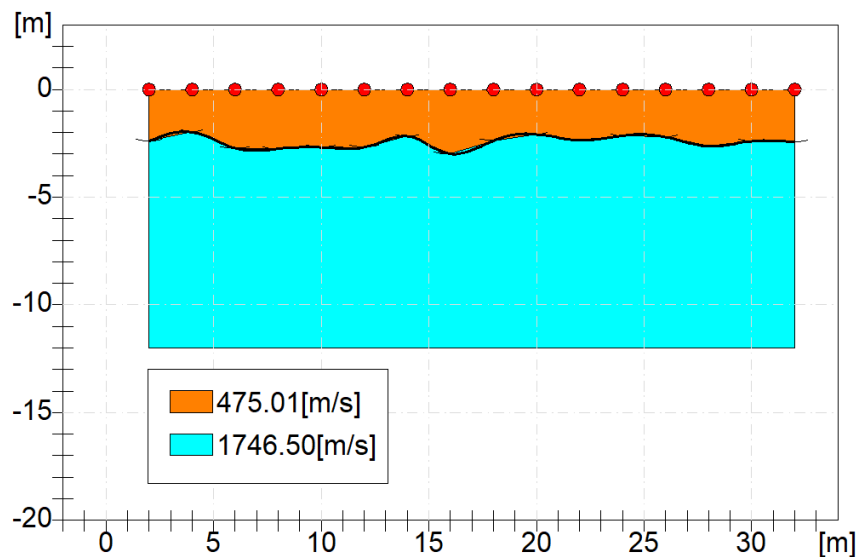



Fig. 4.2.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz1.

	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.1.1):

Tabella 4.1.1 – Sintesi dei risultati dell’indagine sismica Rz1.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vs	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da 0 a -2,5	228.19	Terreno agrario e porzione alterata limo-argillosa poco consistente.
2	Da 2,5 a 10-12	838.99	Limi argillosi consistenti con possibili intercalazioni arenitiche.

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE Rz1

Geometria geofoni

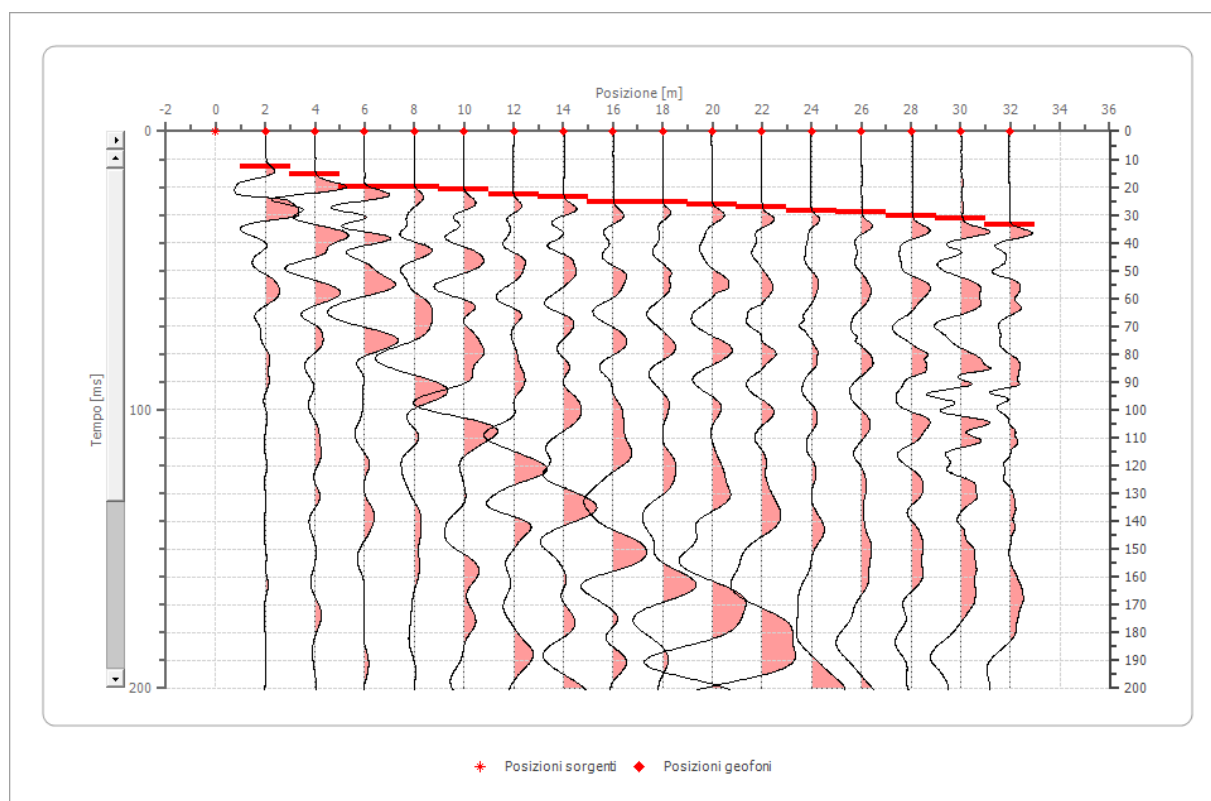
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



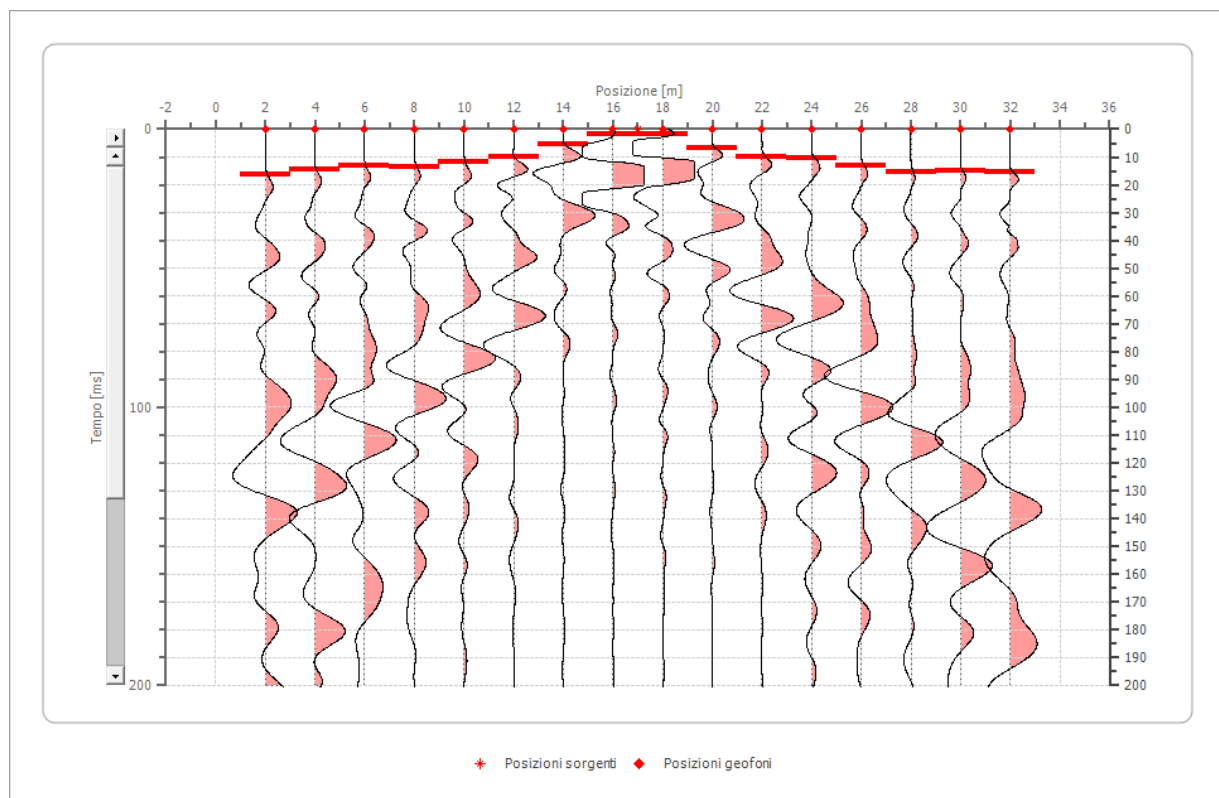
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	12.4717
4.0	15.3061
6.0	20.0000
8.0	20.0000
10.0	21.0000
12.0	22.8000
14.0	23.4000
16.0	25.2000
18.0	25.4000
20.0	26.2000
22.0	27.2000

24.0	28.6000
26.0	29.0000
28.0	30.4000
30.0	31.2000
32.0	33.4000

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



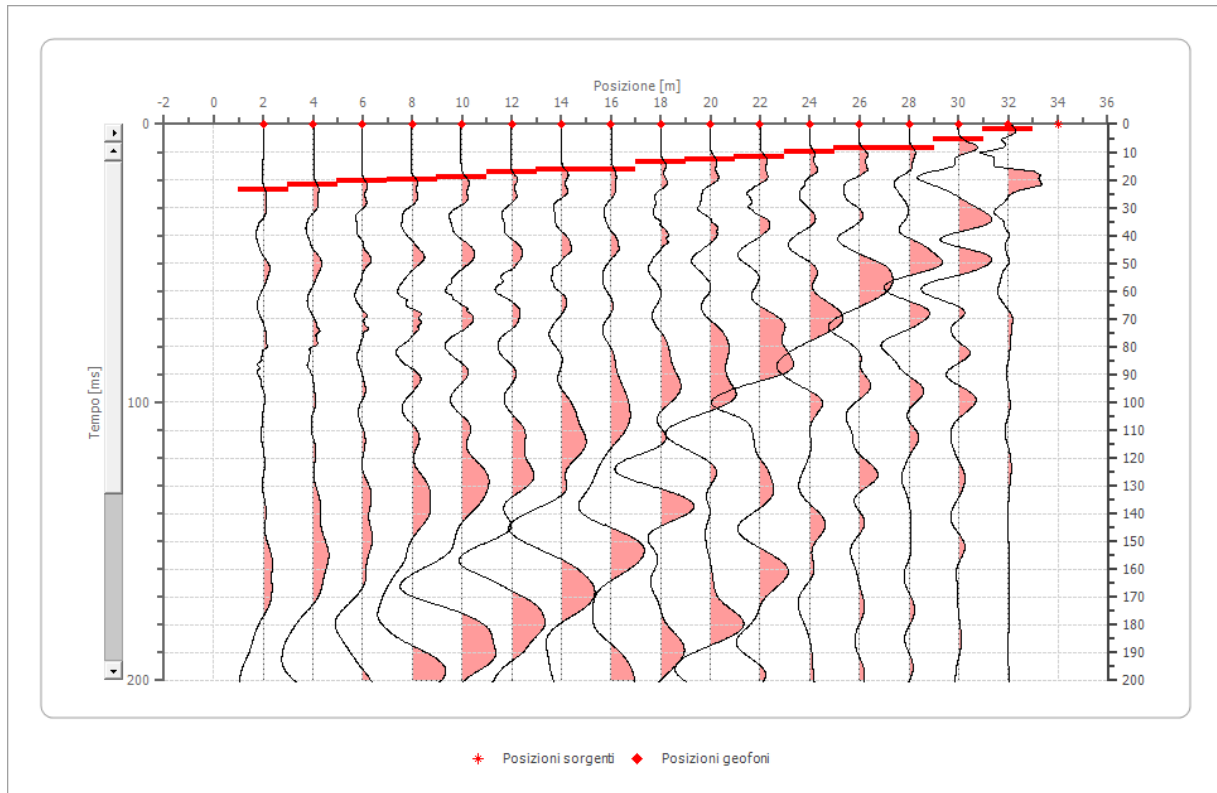
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	16.4399
4.0	14.7392
6.0	13.0385
8.0	13.6054
10.0	11.9048
12.0	10.2041

14.0	5.6689
16.0	1.7007
18.0	1.8141
20.0	6.8027
22.0	9.9773
24.0	10.4308
26.0	13.1519
28.0	15.4195
30.0	14.9660
32.0	15.4195

Battuta 3

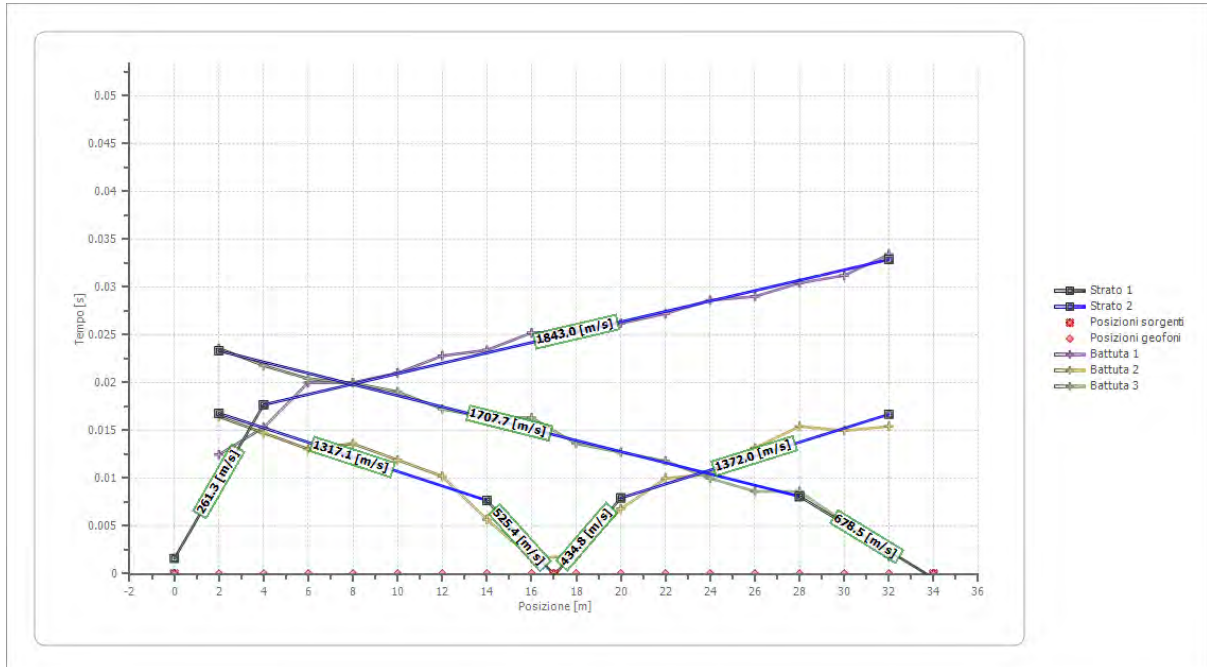
Posizione sorgente X 34 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

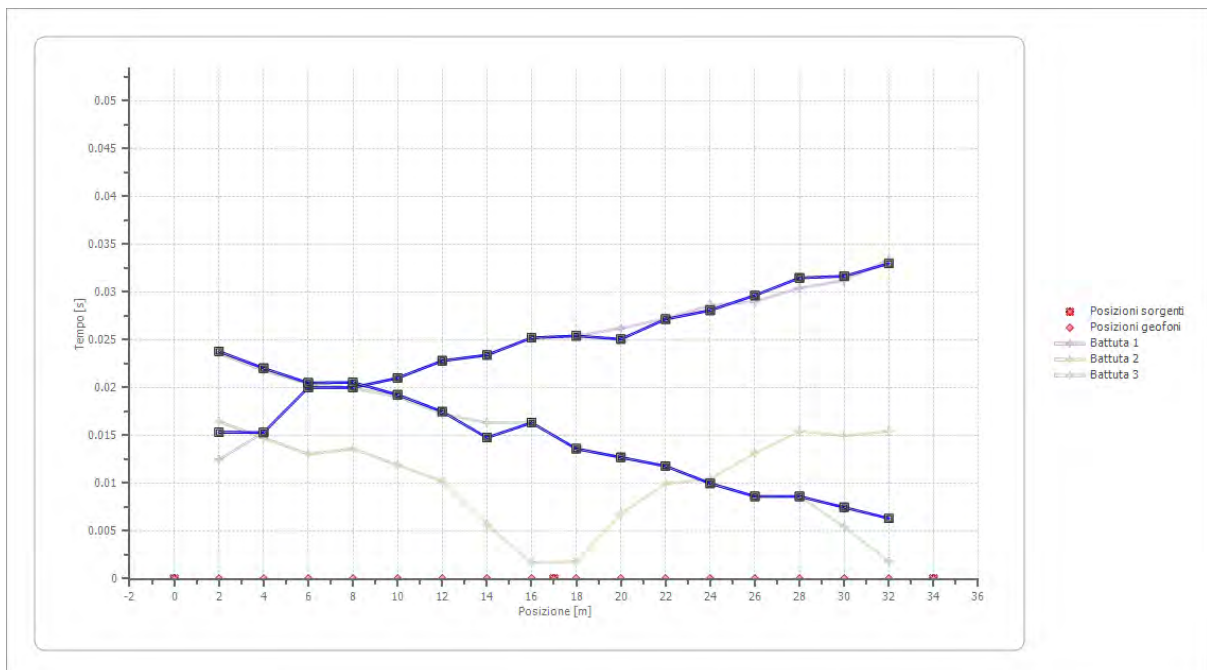



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	23.5828
4.0	21.7687
6.0	20.4082
8.0	19.9546
10.0	19.0476
12.0	17.2336
14.0	16.3265
16.0	16.3265
18.0	13.6054
20.0	12.6984
22.0	11.7914
24.0	9.9773
26.0	8.6168
28.0	8.6168
30.0	5.4422
32.0	1.8141

Dromocrone



Dromocrone traslate



	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	2.4	--
G= 4.0 [m]	2.0	--
G= 6.0 [m]	2.7	--
G= 8.0 [m]	2.8	--
G= 10.0 [m]	2.7	--
G= 12.0 [m]	2.7	--
G= 14.0 [m]	2.2	--
G= 16.0 [m]	3.0	--
G= 18.0 [m]	2.4	--
G= 20.0 [m]	2.1	--
G= 22.0 [m]	2.4	--
G= 24.0 [m]	2.1	--
G= 26.0 [m]	2.2	--
G= 28.0 [m]	2.6	--
G= 30.0 [m]	2.4	--
G= 32.0 [m]	2.4	--
Velocità [m/sec]	475.0	1746.5
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

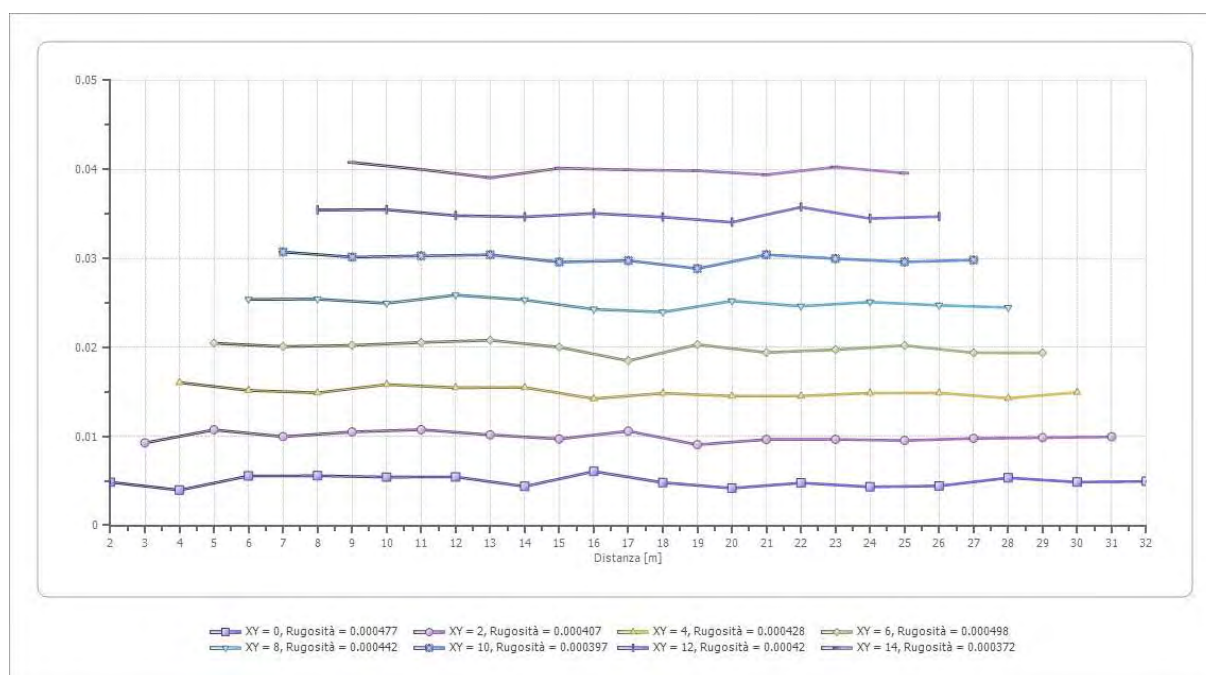
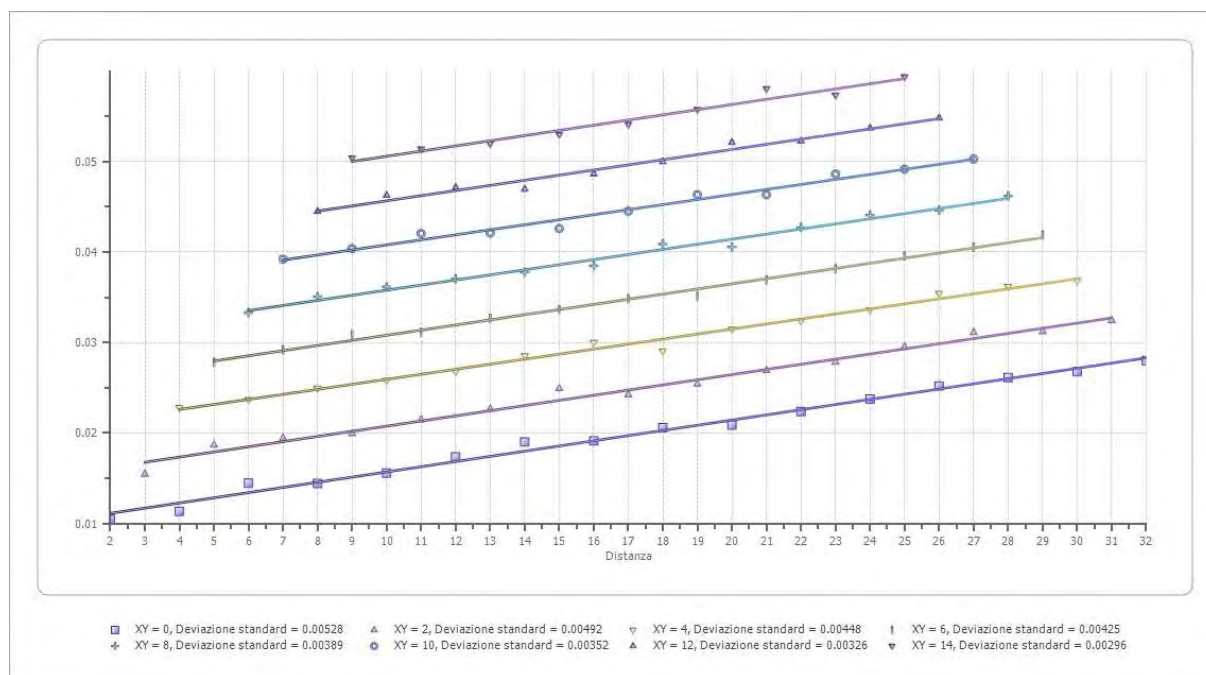
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	475.01	1746.50
Vs [m/s]	228.19	838.99
G0 [MPa]	88.52	1267.03
Ed [Mpa]	383.58	5490.47
M0 [MPa]	295.06	4223.44
Ey [Mpa]	239.00	3420.98

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



4.2 Prospezione sismica a rifrazione Rz2

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

- 1° Sismostrato

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

- 2° Sismostrato

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

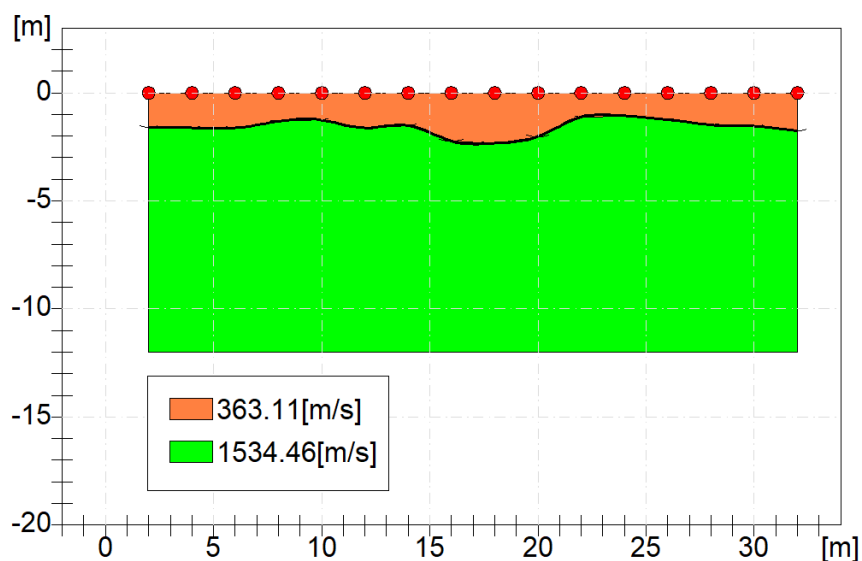


Fig. 4.2.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz2.

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


	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

Tabella 4.2.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica Rz2.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vs	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da 0 a -1,8-2,0	174.43	Terreno agrario e porzione alterata limo-argillosa poco consistente.
2	Da 1,8-2.0 a 10-12	737.13	Limi argillosi consistenti con possibili intercalazioni di calcareniti glauconitiche.

Geometria geofoni

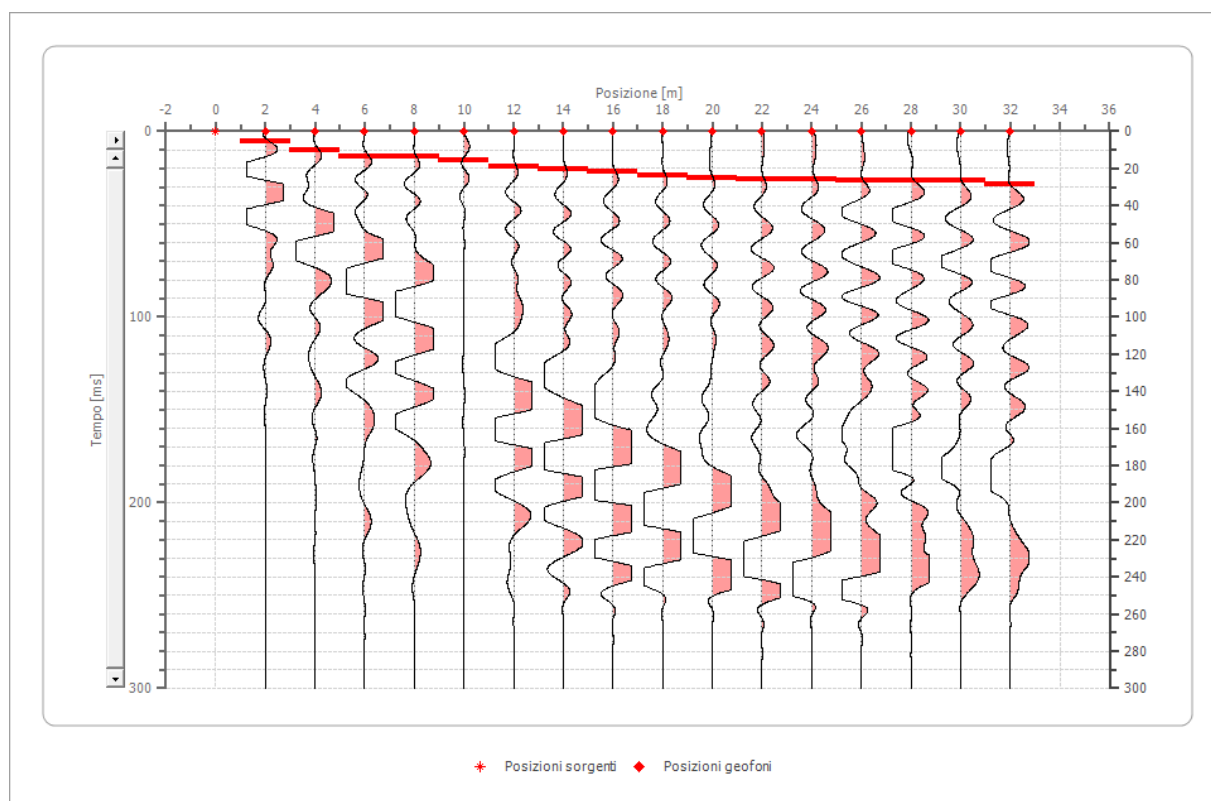
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



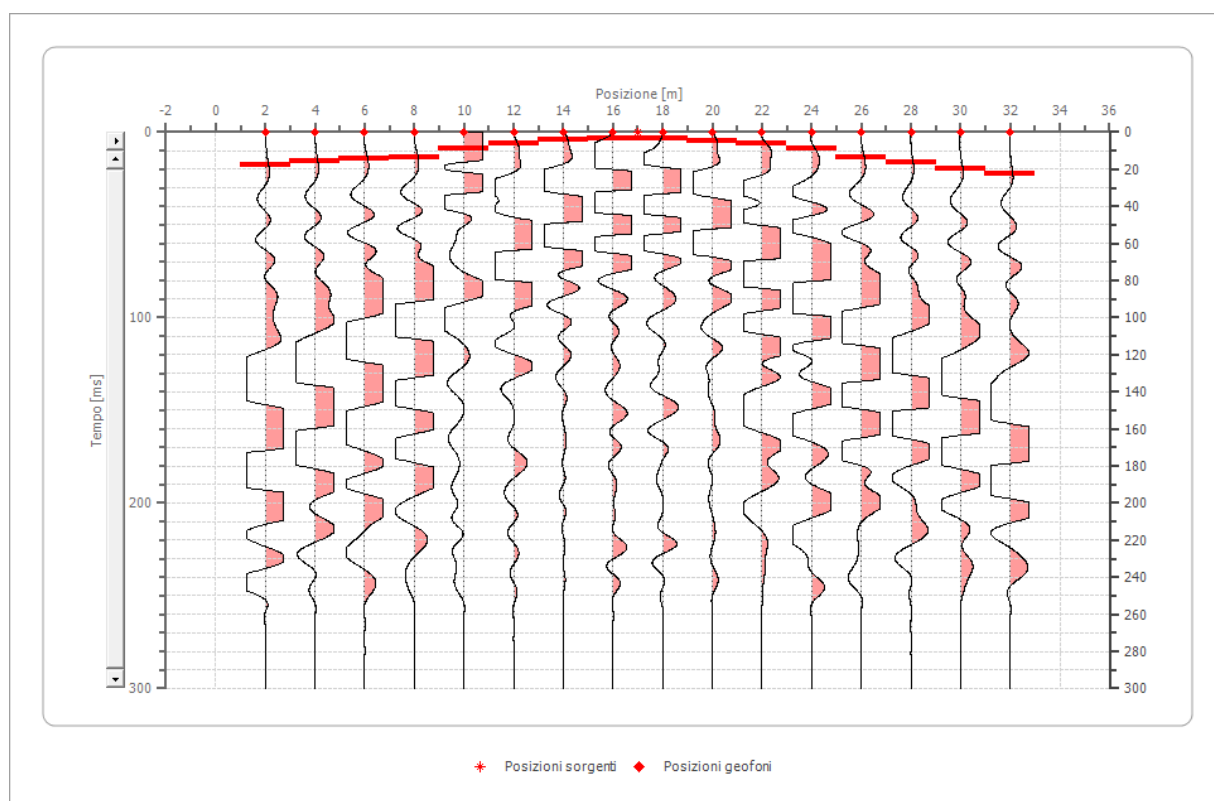
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.7561
4.0	9.9424
6.0	13.6054
8.0	13.6054
10.0	15.6986
12.0	19.3616
14.0	20.4082
16.0	21.4547
18.0	24.0712
20.0	25.1177
22.0	26.1643

24.0	25.6410
26.0	26.6876
28.0	26.6876
30.0	26.6876
32.0	28.7807

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



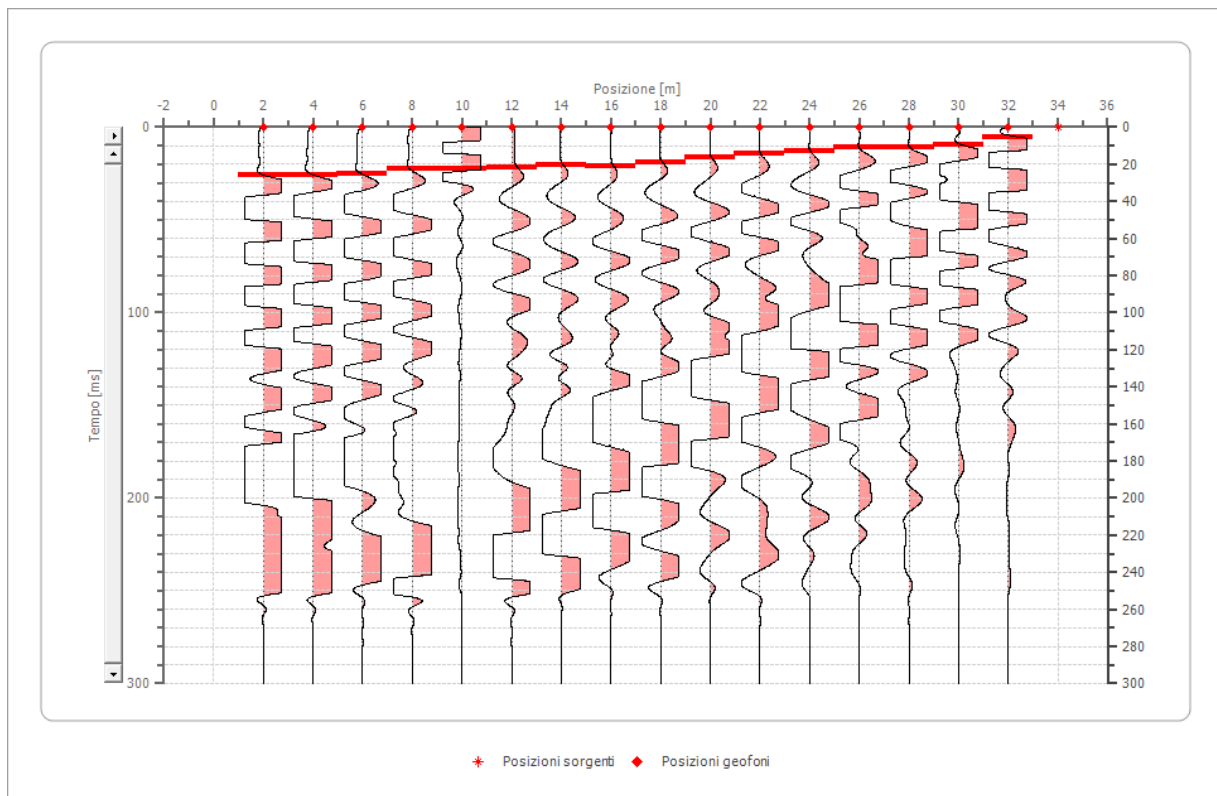
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	17.6871
4.0	15.6463
6.0	14.2857
8.0	13.6054
10.0	8.8435
12.0	6.1224

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

Battuta 3

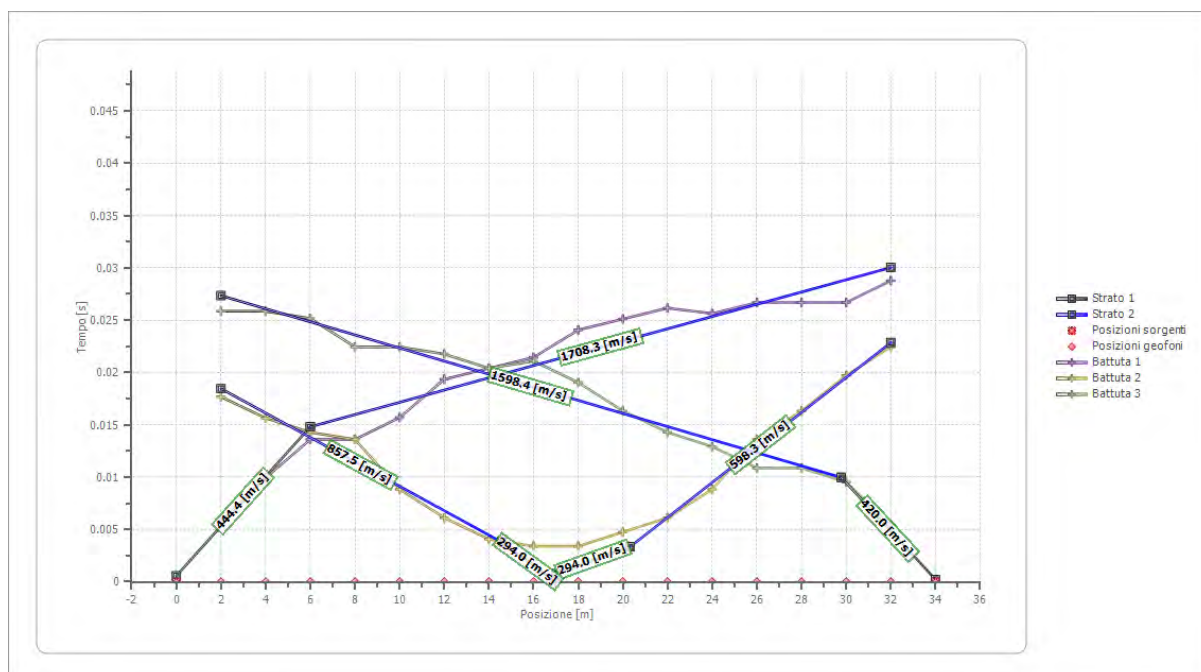
Posizione sorgente X 34 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

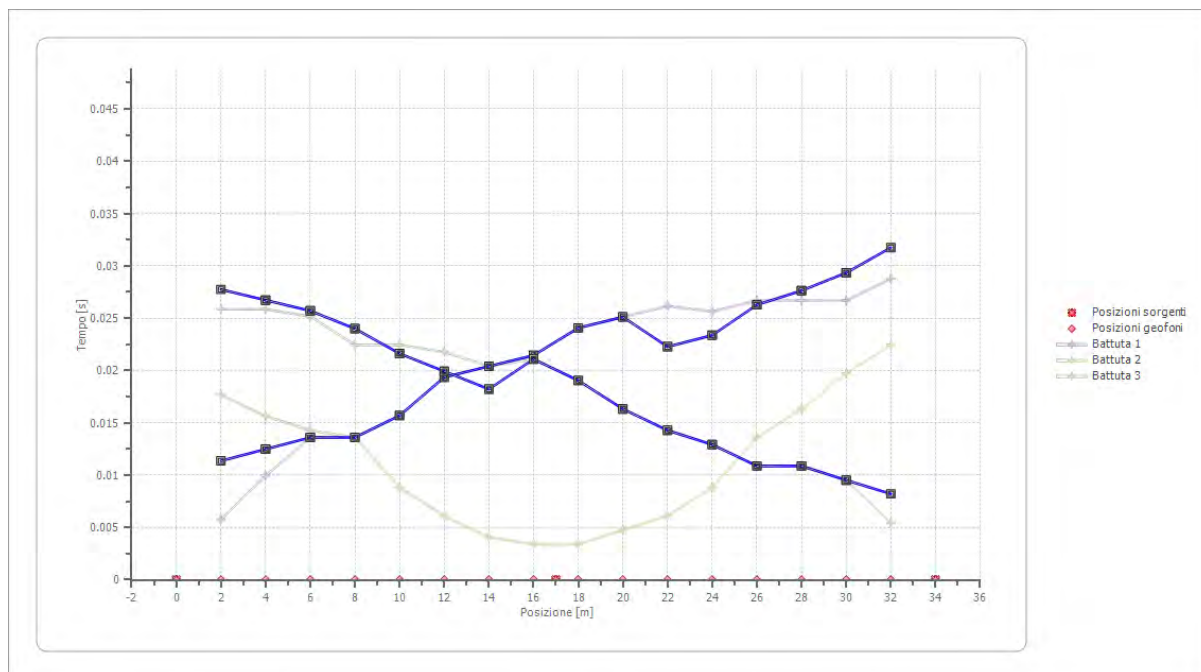


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	25.8503
4.0	25.8503
6.0	25.1701
8.0	22.4490
10.0	22.4490
12.0	21.7687
14.0	20.4082
16.0	21.0884
18.0	19.0476
20.0	16.3265
22.0	14.2857
24.0	12.9252
26.0	10.8844
28.0	10.8844
30.0	9.5238
32.0	5.4422

Dromocrone




Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

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

	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

G= 32.0 [m]	1.8	--
Velocità [m/sec]	363.1	1534.5
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

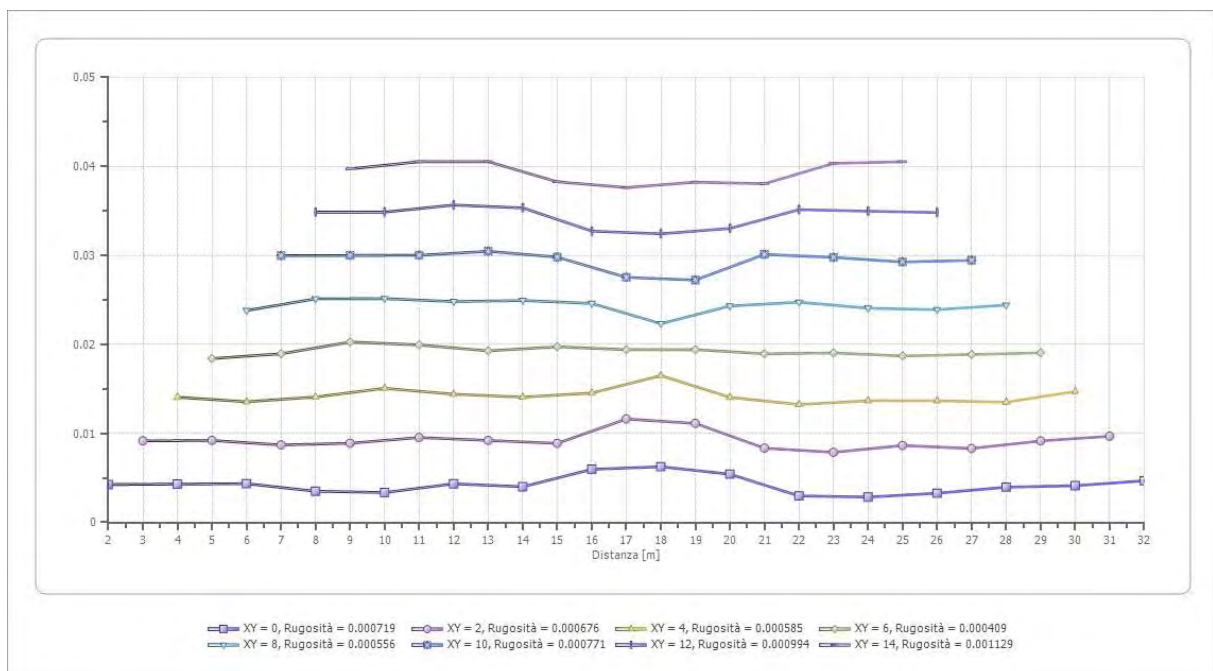
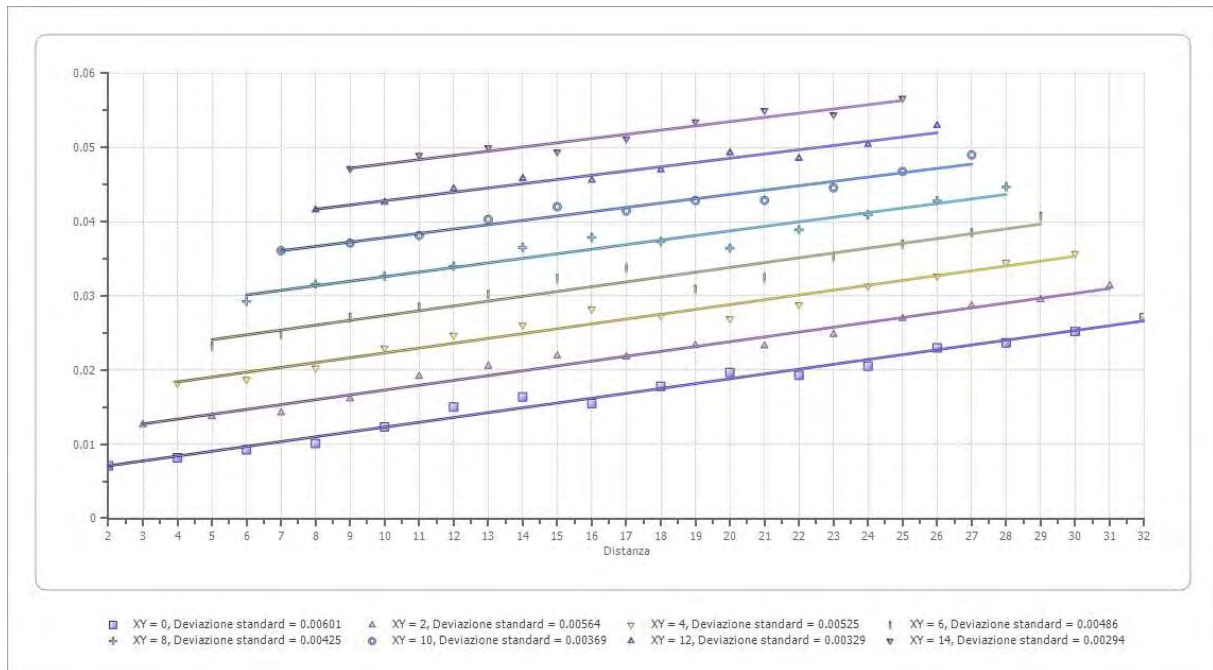
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	363.11	1534.46
Vs [m/s]	174.43	737.13
G0 [MPa]	51.72	978.05
Ed [Mpa]	224.14	4238.23
M0 [MPa]	172.41	3260.18
Ey [Mpa]	139.65	2640.74

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



4.3 Prospezione sismica a rifrazione Rz3

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rz3 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p sensibilmente differenti (Fig. 4.3.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da discrete velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 850,92 m/s, indicative di un orizzonte costituito da terreni addensati. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la superficie topografica, risulta variabile e mediamente valutabile in circa 5 metri.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una V_p di 1797.67 m/s; tale valore, medio, è compatibile con terreni di natura limo-argillosa da moderatamente consistenti a consistenti. Lo spessore risulta comunque indefinito.

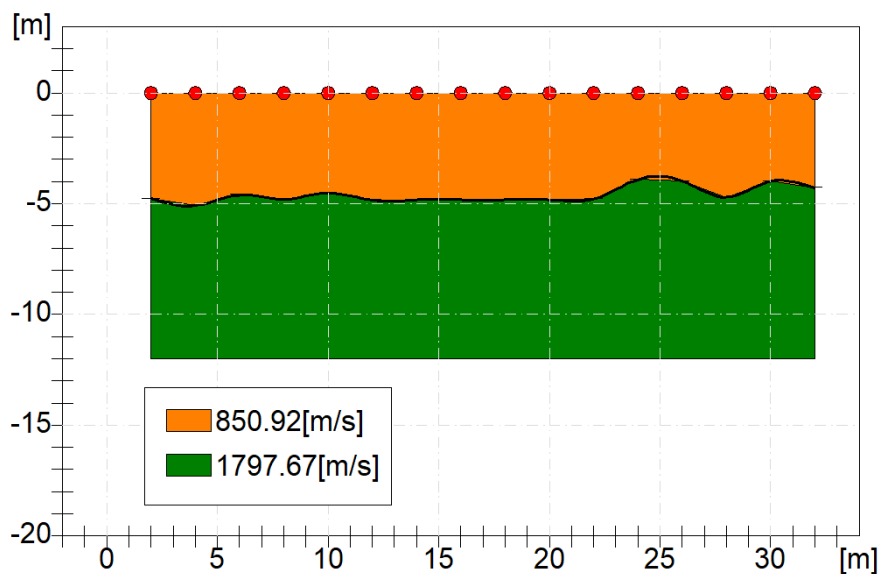


Fig. 4.3.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz3.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.3.1):


	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

Tabella 4.3.1 – Sintesi dei risultati dell’indagine sismica Rz3.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vs	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da 0 a -5 m dal p.c.	408.77	Deposti eluvio colluviali mediamente consistenti costituiti da limi argillosi con intercalazioni di blocchi eterometrici
2	Da 5 a 10-12	863.57	Limi argillosi consistenti con possibili intercalazioni di calcareniti glauconitiche.

Geometria geofoni

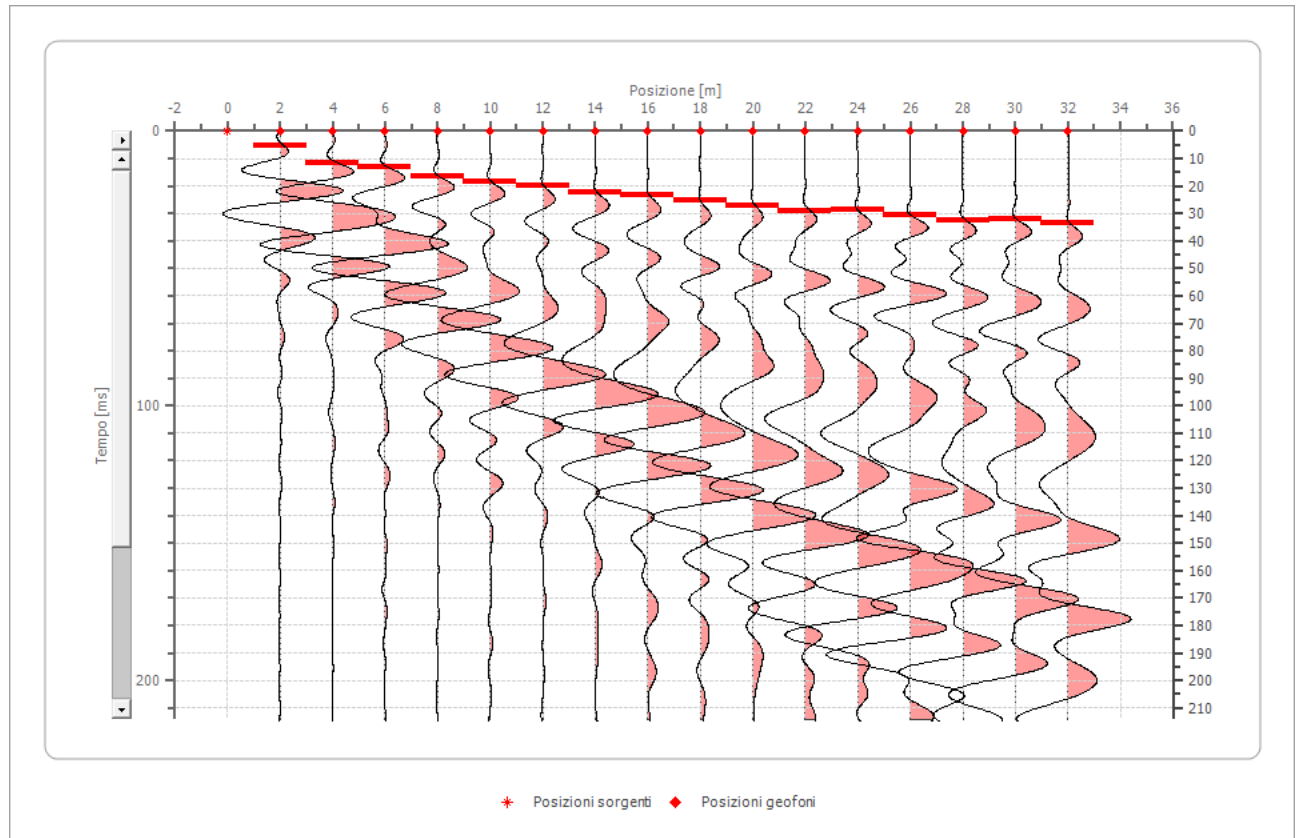
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



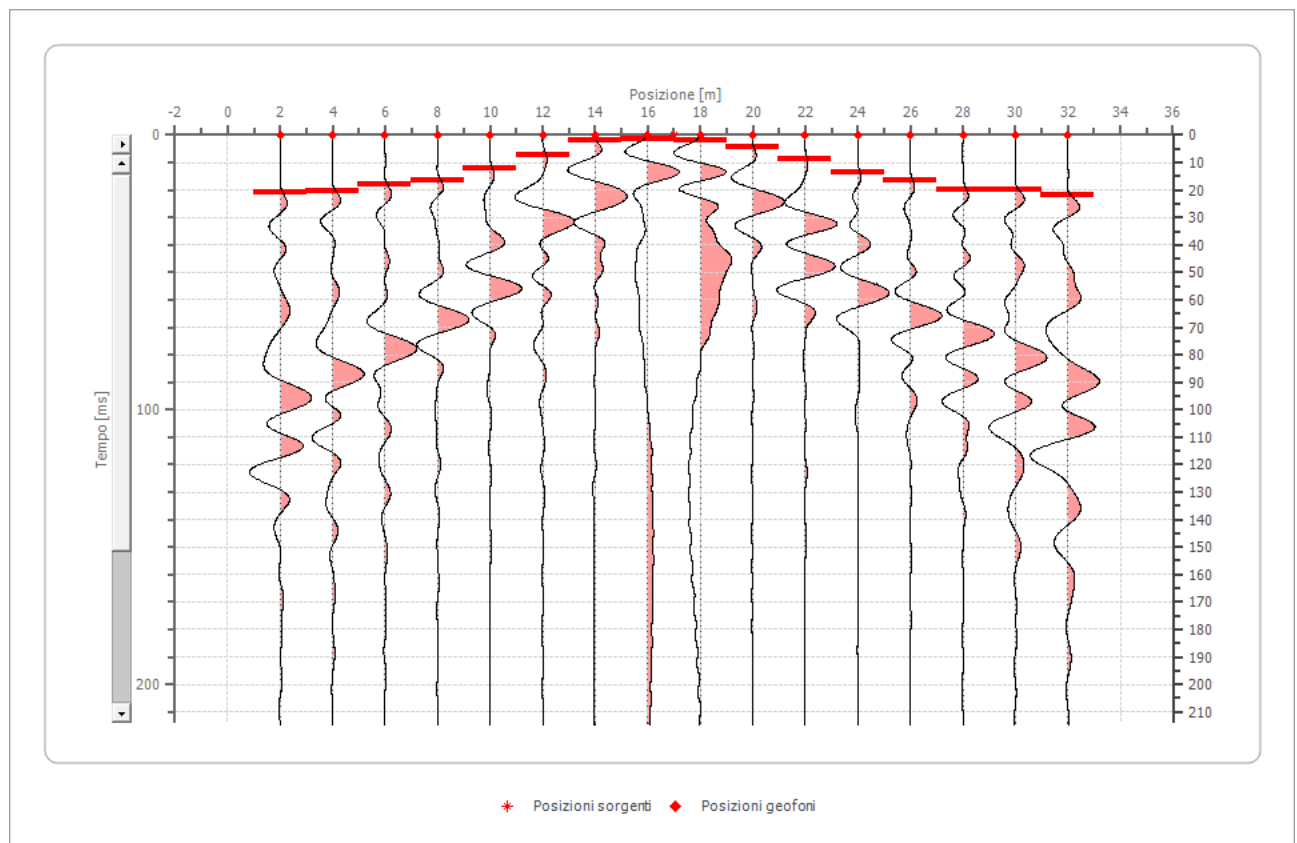
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	5.4422
4.0	11.5646
6.0	12.9252
8.0	16.3265
10.0	18.3673
12.0	20.0000
14.0	22.4490
16.0	23.1293
18.0	25.1701

20.0	27.2109
22.0	29.2517
24.0	28.5714
26.0	30.6122
28.0	32.6531
30.0	31.9728
32.0	33.6000

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



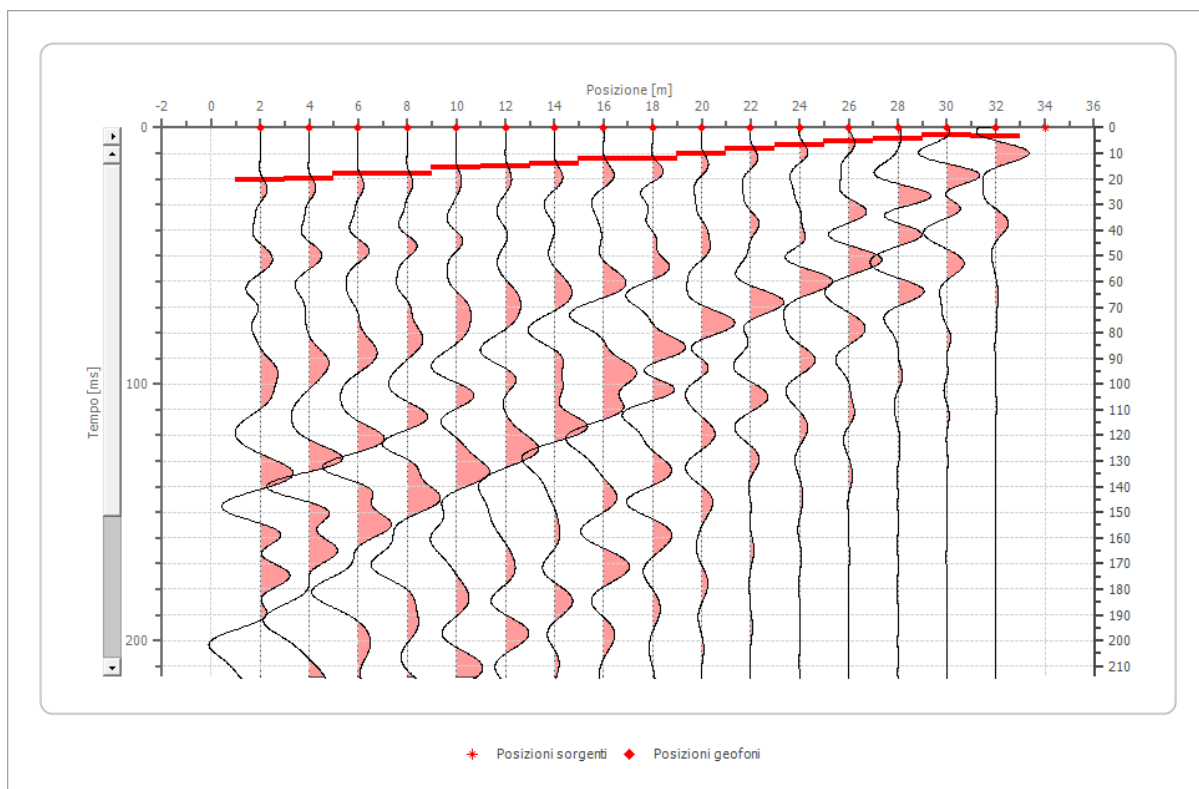
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	20.8941
4.0	20.4082
6.0	17.9786

8.0	16.5209
10.0	12.1477
12.0	7.2886
14.0	1.9436
16.0	1.4577
18.0	1.9436
20.0	4.3732
22.0	8.7464
24.0	13.6054
26.0	16.5209
28.0	19.9223
30.0	19.9223
32.0	21.8659

Battuta 3

Posizione sorgente X 34 [m]

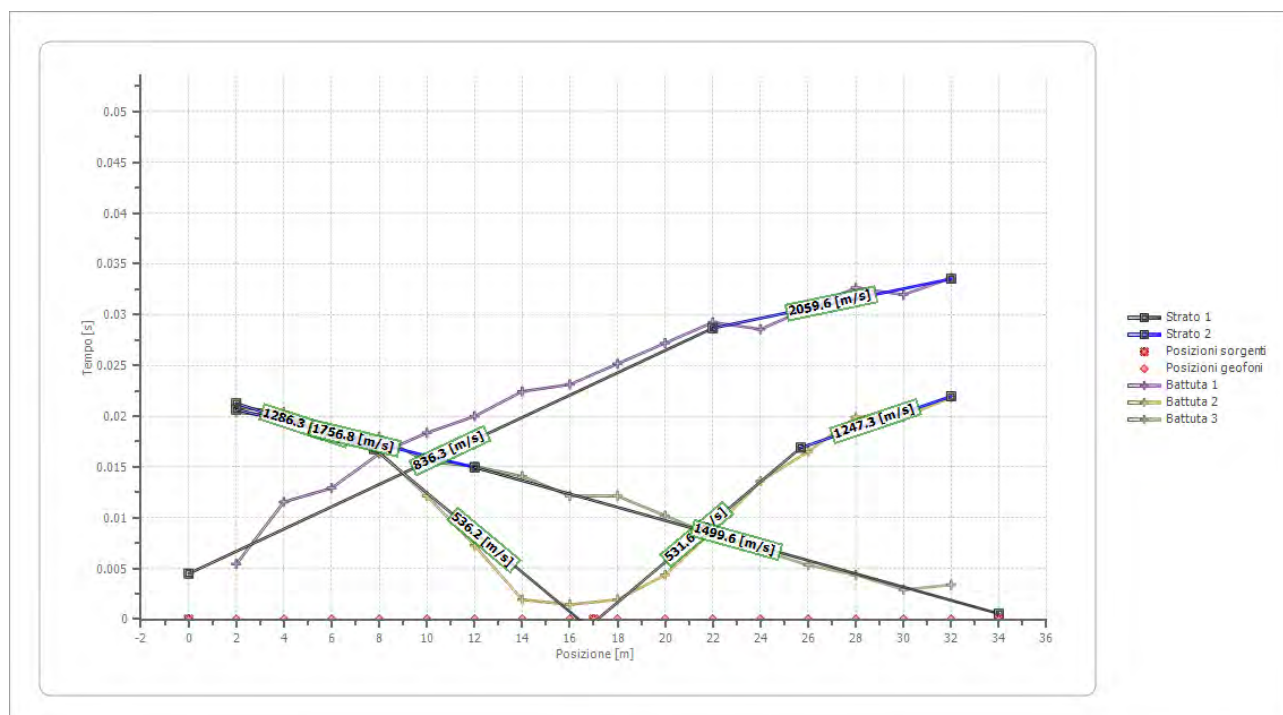
Posizione sorgente Z 0 [m]



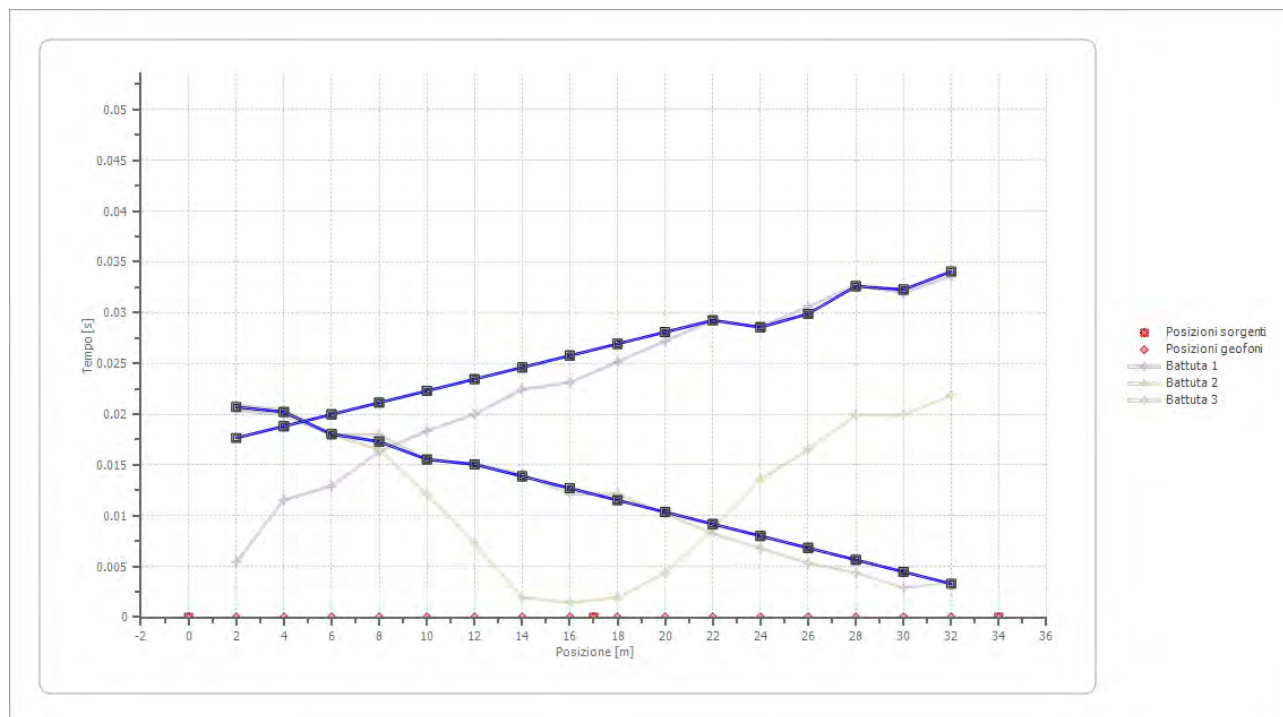
Posizione geofono	Tempo
-------------------	-------

[m]	[ms]
2.0	20.4082
4.0	19.9223
6.0	17.9786
8.0	17.9786
10.0	15.5491
12.0	15.0632
14.0	14.0914
16.0	12.1477
18.0	12.1477
20.0	10.2041
22.0	8.2604
24.0	6.8027
26.0	5.3450
28.0	4.3732
30.0	2.9155
32.0	3.4014

Dromocrone




Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	4.8	--
G= 4.0 [m]	5.1	--
G= 6.0 [m]	4.6	--
G= 8.0 [m]	4.8	--
G= 10.0 [m]	4.5	--
G= 12.0 [m]	4.8	--
G= 14.0 [m]	4.8	--
G= 16.0 [m]	4.8	--
G= 18.0 [m]	4.8	--
G= 20.0 [m]	4.8	--
G= 22.0 [m]	4.8	--
G= 24.0 [m]	3.9	--
G= 26.0 [m]	4.0	--
G= 28.0 [m]	4.7	--

	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

G= 30.0 [m]	4.0	--
G= 32.0 [m]	4.3	--
Velocità [m/sec]	850.9	1797.7
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

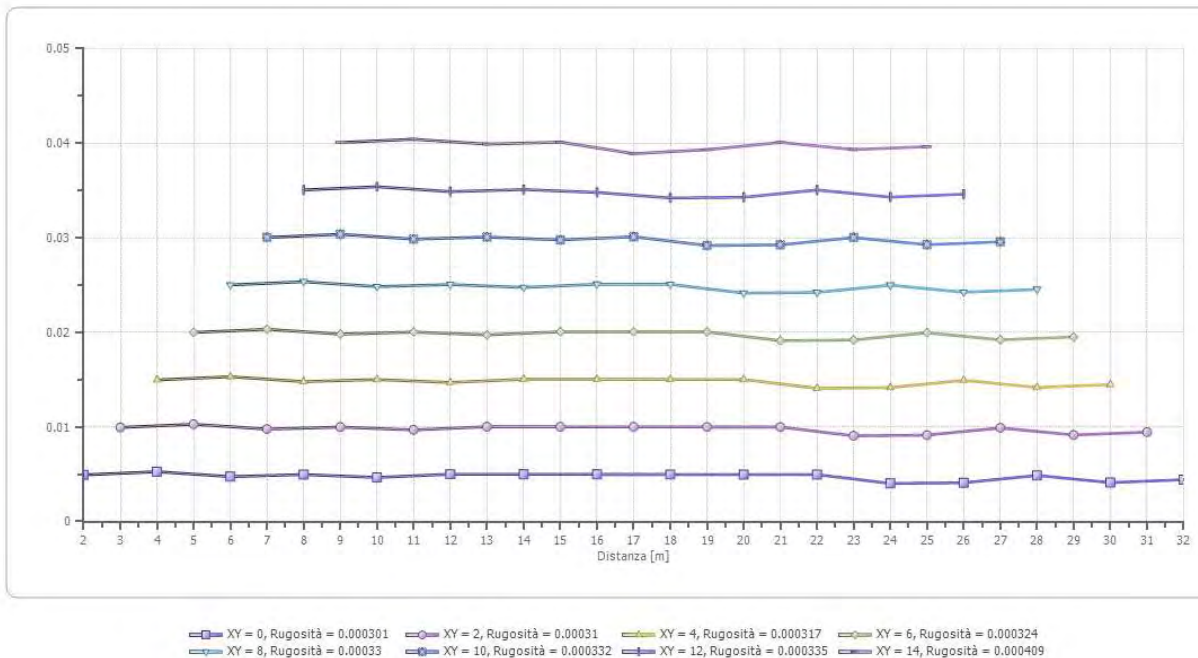
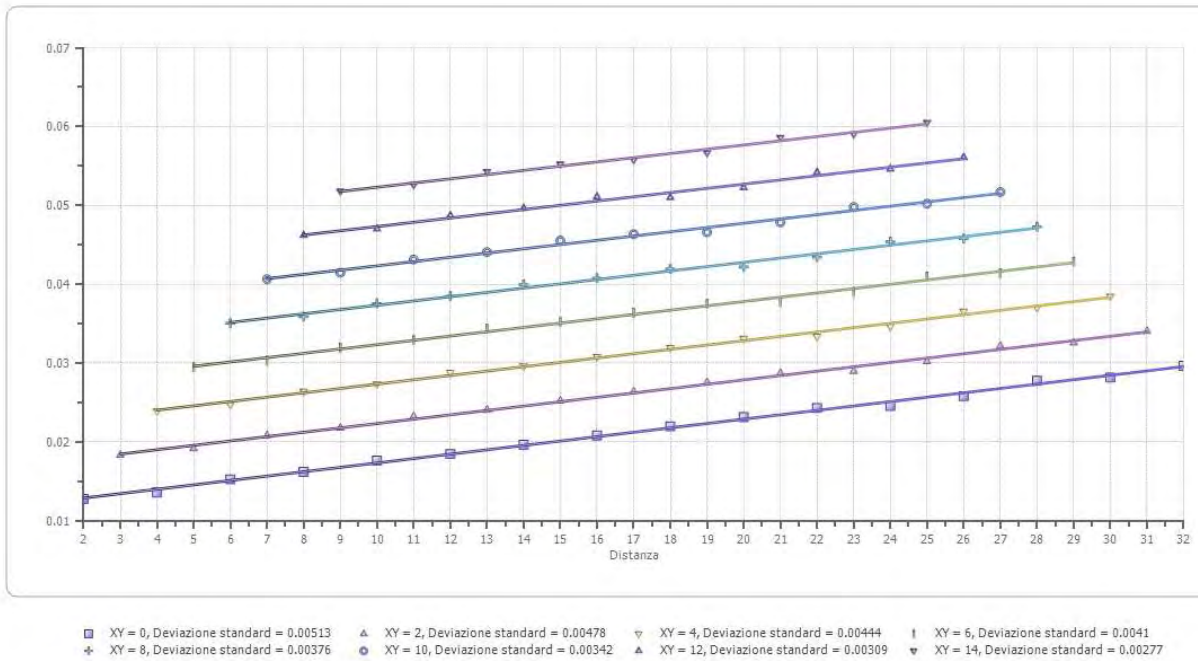
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	850.92	1797.67
Vs [m/s]	408.77	863.57
G0 [MPa]	284.06	1342.36
Ed [Mpa]	1230.92	5816.90
M0 [MPa]	946.86	4474.54
Ey [Mpa]	766.96	3624.38

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



4.4 Prospezione sismica a rifrazione Rz4

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rz4 ha messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia della superficie topografica. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p sensibilmente differenti (Fig. 4.4.1).

- 1° Sismostrato

È caratterizzato da basse velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 257,55 m/s, indicative di un orizzonte costituito da terreni sciolti e comunque poco addensati. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la superficie topografica, risulta variabile e mediamente valutabile in circa 2 metri con un leggero assottigliamento verso l'ultimo geofono giustificato da una leggero dislivello tra il primo ed il sedicesimo geofono.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una V_p di 1171,43 m/s; tale valore medio-basso, è compatibile con terreni di natura limo-argillosa moderatamente consistenti. Lo spessore risulta comunque indefinito.

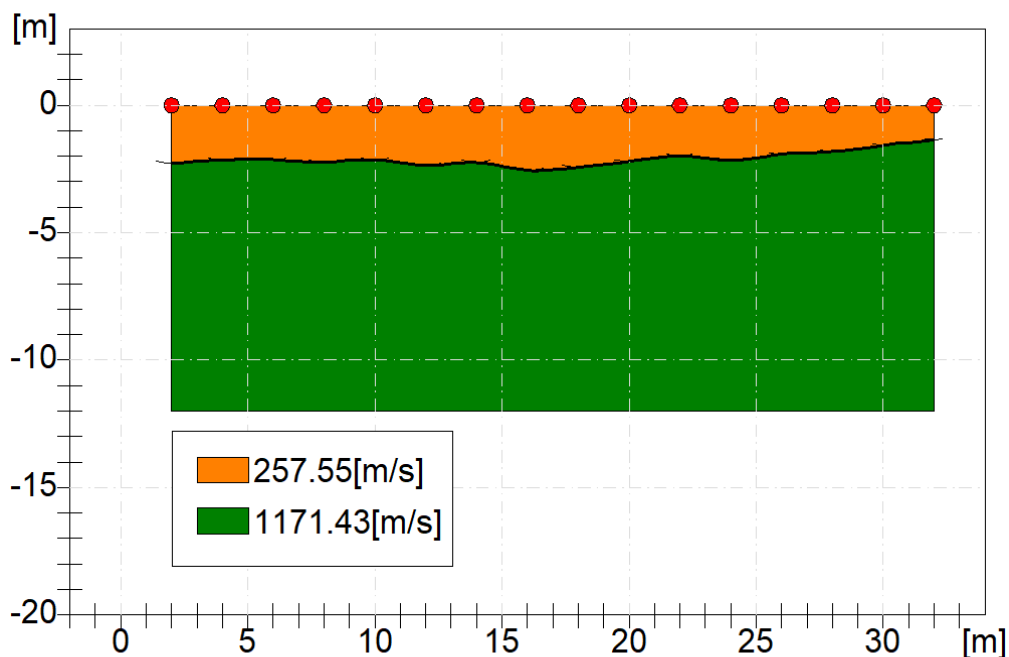


Fig. 4.4.1: Sismostratigrafia desunta dall'indagine Rz4.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito (Tab.4.4.1):


	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

Tabella 4.4.1 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica Rz4.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vs	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da 0 a 2,0	123.72	Terreno agrario e porzione alterata limo-argillosa poco consistente.
2	Da 2.0 a 10-12	562.74	Limi argillosi mediamente consistenti con possibili intercalazioni di calcareniti glauconitiche.

Geometria geofoni

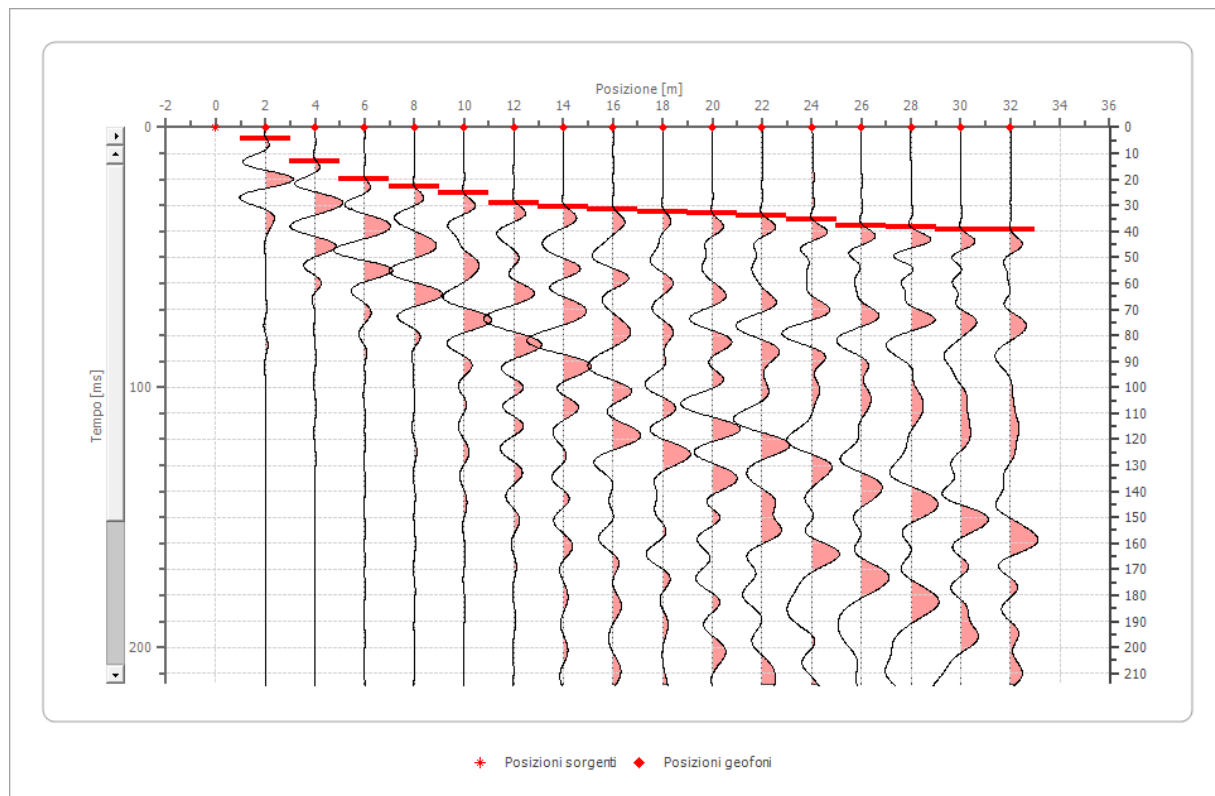
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	4.0	0.0
3	6.0	0.0
4	8.0	0.0
5	10.0	0.0
6	12.0	0.0
7	14.0	0.0
8	16.0	0.0
9	18.0	0.0
10	20.0	0.0
11	22.0	0.0
12	24.0	0.0
13	26.0	0.0
14	28.0	0.0
15	30.0	0.0
16	32.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



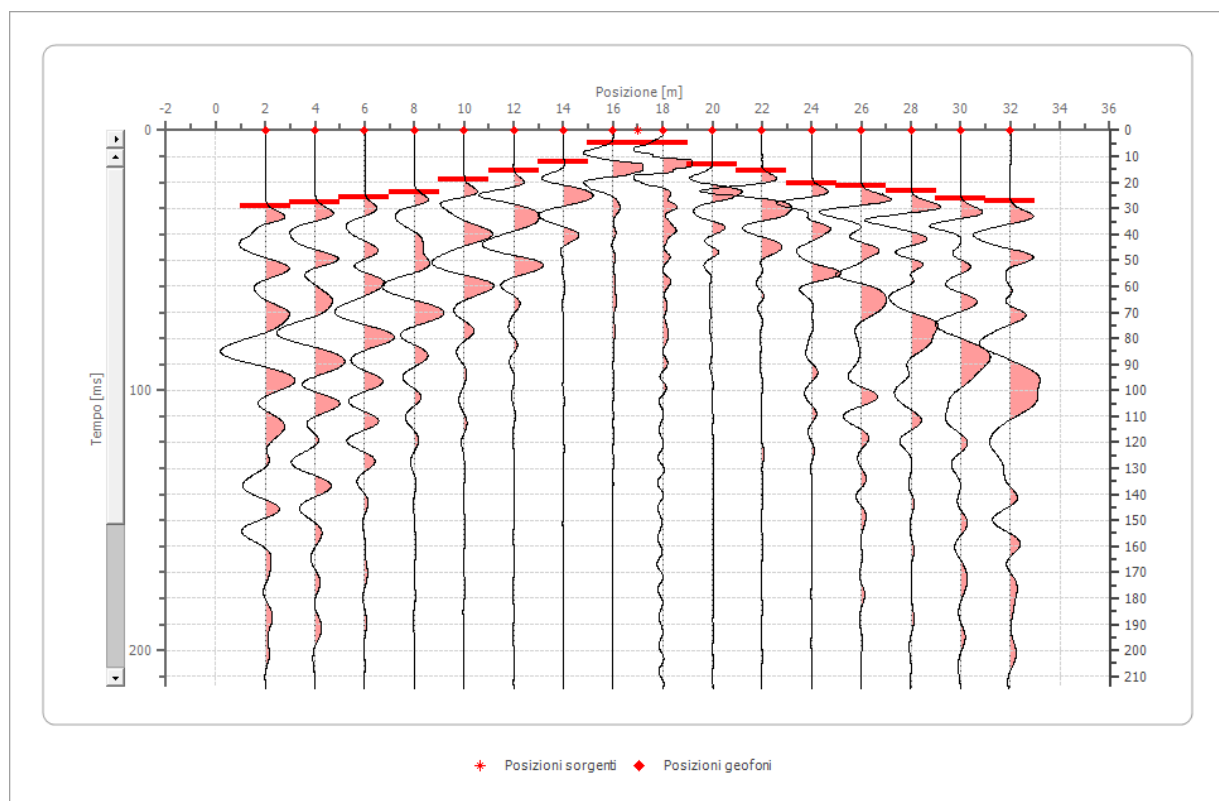
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	4.3732
4.0	13.1195
6.0	19.9223
8.0	22.8377
10.0	25.2673
12.0	29.1545
14.0	30.6122
16.0	31.5841
18.0	32.5559
20.0	33.0418

22.0	34.0136
24.0	35.4713
26.0	37.9009
28.0	38.3868
30.0	39.3586
32.0	39.3586

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



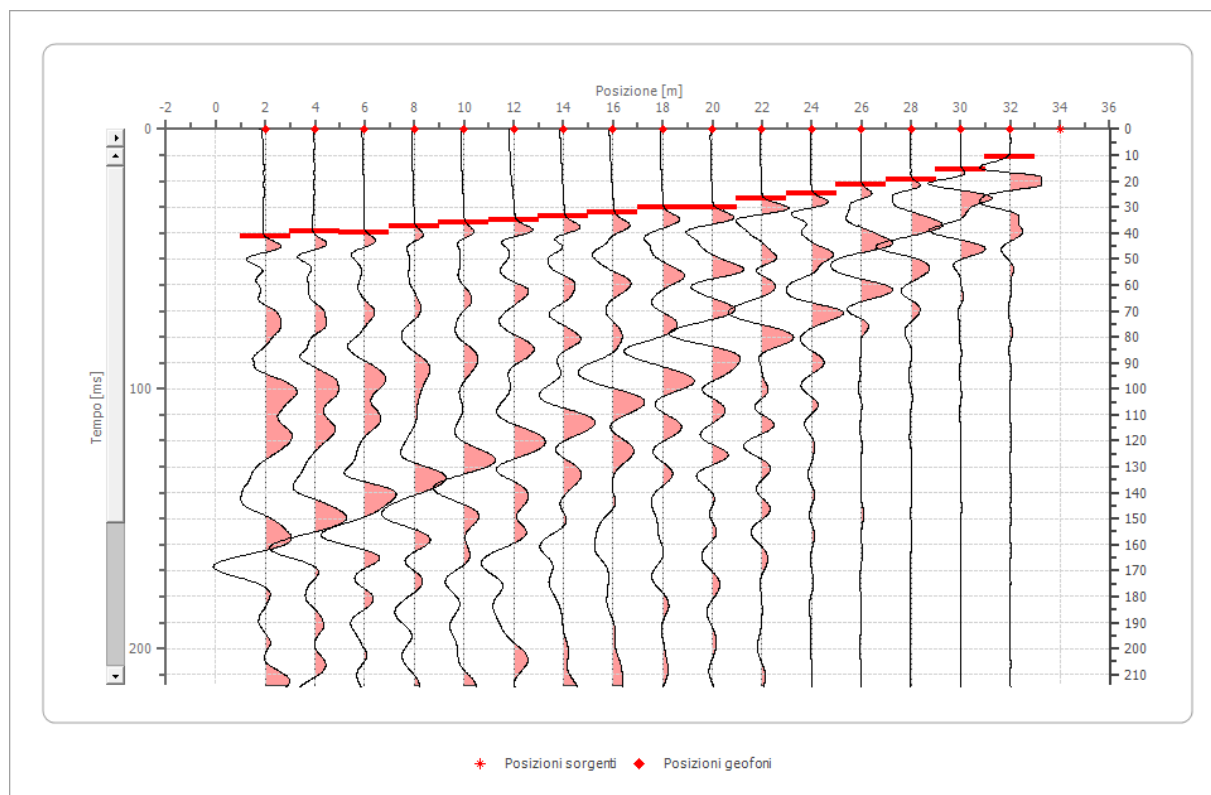
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	29.1545
4.0	27.6968
6.0	25.7532
8.0	23.8095
10.0	18.9504
12.0	15.5491

14.0	12.1477
16.0	4.8591
18.0	4.8591
20.0	13.1195
22.0	15.5491
24.0	20.4082
26.0	21.3800
28.0	23.3236
30.0	26.2391
32.0	27.2109

Battuta 3

Posizione sorgente X 34 [m]

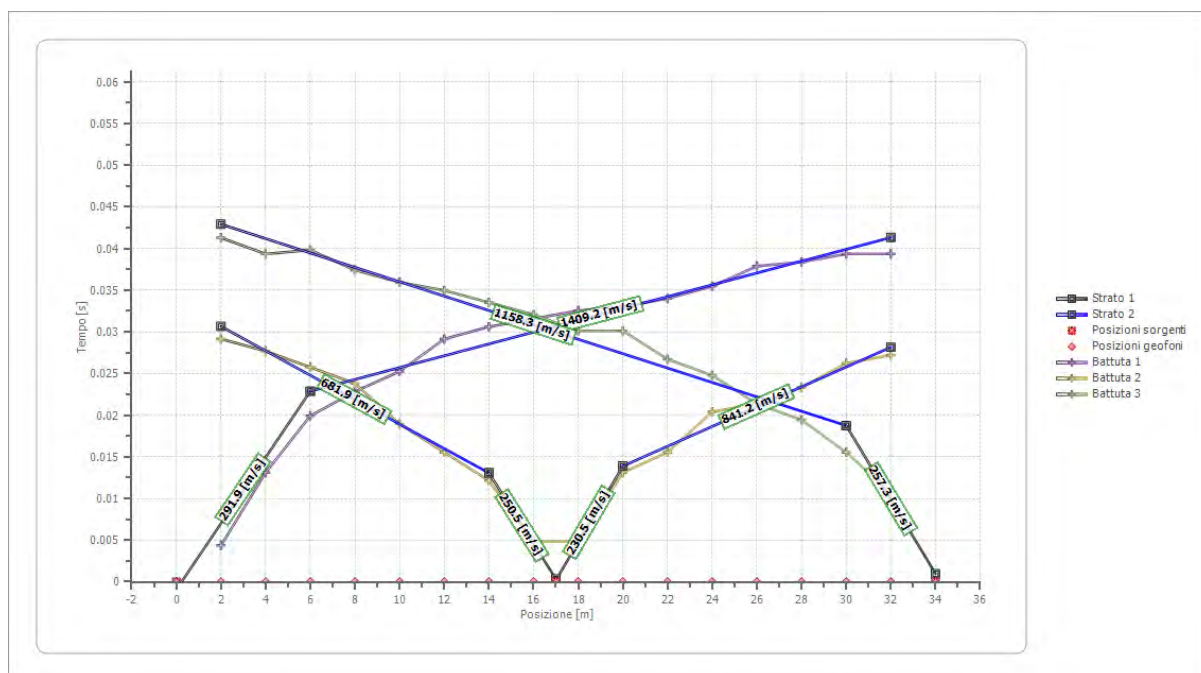
Posizione sorgente Z 0 [m]



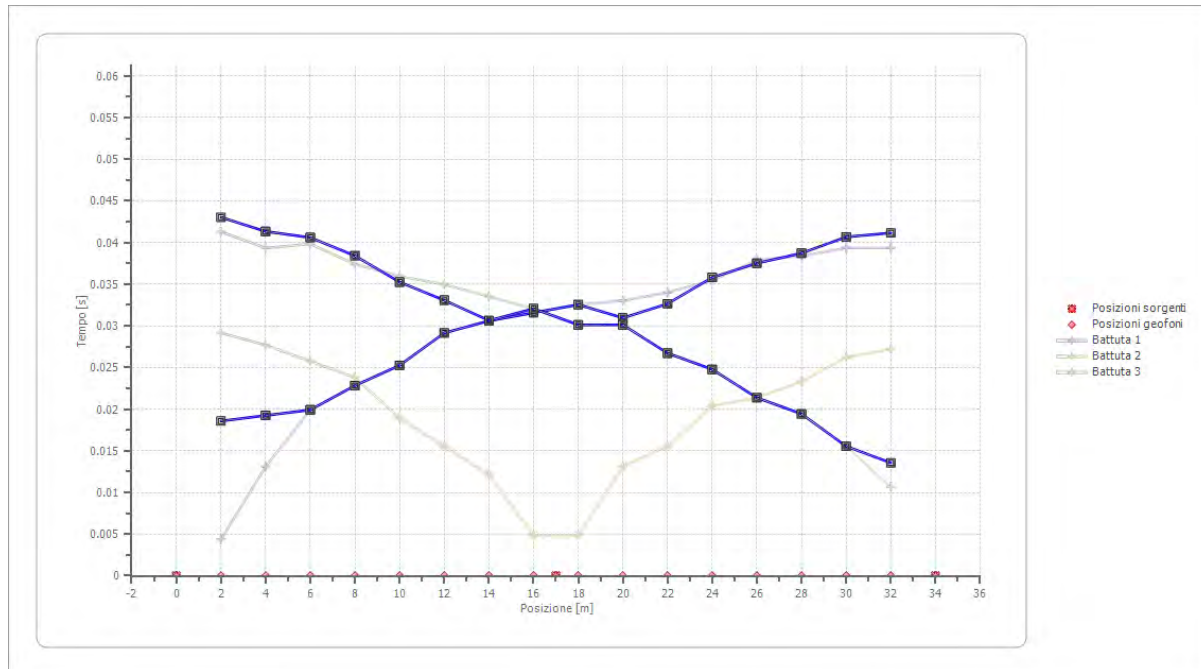
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
--------------------------	---------------

2.0	41.3022
4.0	39.3586
6.0	39.8445
8.0	37.4150
10.0	35.9572
12.0	34.9854
14.0	33.5277
16.0	32.0700
18.0	30.1263
20.0	30.1263
22.0	26.7250
24.0	24.7813
26.0	21.3800
28.0	19.4363
30.0	15.5491
32.0	10.6900

Dromocrone




Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 2.0 [m]	2.3	8.9
G= 4.0 [m]	2.1	8.7
G= 6.0 [m]	2.1	9.3
G= 8.0 [m]	2.2	9.8
G= 10.0 [m]	2.1	9.8
G= 12.0 [m]	2.4	8.6
G= 14.0 [m]	2.2	8.7
G= 16.0 [m]	2.6	7.9
G= 18.0 [m]	2.4	8.1
G= 20.0 [m]	2.2	7.9
G= 22.0 [m]	2.0	8.4
G= 24.0 [m]	2.2	7.5
G= 26.0 [m]	1.9	8.0

	<p style="text-align: center;">PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)</p>	
--	--	--

G= 28.0 [m]	1.8	7.2
G= 30.0 [m]	1.6	7.0
G= 32.0 [m]	1.4	6.7
Velocità [m/sec]	257.6	1171.4
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

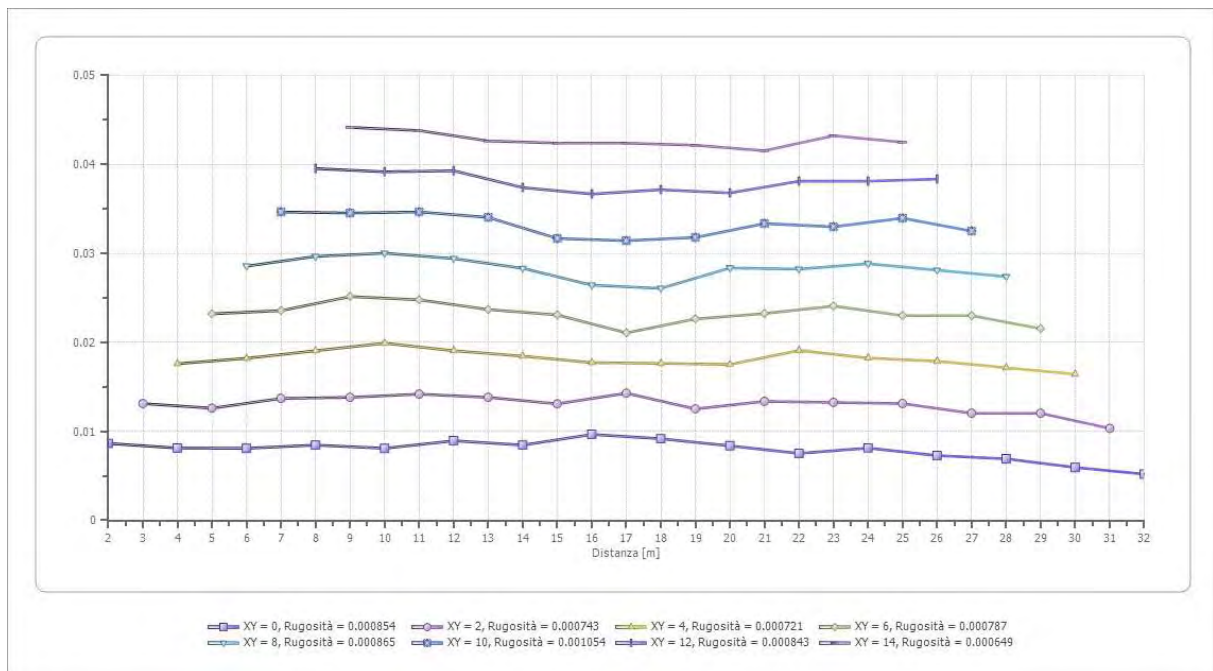
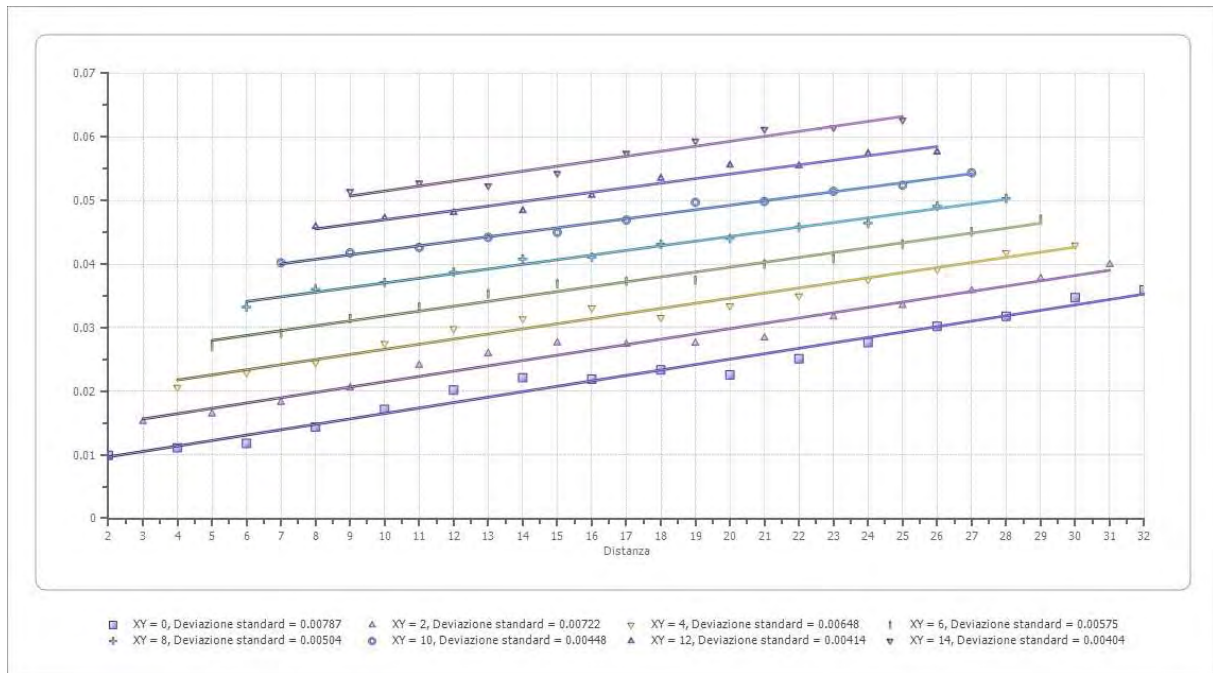
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	257.55	1171.43
Vs [m/s]	123.72	562.74
G0 [MPa]	26.02	570.01
Ed [Mpa]	112.77	2470.05
M0 [MPa]	86.74	1900.04
Ey [Mpa]	70.26	1539.03


G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



	PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)	
--	--	--

5. RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA MASW

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

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

con:

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

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

N = Numero di strati

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

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

5.1. INDAGINE SISMICA MASW1

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 5 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

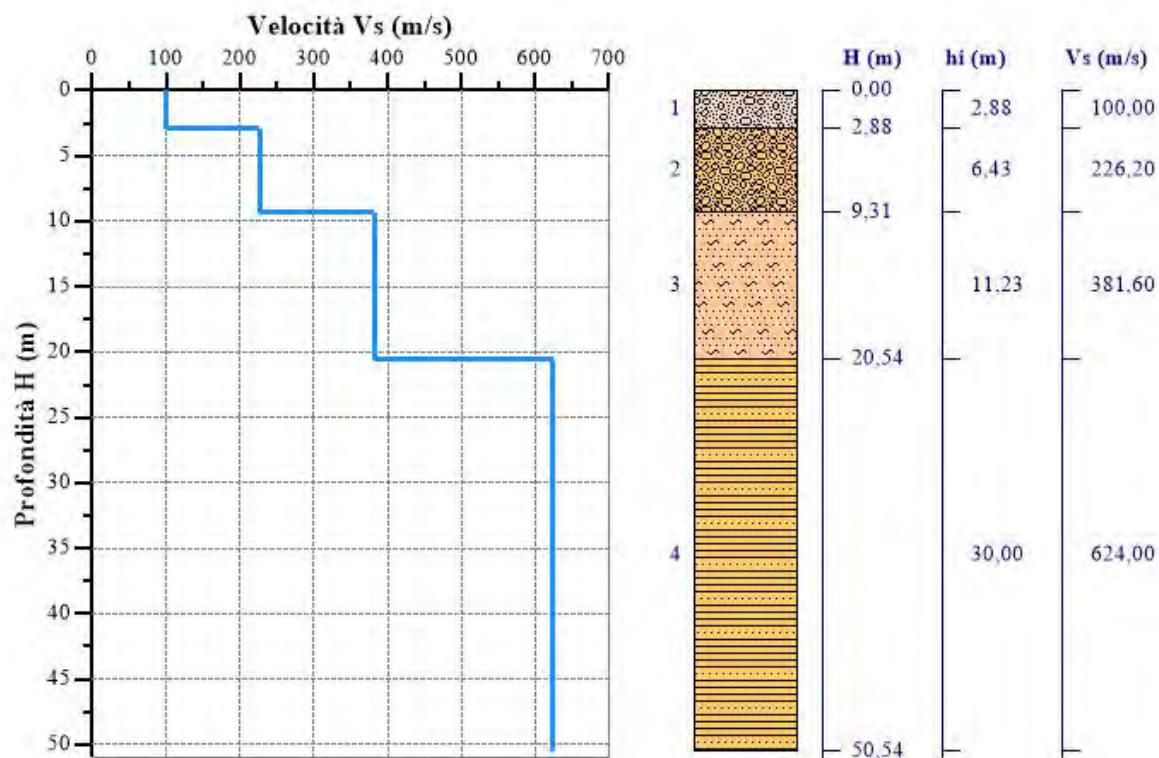
Strato n°1: $V_s = 100.0$ m/s; spessore medio 2.88 metri.

Strato n°2: $V_s = 226.2$ m/s; spessore medio oltre 6.43 metri.

Strato n°3: $V_s = 381.6\text{m/s}$; spessore medio 11.23 metri.

Strato n°4: $V_s = 624.0\text{m/s}$; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, **$V_{S,eq} = 294.53\text{m/s}$** , unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle V_s , il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo C** e **Categoria topografica T1**.

5.2. INDAGINE SISMICA MASW2

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 6 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

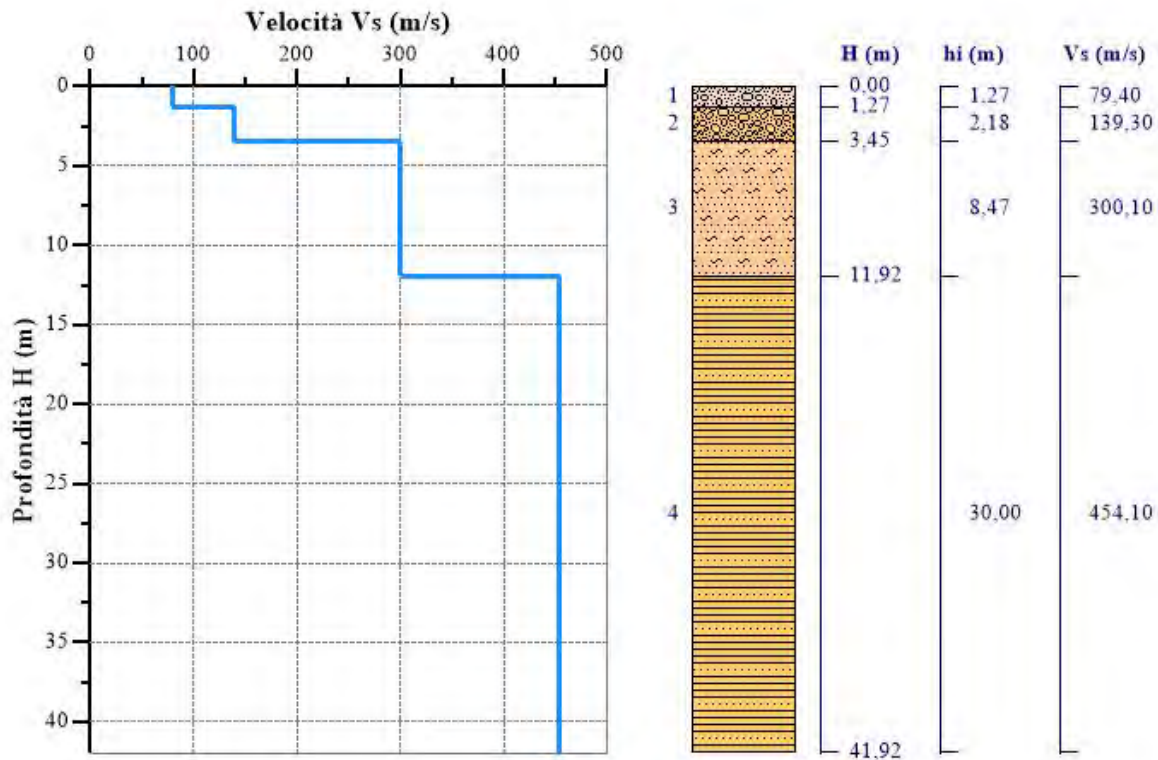
Strato n°1: $V_s = 79.4\text{m/s}$; spessore medio 1.27metri.

Strato n°2: $V_s = 139.3\text{m/s}$; spessore medio oltre 2.18metri.

Strato n°3: $V_s = 300.1\text{m/s}$; spessore medio 8.47metri.

Strato n°4: $V_s = 454.1\text{m/s}$; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, **$V_{s,eq} = 301.04\text{m/s}$** , unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle V_s , il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo C** e **Categoria topografica T1**.

5.3. INDAGINE SISMICA MASW3

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 3 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

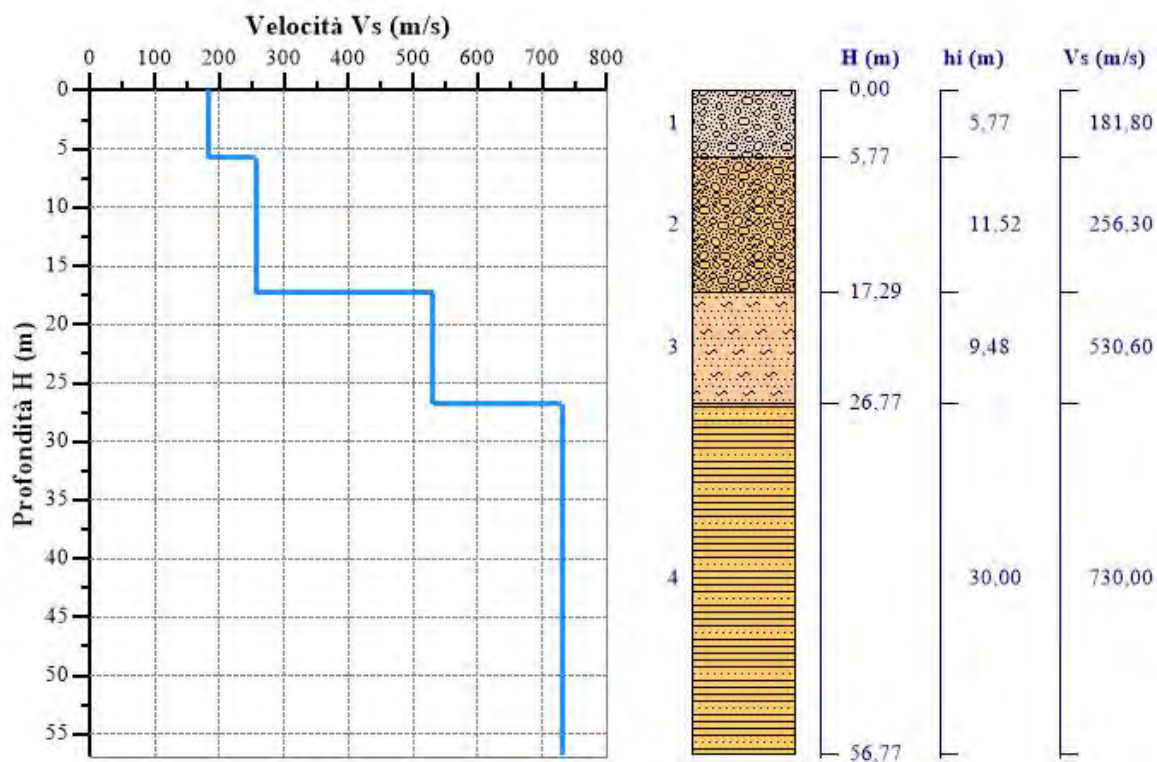
Strato n°1: $V_s = 181.8\text{m/s}$; spessore medio 5.77metri.

Strato n°2: $V_s = 256.3\text{m/s}$; spessore medio oltre 11.52metri.

Strato n°3: $V_s = 530.6\text{m/s}$; spessore medio 9.48metri.

Strato n°4: $V_s = 730.0\text{m/s}$; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, **$V_{s,eq} = 303,10\text{m/s}$** , unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo C** e **Categoria topografica T1**.

5.4. INDAGINE SISMICA MASW4

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 1 Hz e 50 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

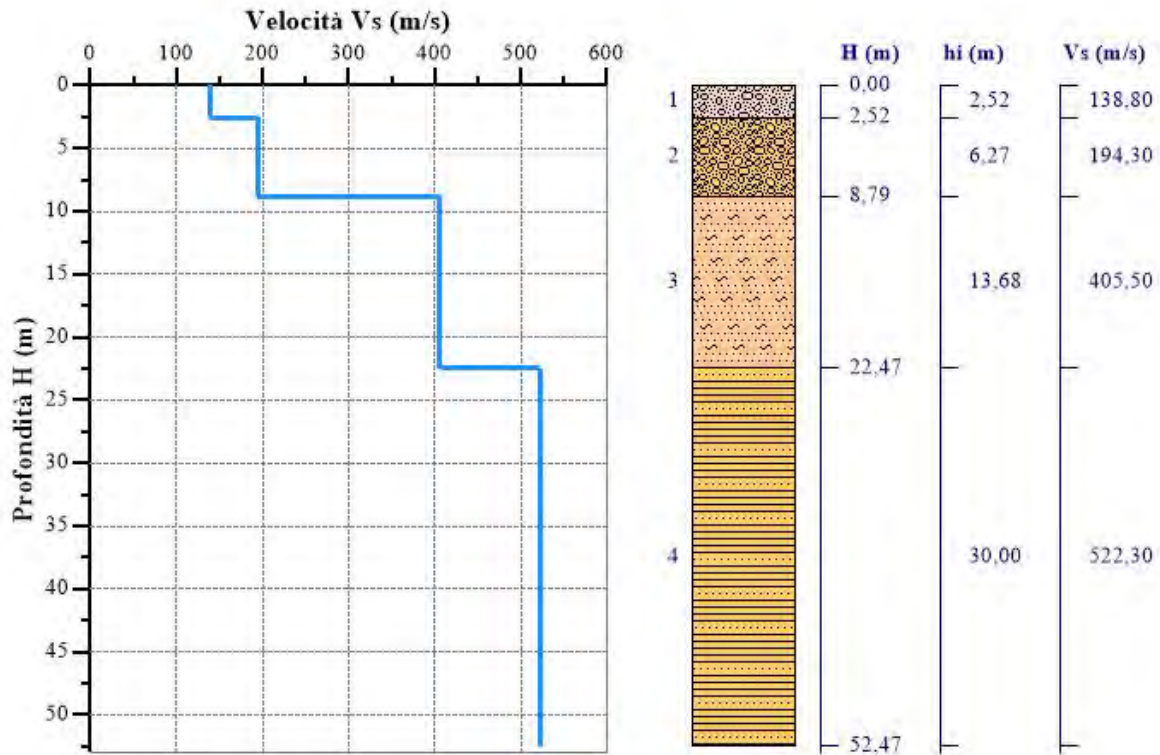
Strato n°1: Vs = 138.8m/s; spessore medio 2.52metri.

Strato n°2: Vs = 194.3m/s; spessore medio oltre 6.27metri.


Strato n°3: Vs = 405.5m/s; spessore medio 13.68metri.

Strato n°4: Vs = 522.3m/s; spessore oo.

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, **$V_{S,eq} = 304.36\text{m/s}$** , unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo C** e **Categoria topografica T1**.

	PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)	
--	--	--

6. CONCLUSIONI

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

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

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

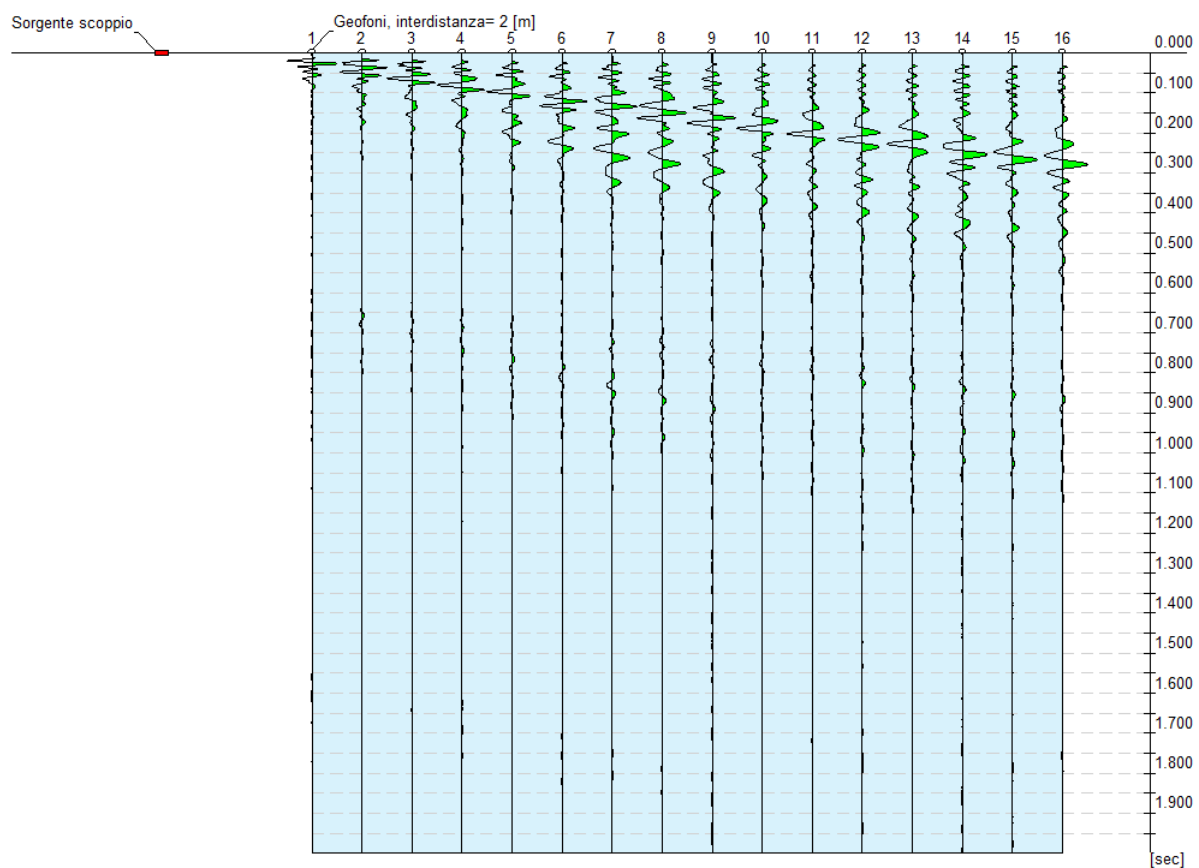
Sulla base dei valori ricavati, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle $V_{S,eq}$, il sottosuolo in esame risulta classificabile come **sottosuolo di tipo C** ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti,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

Palermo, Settembre 2021

Il Tecnico Redattore
Geol. Michele Ognibene

INTERPRETAZIONI DEI DATI
ANALISI INDAGINE SISMICA MASW 1

N. tracce | 16
Durata acquisizione [msec] | 2000.0
Interdistanza geofoni [m] | 2.0
Periodo di campionamento [msec] | 1.00



Configurazione Indagine MASW

Frequenza minima elaborazione [Hz] | di 5
Frequenza massima elaborazione [Hz] | di 45
Velocità minima elaborazione [m/sec] | di 1
Velocità massima elaborazione [m/sec] | di 1200
Intervallo velocità [m/sec] | 1

Numero geofoni 16: Spaziatura geofoni 2,0 m; Lunghezza stendimento geofonico 32,0 m; Distanza punto di shot dai geofoni 2 metri; Lunghezza complessiva 34 m.

Per il campionamento delle onde di rayleigh sono stati eseguiti n.2 shots, entrambi agli estremi dell'array geofonico a distanza di 2 metri dai geofoni estremi. Per l'elaborazione si è ritenuto scegliere lo shot più vicino al geofono n. 16 in virtù di una migliore qualità del segnale campionato.

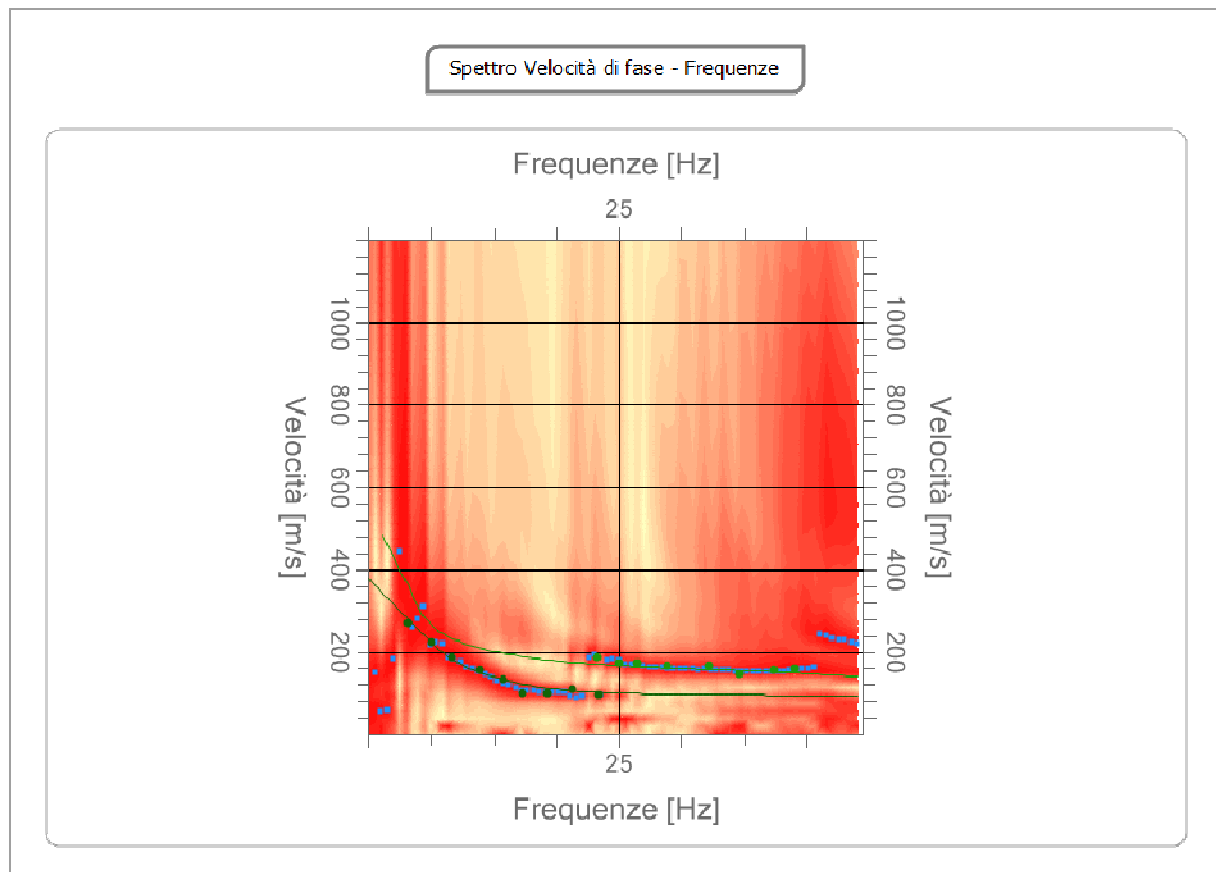
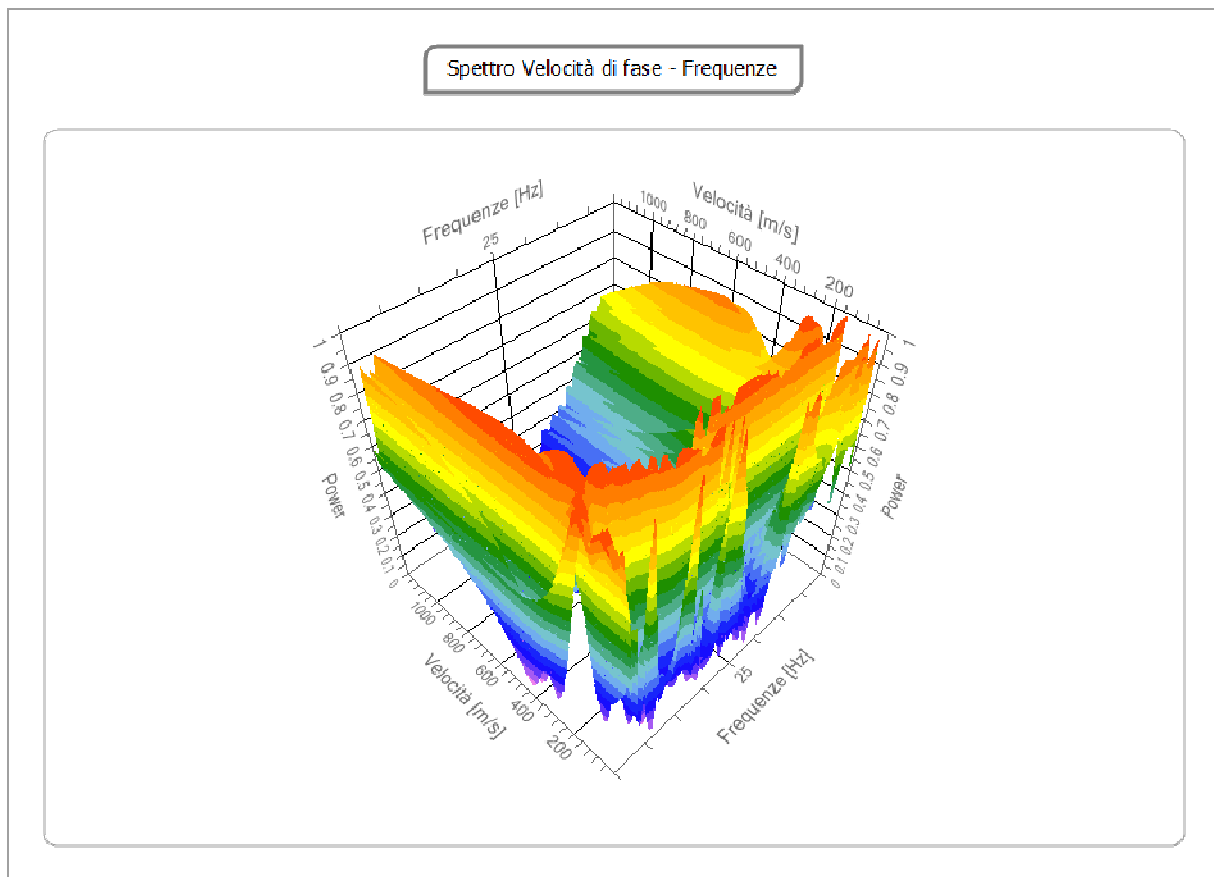


Diagramma di “dispersione Freq. (Hz) / Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale



Spettro velocità di fase - Frequenze in 3D

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.2	271.4	0
2	10.0	225.1	0
3	11.7	186.0	0
4	13.9	157.5	0
5	15.8	132.6	0
6	17.4	98.9	0
7	19.3	100.7	0

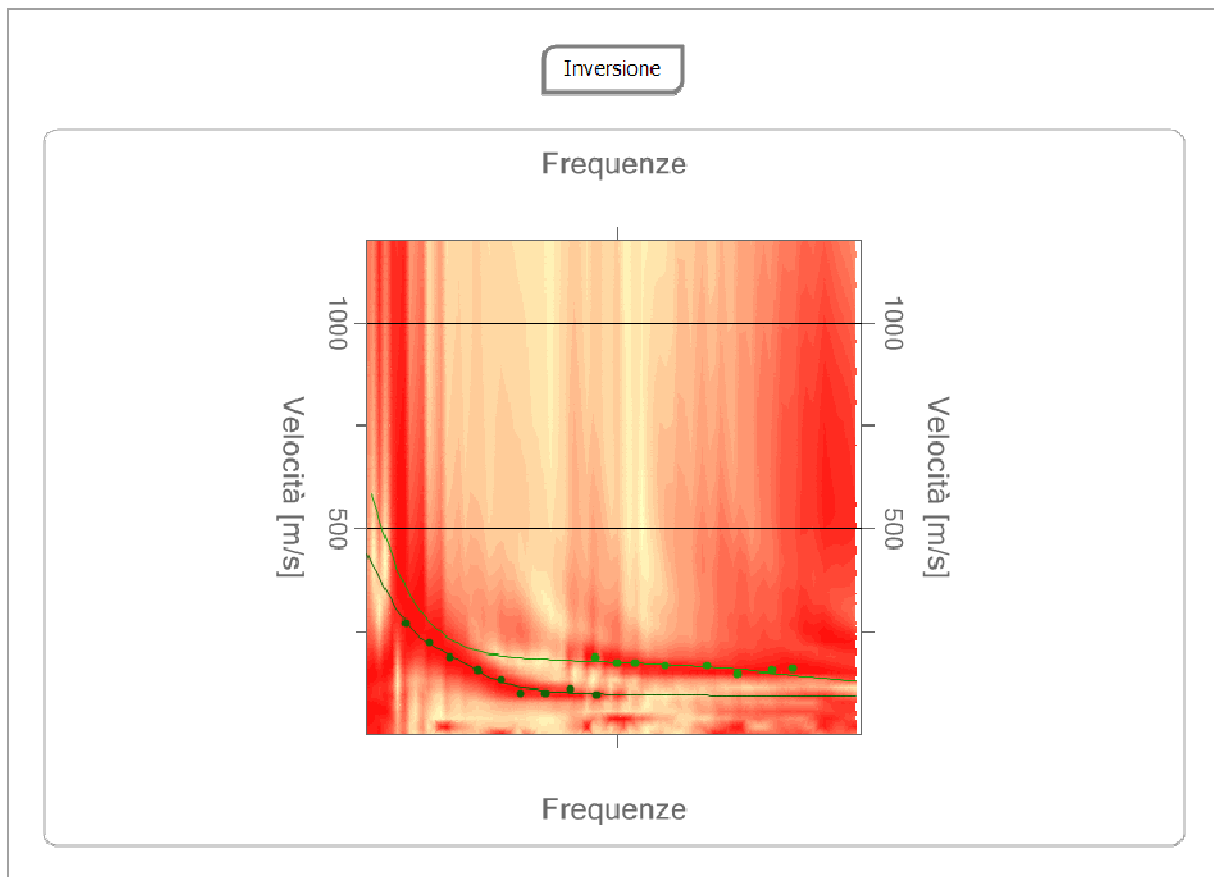
8	21.3	109.7	0
9	23.3	186.0	1
10	23.4	97.1	0
11	25.1	171.8	1
12	26.5	171.8	1
13	28.9	168.2	1
14	32.2	168.2	1
15	34.7	146.9	1
16	37.4	157.5	1
17	39.0	161.1	1

Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.88	2.88	1700.0	0.35	No	208.1	100.0
2		9.32	6.43	1800.0	0.35	No	470.9	226.2
3		20.55	11.23	1800.0	0.34	No	775.0	381.6
4		oo	oo	1800.0	0.30	No	1167.4	624.0

Percentuale di errore 0.223%

Fattore di disadattamento della soluzione 0.059



Curva caratteristica modello Inversione

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.88	2.88	99.96	208.09	1700.00	0.35	16.99	73.61	50.96	45.87	6	23.31
2	9.32	6.43	226.22	470.92	1800.00	0.35	92.12	399.17	276.35	248.71	N/A	1412.34
3	20.55	11.23	381.59	775.01	1800.00	0.34	262.10	1081.14	731.68	702.42	N/A	N/A
4	∞	∞	624.00	1167.39	1800.00	0.30	700.87	2453.05	1518.55	1822.26	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

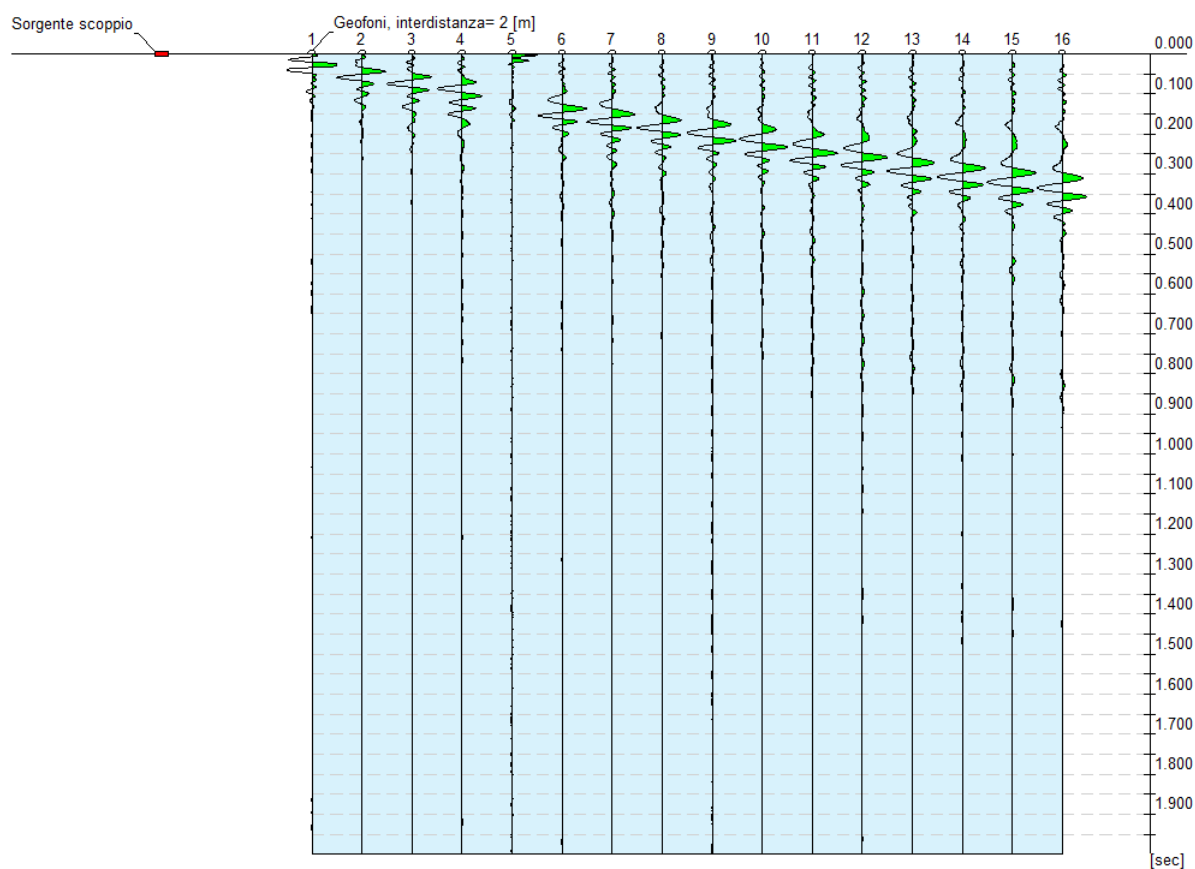
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ed: Modulo edometrico;

Ey: Modulo di Young;

ANALISI INDAGINE SISMICA MASW 2

N. tracce | 16
Durata acquisizione [msec] | 2000.0
Interdistanza geofoni [m] | 2.0
Periodo di campionamento [msec] | 1.00



Configurazione Indagine MASW

Frequenza minima elaborazione [Hz] | di 6
Frequenza massima elaborazione [Hz] | di 60
Velocità minima elaborazione [m/sec] | di 1
Velocità massima elaborazione [m/sec] | di 900
Intervallo velocità [m/sec] | 1

Numero geofoni 16: Spaziatura geofoni 2,0 m; Lunghezza stendimento geofonico 32,0 m; Distanza punto di shot dai geofoni 2 m; Lunghezza complessiva 34 m.

Per il campionamento delle onde di rayleigh sono stati eseguiti n.2 shots, entrambi agli estremi dell'array geofonico a distanza di 2 metri dai geofoni estremi. Per l'elaborazione si è ritenuto scegliere lo shot più vicino al geofono n. 16 in virtù di una migliore qualità del segnale campionato.

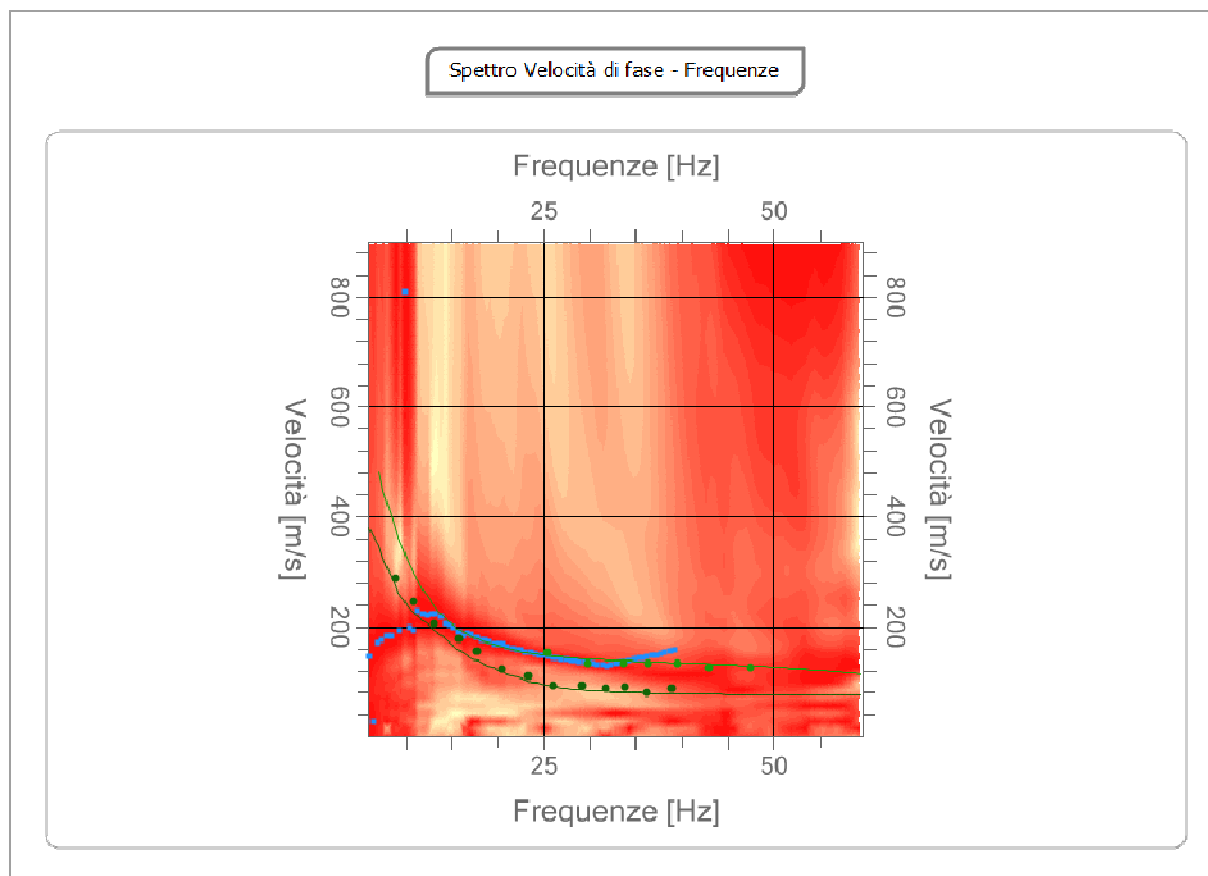
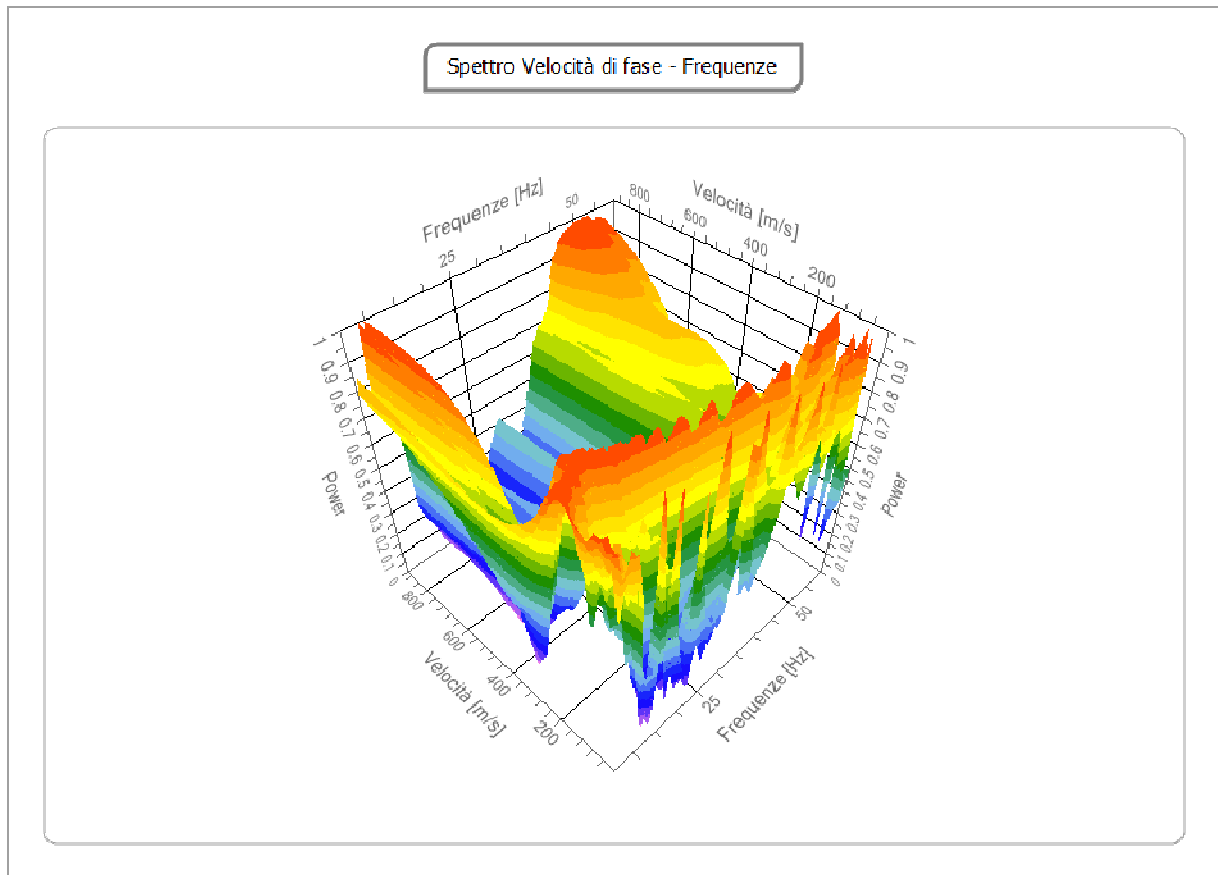


Diagramma di "dispersione Freq. (Hz) / Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale



Spettro velocità di fase - Frequenze in 3D

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.9	289.1	0
2	10.9	246.4	0
3	13.2	206.4	0
4	15.9	177.1	0
5	17.8	155.7	0
6	20.5	123.7	0
7	23.4	110.4	0

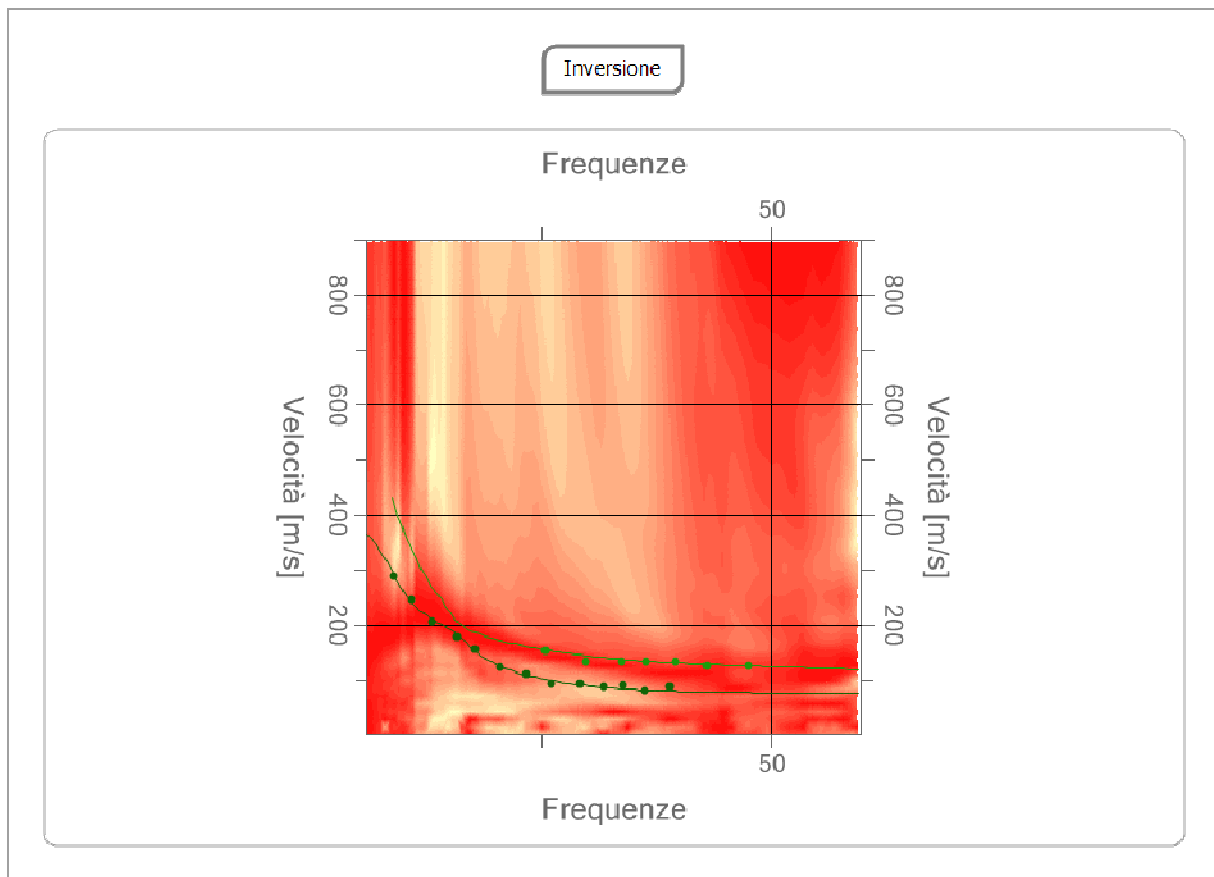
8	25.4	153.1	1
9	26.1	91.7	0
10	29.1	91.7	0
11	29.7	131.7	1
12	31.7	86.4	0
13	33.7	131.7	1
14	33.9	89.0	0
15	36.3	81.0	0
16	36.4	131.7	1
17	39.0	86.4	0
18	39.5	131.7	1
19	43.0	126.4	1
20	47.4	126.4	1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.27	1.27	1700.0	0.35	No	165.2	79.4
2	3.45	2.18	1800.0	0.35	No	290.0	139.3
3	11.92	8.47	1800.0	0.35	No	624.7	300.1
4	oo	oo	1900.0	0.35	No	945.2	454.1

Percentuale di errore 0.096 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.039



Curva caratteristica modello Inversione

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.27	1.27	79.36	165.21	1700.00	0.35	10.71	46.40	32.12	28.91	4	7.31
2	3.45	2.18	139.32	290.02	1800.00	0.35	34.94	151.40	104.82	94.34	23	123.62
3	11.92	8.47	300.11	624.72	1800.00	0.35	162.12	702.50	486.35	437.71	N/A	N/A
4	∞	∞	454.07	945.21	1900.00	0.35	391.73	1697.51	1175.20	1057.68	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

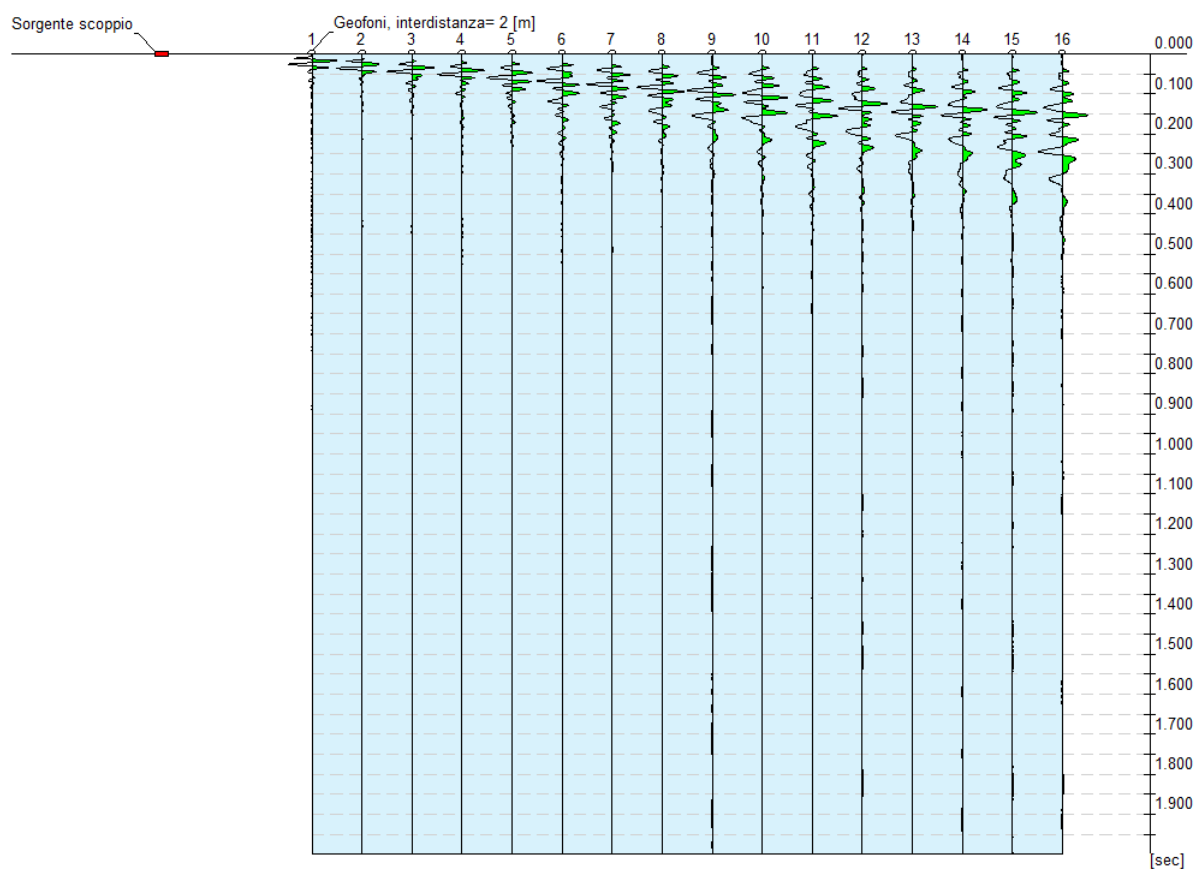
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ed: Modulo edometrico;

Ey: Modulo di Young;

ANALISI INDAGINE SISMICA MASW 3

N. tracce | 16
Durata acquisizione [msec] | 2000.0
Interdistanza geofoni [m] | 2.0
Periodo di campionamento [msec] | 1.00



Configurazione Indagine MASW

Frequenza minima elaborazione [Hz] | di 3
Frequenza massima elaborazione [Hz] | di 60
Velocità minima elaborazione [m/sec] | di 1
Velocità massima elaborazione [m/sec] | di 1200
Intervallo velocità [m/sec] | 1

Numero geofoni 16: Spaziatura geofoni 2,0 m; Lunghezza stendimento geofonico 32,0 m; Distanza punto di shot dai geofoni 2 m; Lunghezza complessiva 34 m.

Per il campionamento delle onde di rayleigh sono stati eseguiti n.2 shots, entrambi agli estremi dell'array geofonico a distanza di 2 metri dai geofoni estremi. Per l'elaborazione si è ritenuto scegliere lo shot più vicino al primo geofono in virtù di una migliore qualità del segnale campionato.

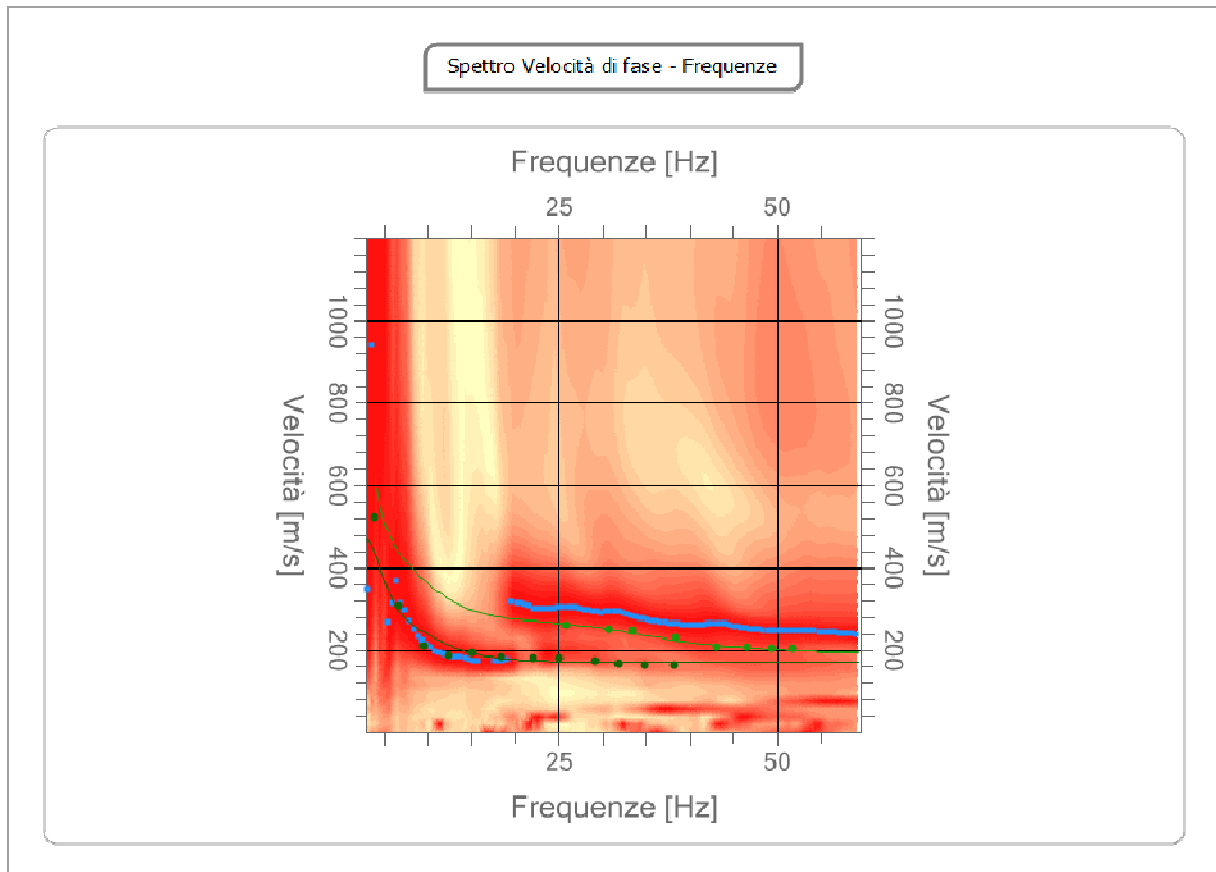
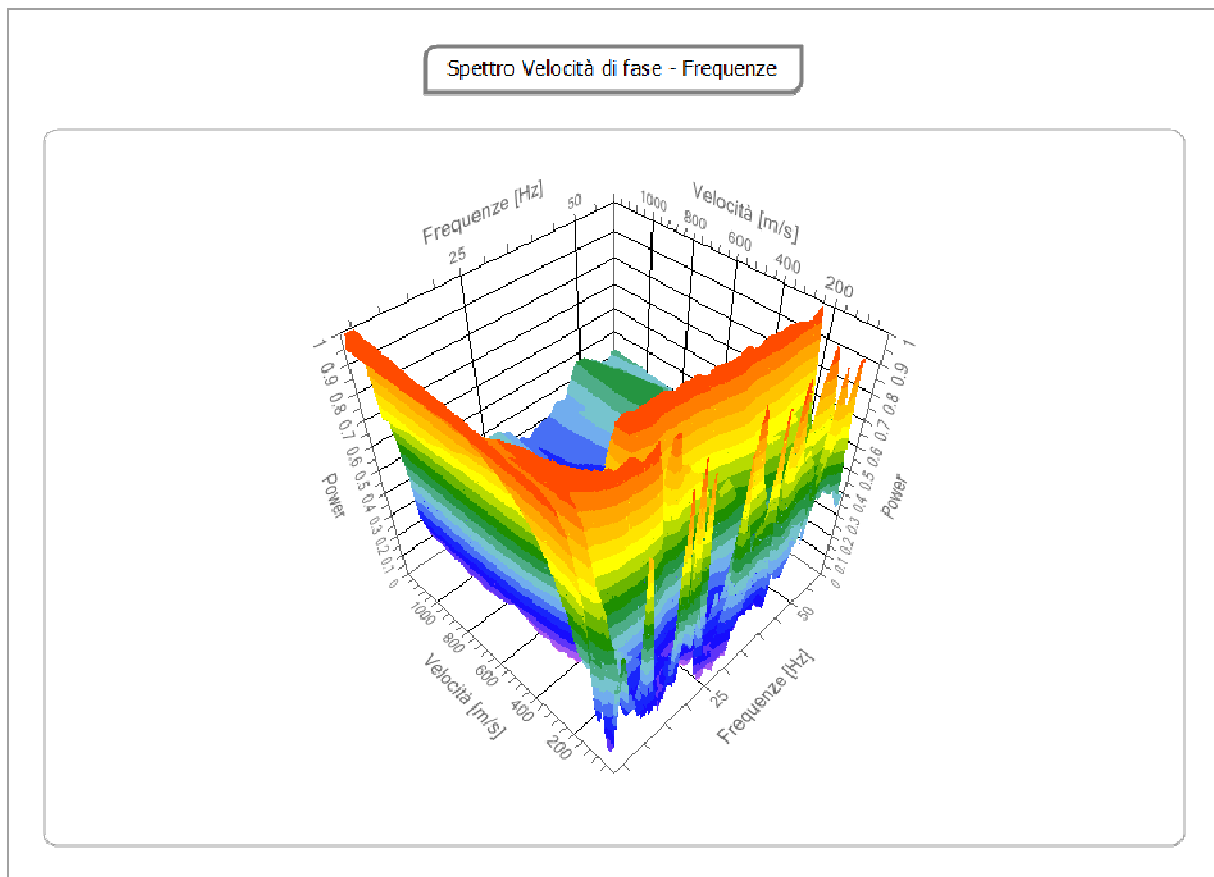



Diagramma di “dispersione Freq. (Hz) / Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale



Spettro velocità di fase - Frequenze in 3D

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.9	523.4	0
2	6.7	307.3	0
3	9.6	210.2	0
4	12.4	185.9	0
5	15.2	193.3	0
6	18.5	182.5	0
7	22.0	178.9	0
8	25.0	178.9	0
9	25.9	260.7	1
10	29.2	171.8	0

	PROGETTO IMPIANTO AGRO-FOTOVOLATICO CONTRADA ZAFFARANA (TP)	
--	--	--

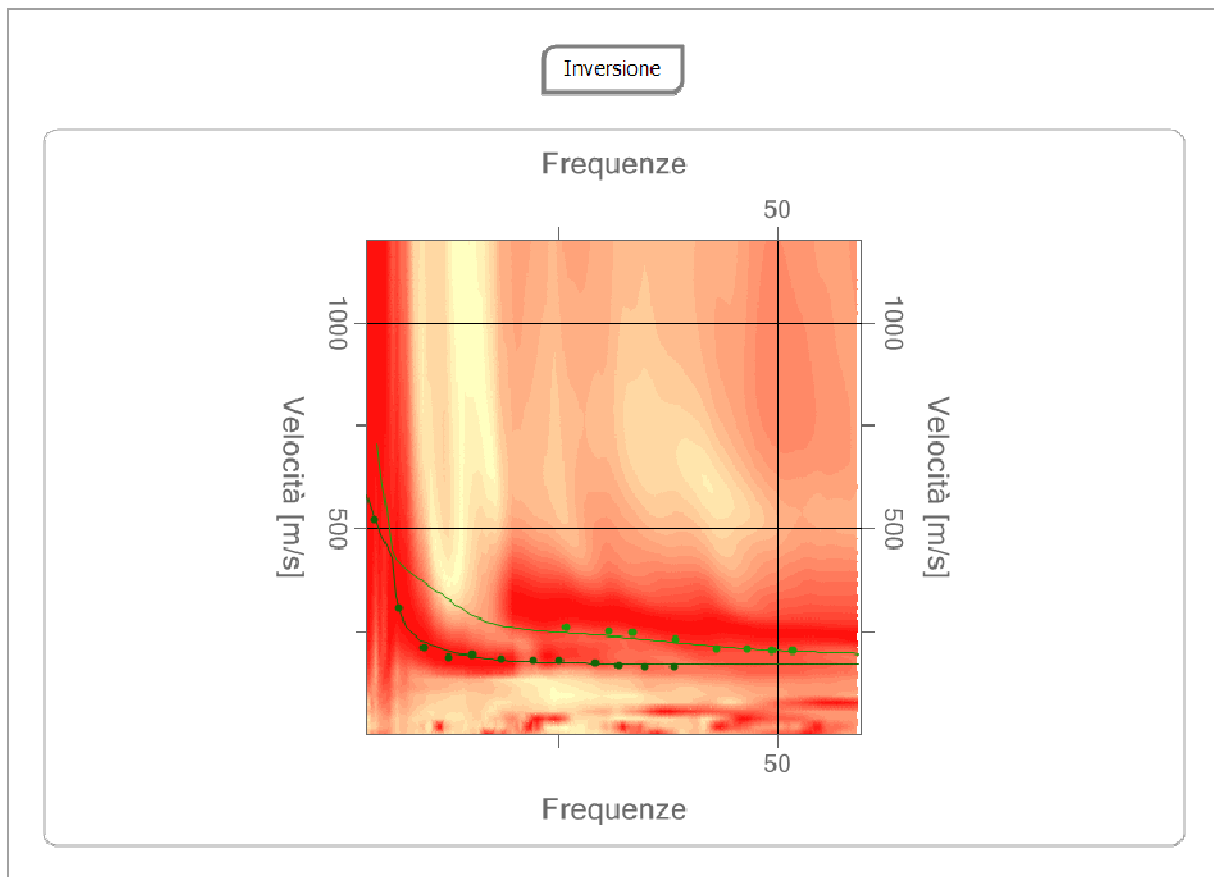
11	30.7	250.1	1
12	31.9	168.2	0
13	33.4	246.5	1
14	34.9	164.7	0
15	38.1	164.7	0
16	38.3	228.7	1
17	43.2	207.4	1
18	46.5	207.4	1
19	49.4	203.8	1
20	51.7	203.8	1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.77	5.77	1700.0	0.35	No	378.5	181.8
2	17.29	11.52	1800.0	0.35	No	533.5	256.3
3	26.77	9.48	1900.0	0.30	No	992.8	530.6
4	oo	oo	2000.0	0.30	No	1365.7	730.0

Percentuale di errore 0.116 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.038



Curva caratteristica modello Inversione

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	5.77	5.77	181.83	378.51	1700.00	0.35	56.21	243.56	168.62	151.76	87	471.23
2	17.29	11.52	256.29	533.52	1800.00	0.35	118.23	512.35	354.70	319.23	N/A	2644.39
3	26.77	9.48	530.65	992.76	1900.00	0.30	535.02	1872.57	1159.21	1391.05	N/A	N/A
4	∞	∞	730.00	1365.70	2000.00	0.30	1065.80	3730.29	2309.23	2771.08	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

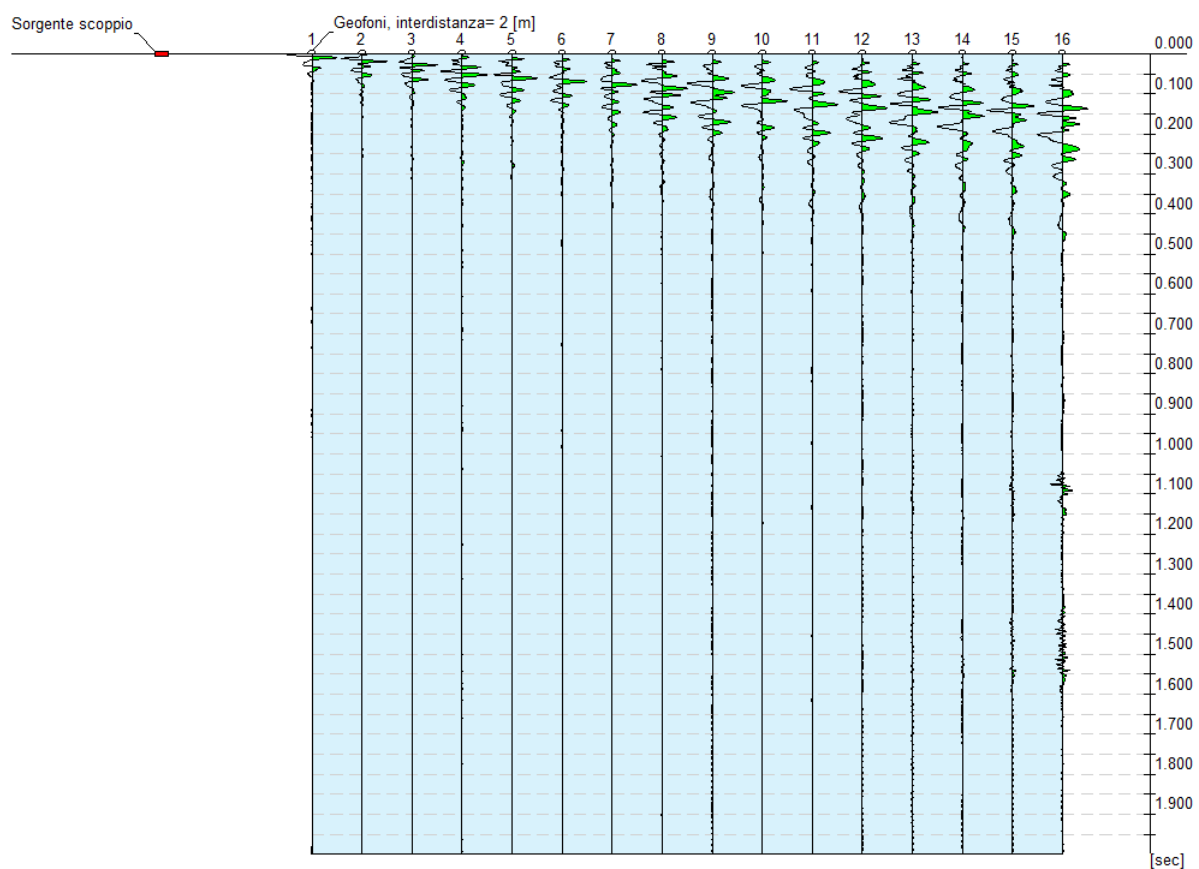
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ed: Modulo edometrico;

Ey: Modulo di Young;

ANALISI INDAGINE SISMICA MASW 4

N. tracce | 16
Durata acquisizione [msec] | 2000.0
Interdistanza geofoni [m] | 2.0
Periodo di campionamento [msec] | 1.00



Configurazione Indagine MASW

Frequenza minima elaborazione [Hz] | di 1
Frequenza massima elaborazione [Hz] | di 50
Velocità minima elaborazione [m/sec] | di 1
Velocità massima elaborazione [m/sec] | di 1200
Intervallo velocità [m/sec] | 1

Numero geofoni 16: Spaziatura geofoni 2,0 m; Lunghezza stendimento geofonico 32,0 m; Distanza punto di shot dai geofoni 2 m; Lunghezza complessiva 34 m.

Per il campionamento delle onde di rayleigh sono stati eseguiti n.2 shots, entrambi agli estremi dell'array geofonico a distanza di 2 metri dai geofoni estremi. Per l'elaborazione si è ritenuto scegliere lo shot più vicino al geofono n. 1 in virtù di una migliore qualità del segnale campionato.

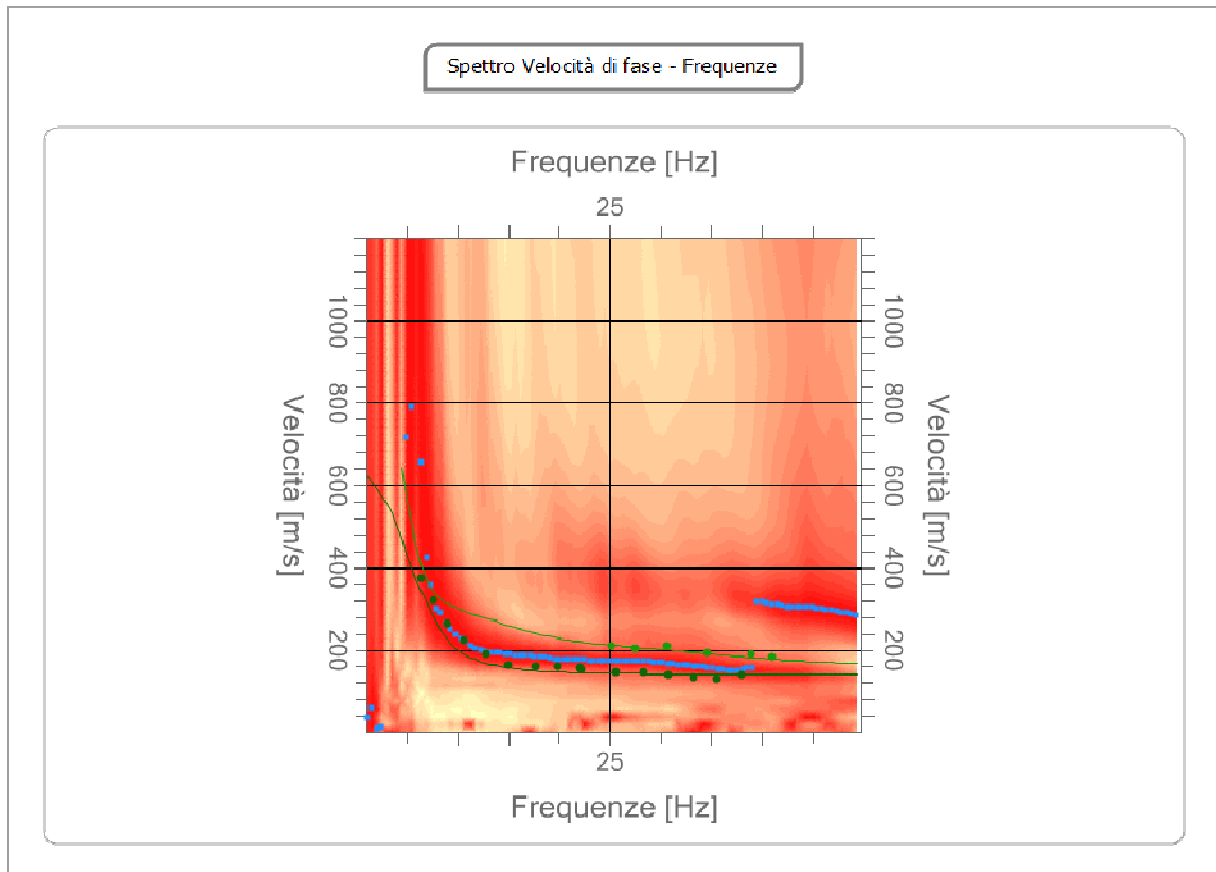
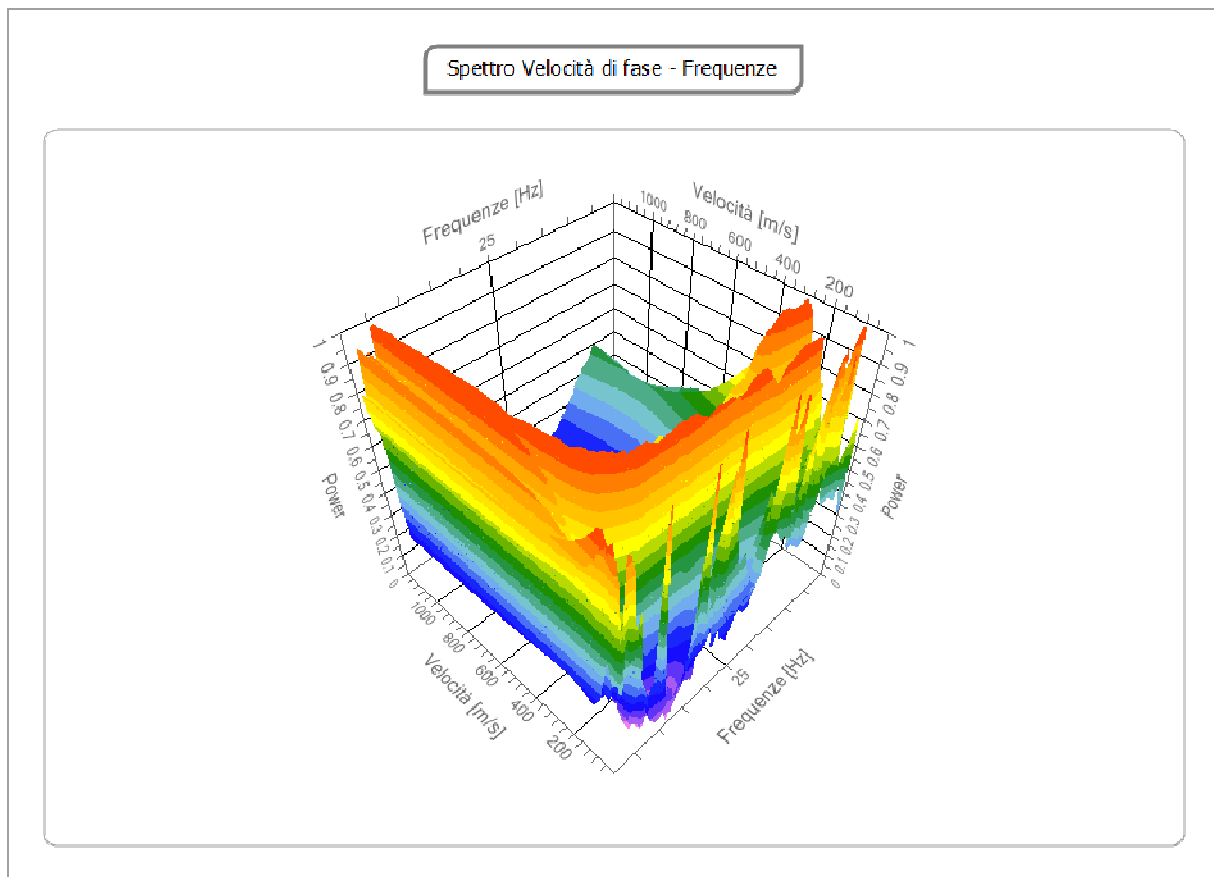


Diagramma di “dispersione Freq. (Hz) / Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale



Spettro velocità di fase - Frequenze in 3D

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6.4	374.6	0
2	7.7	321.2	0
3	9.0	264.3	0
4	10.6	225.1	0
5	12.7	189.6	0
6	14.9	164.7	0

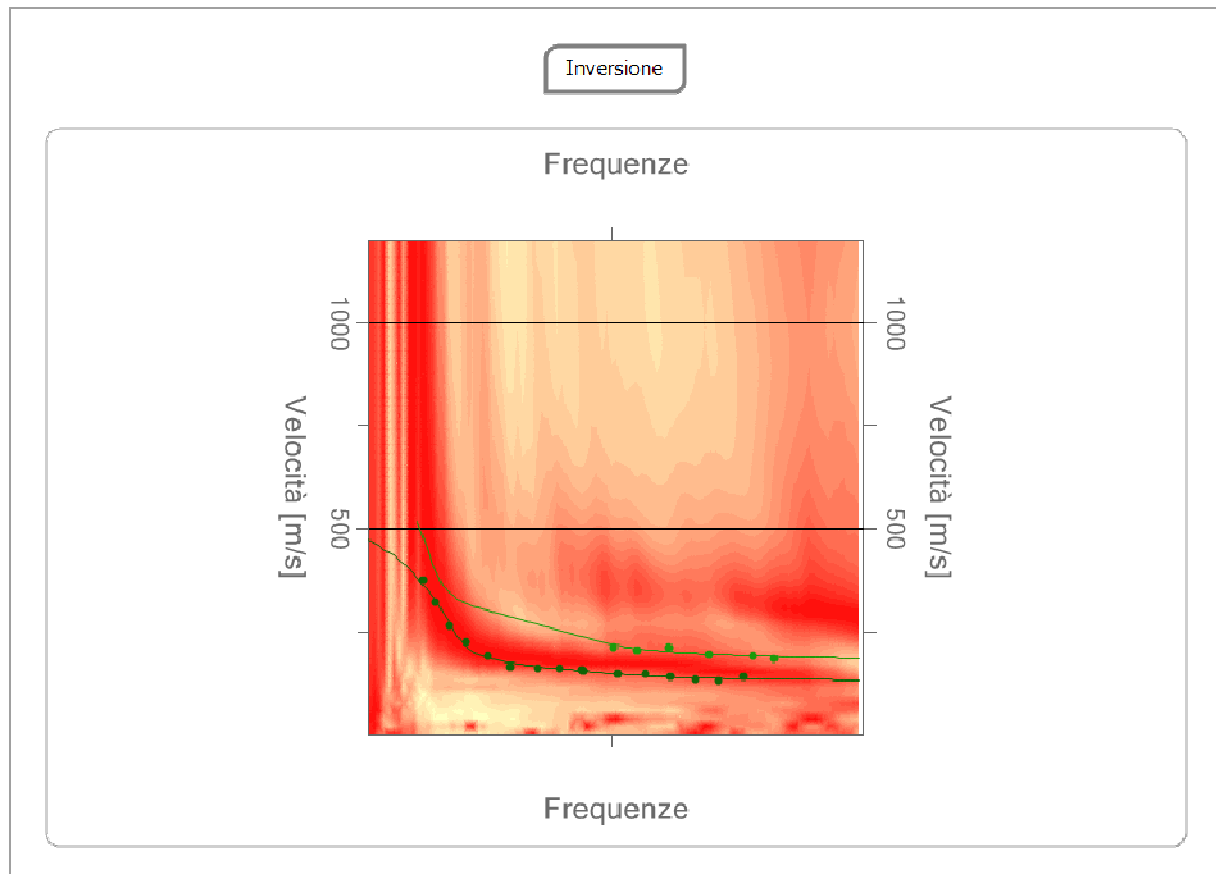
7	17.7	161.1	0
8	19.8	161.1	0
9	22.0	157.5	0
10	22.2	154.0	0
11	25.2	210.9	1
12	25.6	146.9	0
13	27.5	203.8	1
14	28.4	145.8	0
15	30.7	210.9	1
16	30.8	139.7	0
17	33.2	132.1	0
18	34.6	193.1	1
19	35.6	129.7	0
20	38.1	138.9	0
21	39.0	189.6	1
22	41.0	182.5	1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	2.52	2.52	1700.0	0.35	No	289.0	138.8
2	8.79	6.27	1800.0	0.35	No	404.5	194.3
3	22.46	13.68	1900.0	0.35	No	844.1	405.5
4	oo	oo	2000.0	0.30	No	977.1	522.3

Percentuale di errore 0.081 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.029



Curva caratteristica modello Inversione

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.52	2.52	138.82	288.99	1700.00	0.35	32.76	141.97	98.29	88.46	46	121.42
2	8.79	6.27	194.29	404.45	1800.00	0.35	67.95	294.45	203.85	183.47	60	657.53
3	22.46	13.68	405.48	844.07	1900.00	0.35	312.38	1353.66	937.15	843.43	N/A	N/A
4	∞	∞	522.30	977.14	2000.00	0.30	545.60	1909.60	1182.13	1418.56	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ed: Modulo edometrico;

Ey: Modulo di Young;

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz1 e Mw1.



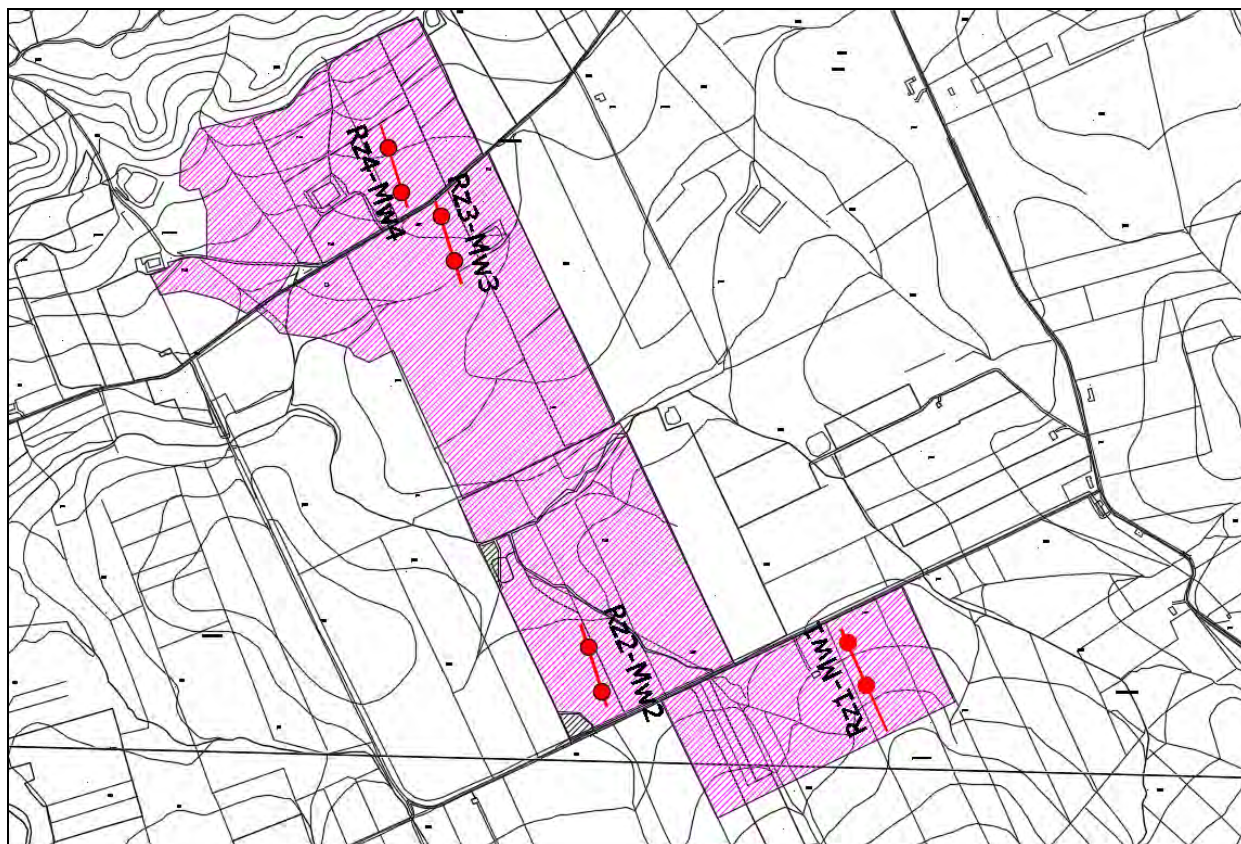
Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz2 e Mw2.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz3 e Mw3.



Foto Stendimento di sismica a rifrazione Rz4 e Mw4.



PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE ESEGUITE.