

BLUE STONE
renewable IV

P.I. 15304981002
Via Vincenzo Bellini,
22 00198 Roma



**IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E
PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E
POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO
NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED
OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)**



Tecnico
geol. Raffaele Sassone

Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Collaborazioni

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Responsabile Commessa
ing. Danilo POMPONIO

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA		
C07		RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA	22138	D		
REVISIONE			CODICE ELABORATO			
00			DC22138D-c07			
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA		
00			-	-		
REV			DATA	MODIFICA		
00			24/10/22	Emissione		
01			Elaborato	Controllato	Approvato	
02			Sassone	Sassone	Sassone	
03						
04						
05						
06						

INDICE

1. Premessa	pag. 1
2. Normativa di riferimento	pag. 1
3. Bibliografia	pag. 1
4. Identificazione delle formazioni presenti nel sito	pag. 2
5. Storia geologica del territorio	pag. 2
5.1 Caratteristiche geologiche generali	pag. 2
5.2 Caratteristiche tettoniche e morfologiche generali	pag. 3
5.3 Caratteristiche idrogeologiche	pag. 3
6. Caratterizzazione morfologica di dettaglio del sito	pag. 3
6.1 Caratterizzazione morfologica impianto fotovoltaico	pag. 3
6.2 Caratterizzazione morfologica impianto cavidotto	pag. 4
7. Caratterizzazione stratigrafica e strutturale di dettaglio del sito	pag. 4
7.1 Caratterizzazione stratigrafica e strutturale dell'impianto fotovoltaico	pag. 4
7.2 Caratterizzazione stratigrafica e strutturale del cavidotto	pag. 4
8. Caratterizzazione idrogeologica di dettaglio del sito	pag. 5
8.1 Idrografia di dettaglio sia dell'impianto fotovoltaico che del cavidotto	pag. 5
8.2 Idrogeologia di dettaglio sia dell'impianto fotovoltaico che del cavidotto	pag. 5
9. Campagna geognostica	pag. 6
10. Risultati indagini geofisiche	pag. 6
10.1 Acquisizioni HVSR	pag. 6
10.1.1 Acquisizione sismica HVSR 1	pag. 6
10.1.2 Acquisizione sismica HVSR 2	pag. 7
10.1.3 Acquisizione sismica HVSR 3	pag. 7
10.2 Acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW	pag. 7
10.2.1 Indagine sismica a rifrazione	pag. 7
10.2.1.1 Indagine sismica a rifrazione AA'	pag. 8
10.2.1.2 Indagine sismica a rifrazione BB'	pag. 8
10.2.1.3 Indagine sismica a rifrazione CC'	pag. 8
10.2.2 Indagine sismica M.A.S.W.	pag. 9
10.2.3 Caratterizzazione elastico-meccanica dei terreni di fondazione	pag. 9
11. Categorie di sottosuolo	pag. 11
12. Categoria topografica	pag. 11
13. Modello geologico del sottosuolo	pag. 11
13.1 Modello geologico di dettaglio per il cavidotto	pag. 11
13.2 Modello geologico di dettaglio per l'impianto fotovoltaico	pag. 12
14. Caratterizzazione fisica e meccanica del sottosuolo	pag. 13
15. Modellazione geotecnica	pag. 13
16. Verifica di compatibilità geologica e geotecnica del P.A.I. Puglia	pag. 14

17. Ulteriori vincoli	pag. 14
17.1 Vincoli del DGR del 04/08/09 del PTA “Piano di Tutela delle Acque”	pag. 14
17.2 Vincoli imposti dal P.P.T.R. della Regione Puglia	pag. 14
17.2.1 Beni Paesaggistici	pag. 15
17.2.2 Ulteriori Contesti	pag. 15
18. Pericolosità geologica	pag. 16
19. Stabilità nei confronti della liquefazione	pag. 17
20. Prescrizioni	pag. 18

Allegati:

1. Report indagine geofisica HVSR
2. Report della prospezione geofisica

1. Premessa

Su incarico dello Studio Tecnico BFP, in qualità di progettista dell'impianto agrivoltaico della potenza di 14,13 MWp e potenza in AC di 10,80 MW, denominato "CSPV San Donaci" da realizzare in agro di San Donaci (BR) per conto della società BLU STONE RENEWABLE IV, è stata redatta la seguente relazione geologica, per la progettazione in fase definitiva, che ha lo scopo di caratterizzare, dal punto di vista geologico e geotecnico, i terreni di fondazione. L'impianto agrivoltaico sarà realizzato in zona Masseria Mariana nel comune di San Donaci (BR) mentre le opere connesse ricadranno nel comune di Cellino San Marco (BR)(Fig.1, Figg.2a, 2b e 2c e Tab.1).

Tabella 1 - Ubicazione dell'opera	
Riferimento IGM	Foglio 203 - Tav. II NE "San Donaci"
Quota media s.l.m.	42 m
Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 746243.60 m E (da Greenwich) Lat.: 4481771.97 m N

Si specifica che le aree interessate dalla nuova CP 150/20kV "Cellino", dalla futura SE 380/150 kV, della RTN e dei relativi raccordi non verranno trattate in questo elaborato in quanto faranno parte di un altro progetto differente da quello analizzato in questa relazione.

2. Normativa di riferimento

I dati esposti in questo elaborato sono stati riscontrati direttamente nell'area i cui è prevista la realizzazione delle opere in progetto. Le conoscenze acquisite sono state integrate con quanto già noto sul territorio di San Donaci (BR) e Cellino San Marco (BR) (D.M. del 11/3/88 punto H).

La presente relazione è stata redatta secondo quanto previsto par. 6.2.1 e 6.2.2 del DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni».

D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207: Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».

3. Bibliografia

- T. Largaiolli et alii - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 203, Brindisi.
- D. Rossi (1969) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 203, 204 e 207 "Brindisi – Lecce – Maruggio".
- Cartografia di base e tematica Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia:
PAI Puglia e Carta Idrogeomorfologica della Puglia:
http://webgis.distrettoappenninomeridionale.it/gis/map_default.phtml e
http://webgis.distrettoappenninomeridionale.it/geomorfologica/map_default.phtml
- SIT Puglia: Cartografia Carta Tecnica 1:5.000: <http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/CTR/index.html>.
- Cartografia del PPTR Puglia (approvato con DGR n. 176 del 16 febbraio 2015): webgis:
<http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/PPTRApprovato/index.html>.

- Cartografia del PTA Puglia (aggiornamento 2015-2021): <http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/ConsultaPubbPTA2019/>
- Tavole del Piano di tutela delle acque della Regione Puglia - Articolo 121 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Delibera di Giunta 4 agosto 2009, n. 1441)".
- Tavole dell'aggiornamento del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia - adottata dalla Giunta Regionale con Delibera n. 1333 del 16/07/2019.

4. Identificazione delle formazioni presenti nel sito

L'area in studio ricade nel Foglio 203 "Brindisi", scala 1:100000 (Fig. 3) della Carta Geologica d'Italia. La successione stratigrafica, riferita alle formazioni affioranti nell'area in studio, è la seguente:

- de: depositi eluviali principali (Olocene);
- Qc¹-Qs¹: Formazione di Gallipoli (Calabriano);
- Q¹-P³: sabbie calcaree poco cementate (Calabriano – Pliocene sup.);
- P³: Calcareniti tipo panchina (Pliocene sup.);
- C⁷⁻⁶: Dolomie di Galatina (Cenomaniano sup.).

5. Storia geologica del territorio

Le caratteristiche geologiche, strutturali e idrogeologiche del territorio di San Donaci, Cellino San Marco e delle aree immediatamente limitrofe rispecchiano il contesto stratigrafico e strutturale dell'area di transizione tra Murgia e Salento.

5.1 Caratteristiche geologiche generali

Le Murge confinanti con l'area salentina a sud-est costituiscono la parte finale della potente successione carbonatica mesozoica della Piattaforma Apula. Il substrato geologico murgiano è costituito da depositi carbonatici del Cretaceo caratterizzati da una marcata uniformità litologica. Nel sottosuolo e in affioramento, le successioni sono di norma ben stratificate formate da un'alternanza irregolare di calcari micritici, calcilutiti, calcareniti, dolomie e calcari dolomitici, variamente interessati da fratturazione e carsismo. La serie calcarea mesozoica è nota in letteratura come Gruppo dei Calcari delle Murge. Al di sopra delle rocce calcareo-dolomitiche affiorano, con una certa continuità e con spessore di alcuni metri, lembi di calcareniti giallastre fossilifere di età Miocenica e Plio-Pleistocenica, riferibili alla formazione nota in letteratura con il nome di Calcareniti del Salento. Le calcareniti Plio-Pleistoceniche si presentano come rocce a tessitura omogenea, di colore bianco-giallastro, a grana variabile da fine a grossolana, piuttosto porose, variamente cementate. Stratigraficamente al di sopra delle calcareniti pleistoceniche affiorano vari depositi sabbiosi, siltoso-argillosi, calcarenitici e calcilutitici di età mediopleistocenica, riferibili a eventi sedimentari di breve durata. Queste rocce, note in letteratura con il nome di Depositi Marini Terrazzati rientrano nel cosiddetto "Ciclo della Fossa Bradanica", e colmano, con una coltre spessa alcuni metri, la vasta depressione tettonica che dall'area attorno a Francavilla Fontana digrada progressivamente verso il Mare Adriatico. La successione stratigrafica è chiusa da sedimenti continentali olocenici di esiguo spessore. Sono essenzialmente depositi terrosi residuali (terre rosse) e

ciottolosi, derivano dal disfacimento dei calcari e delle calcareniti e si trovano soprattutto nelle depressioni, quali la parte bassa dei solchi erosivi (lame) e nelle doline.

5.2 Caratteristiche tettoniche e morfologiche generali

Nella zona in studio la morfologia è piuttosto dolce e ciò trova corrispondenza nel fatto che i piegamenti che hanno colpito le formazioni affioranti sono piuttosto blandi. In superficie non sono state rilevate faglie, quindi le dislocazioni per faglia o sono quasi del tutto assenti, oppure sono anteriori ai terreni pliocenici e pleistocenici che occupano le zone strutturalmente depresse, ed in tal caso risultano sepolte dagli stessi. Il Cretaceo è ben rappresentato con un esteso affioramento che costituisce la terminazione meridionale delle murge baresi. Tutti gli affioramenti cretacei rappresentano degli <<alti>> strutturali. Infatti, gli strati che li costituiscono si immergono sempre verso l'esterno, dando luogo ad anticlinali di solito piuttosto dolci, ad asse diretto secondo nordovest-sudest.

5.3 Caratteristiche idrogeologiche

L'idrografia superficiale è estremamente ridotta o del tutto assente, a causa del forte assorbimento esercitato dalle formazioni presenti, molto porose o fortemente fratturate. I calcari, infatti, sono interessati da numerose fratture che costituiscono una fitta rete a circolazione acquifera, intercomunicanti tra loro, perciò l'acqua di fondo le riempie totalmente, costituendo una potente falda acquifera, da tempo nota sotto il nome di falda profonda. Il livello della falda profonda, che è di zero metri in corrispondenza della costa, sale verso l'interno assai lentamente, con una cadenza piezometrica dell'ordine di 1‰, per la grande permeabilità delle formazioni interessate: quindi, verso l'entroterra i livelli piezometrici di tale falda sono al massimo solo di pochi metri sopra il livello del mare. Nelle formazioni cretache sovrastanti vi è una circolazione delle acque mediamente diffusa, in genere con ampie comunicazioni con la falda profonda. In rari casi si possono formare falde superficiali distinte, precisamente dove i livelli impermeabili impediscono la comunicazione con la falda profonda: livelli impermeabili di questo genere possono ad esempio corrispondere alle parti più argillose delle Calcareniti del Salento.

6. Caratterizzazione morfologica di dettaglio del sito

6.1 Caratterizzazione morfologica impianto agrivoltaico

L'area che in progetto prevede la realizzazione dell'impianto agrivoltaico è posta a nord ovest di San Donaci, a circa 2 km dall'abitato, ad una quota media di 42 m sul livello del mare a una distanza dalla costa di circa 7 Km. La morfologia dell'area in studio risulta sub pianeggiante con una leggera pendenza in direzione sud est (fig. 5a). Inoltre, non sono riconoscibili manifestazioni del carsismo superficiale o profondo, ed è stato possibile accertare l'assenza di forme carsiche che potrebbero interagire con l'opera che si intende costruire.

L'area di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI Puglia non ricade in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità geomorfologica, come definite di cui agli artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico della Puglia (fig. 10a).

Dai sopralluoghi effettuati e dalla conseguente verifica morfologica eseguita, è possibile asseverare che il tipo di intervento è idoneo con una morfologia sostanzialmente piatta, priva di elementi critici che contrasterebbero con il tipo di intervento.

6.2 Caratterizzazione morfologica del cavidotto

Il cavidotto interessa un'ampia area del territorio sia di San Donaci che di Cellino San Marco. Si sviluppa su strade rurali che costeggiano terreni essenzialmente piatti caratterizzati da dislivelli minimi e da un'agricoltura vitivinicola.

I terreni sabbiosi e limo sabbiosi affioranti presentano una giacitura sub orizzontale che sembra aver condizionato la morfologia circostante conferendo l'andamento pianeggiante con leggera pendenza settentrionale.

Anche il cavidotto non ricade in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità geomorfologica, come definite di cui agli artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico della Puglia (figg. 10b e 10c).

Dai sopralluoghi effettuati e dalla conseguente verifica morfologica eseguita, è possibile asseverare che il percorso previsto per il cavidotto è idoneo con una morfologia sostanzialmente piatta, priva di elementi critici che contrasterebbero con il tipo di intervento.

In conclusione, l'impianto fotovoltaico e il relativo cavidotto proposti non modificano in maniera sostanziale la situazione geomorfologica delle aree. L'intervento non va ad incrementare il livello di pericolosità idraulica per le aree adiacenti e per l'area stessa.

7. Caratterizzazione stratigrafica e strutturale di dettaglio del sito

7.1 Caratterizzazione stratigrafica e strutturale dell'impianto agrivoltaico

Su tutta l'area destinata al posizionamento delle strutture agrivoltaiche affiora roccia calcarea, stratificata, variamente fratturata e carsificata. Si tratta di rocce riferibili al Calcarea di Altamura (Cenomaniano sup., figg. 3 e 4a).

7.2 Caratterizzazione stratigrafica e strutturale del cavidotto

Diversamente, il cavidotto, lungo il suo percorso, incontra sostanzialmente due formazioni geologiche (figg. 3, 4b, 4c e 4d):

- de: depositi eluviali principali (Olocene);
- Q¹-P³: sabbie calcaree poco cementate (Calabriano – Pliocene sup.).

Le prime sono sostanzialmente depositi di terra rossa residuale affiorante in prossimità di affioramento di roccia calcarea.

Le sabbie calcaree poco cementate (Q¹-P³), invece, sono costituite da sabbie calcaree di colore azzurrognolo, talvolta giallastro per ossidazione, in genere debolmente cementate. Sono presenti scarse e poco potenti intercalazioni di panchina. Talora le sabbie calcaree sono argillose e sono presenti livelli esclusivamente argillosi.

Nelle aree immediatamente limitrofe al luogo in studio non sono state osservate discontinuità correlabili a faglie attive.

8. Caratterizzazione idrogeologica di dettaglio del sito

8.1 Idrografia di dettaglio sia dell'impianto agrivoltaico che del cavidotto

Le aree sia del cavidotto che dell'impianto agrivoltaico, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni sia del PAI, Puglia che del PGRA non ricadono nelle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità idraulica, come definita di cui agli artt. 7, 8 e 9 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Nelle aree di progetto risultano assenti forme perenni di scorrimento superficiale, soprattutto nelle immediate vicinanze del sito di intervento, sono però presenti diversi impluvi a carattere prettamente stagionale (Figg. 5a, 5b e 5c).

Ad est del campo agrivoltaico è cartografato un piccolo bacino endoreico (fig. 5a) che ha come tributario un piccolo impluvio ben visibile sulla carta idrogeomorfologica ma solo parzialmente cartografato sull'IGM scala 1:25000. Lo stesso corso d'acqua interferisce anche col primo tratto del cavidotto.

Il bacino endoreico è sottoposto anche a perimetrazione PAI con presenza di "Alta" e "media pericolosità idraulica" (fig. 10a).

Un secondo impluvio interessa il tracciato del cavidotto nei pressi dell'incrocio della strada rurale con la S.P. 79.

Il corso d'acqua è riportato sia sulla carta idrogeomorfologica che sull'IGM scala 1:25000.

Un ultimo corso d'acqua taglia il tracciato del cavidotto poco più ad est rispetto all'incrocio stradale con la S.P.79.

I due corsi d'acqua appena descritti hanno uno sviluppo praticamente parallelo con deflusso delle acque meridionale. Poco più a sud del cavidotto, i corsi d'acqua si congiungono a formare un impluvio gerarchicamente più importante, che costeggia ad est l'abitato di San Donaci e che presenta un alveo ben visibile, inciso nei terreni pleistocenici.

L'interferenza tra cavidotto, impianto fotovoltaico e impluvi comporta una verifica di tipo idrologica ed idraulica così come previsto dagli artt. 6 "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" e 10 "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale" delle NTA del PAI.

Gli eventuali sistemi di mitigazione del livello di pericolosità idraulica per le aree adiacenti e per l'area stessa prima e dopo gli interventi proposti saranno descritti nello studio di compatibilità idraulica e idrogeologica allegato al progetto.

8.2 Idrogeologia di dettaglio sia dell'impianto agrivoltaico che del cavidotto

I depositi sabbiosi e limo sabbiosi investigati sono privi di una falda idrica superficiale. Diversamente, le rocce calcaree cretacee ospitano una falda acquifera, comunemente denominata carsica, profonda, o principale; questa viene spesso intercettata da pozzi a prevalente uso irriguo. Nella zona in studio il livello piezometrico relativo alla falda carsica principale si trova a circa 1,50 metri sul livello del mare, cioè a circa 40 m al di sotto del piano campagna (Figura 6: Tavola "Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi" dell'Aggiornamento del PTA2015-2021 Puglia).

9. Campagna geognostica

Nell'ambito dello studio geologico per il progetto definitivo di un impianto agrivoltaico della potenza di 14,13 MWp e potenza in AC di 10,80 MW, denominato "CSPV San Donaci" da realizzare in agro di San Donaci (BR) e delle opere connesse da realizzare nel comune di Cellino San Marco (BR), sono state eseguite delle prove geofisiche specifiche (figg. 7a, 7b, 7c, 7d e allegato 1 e allegato 2):

- n.3 Prova HVSR (figg. 7b, 7c, 7d e allegato 1);
- n.3 Profilo sismico di tipo MASW (fig. 7a e allegato 2);
- n.3 Profilo sismico a rifrazione (fig. 7a e allegato 2).

In figura 1 dell'allegato 2 viene indicata anche la direzione del profilo, indicando con le lettere A, B e C e A', B' e C' le progressive iniziali e finali dello stendimento.

La prospezione sismica di tipo MASW e la misura HVSR hanno consentito la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione attraverso il calcolo della V_{seq} , come richiede la normativa vigente. Inoltre, mediante una speditiva indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche dei litotipi investigati e i relativi moduli elastici, nonché definire in maniera più precisa le caratteristiche sismostratigrafiche sub-superficiali.

10. Risultati indagini geofisiche

10.1 Acquisizioni HVSR

Le misure HVSR hanno interessato alcune aree che saranno percorse dal cavidotto. Sono state eseguite solo tre misure a causa della sostanziale uniformità geo-litologica delle aree interessate dal progetto.

Le tre misure hanno investigato terreni sui quali la carta geologica riportava, in affioramento, i depositi eluviali principali (HVSR 1, vedi figg. 3, 4a e 7b) e le sabbie calcaree poco cementate (HVSR 2 e 3, vedi figg. 3, 4b, 4c, 7c e 7d).

10.1.1 Acquisizione sismica HVSR 1

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	220
14.50	12.50	360
62.50	48.00	650
inf.	inf.	900

$$V_{seq} = V_{s(0.0-30.0)} = 443 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR sono stati individuati 4 sismostrati: il primo con spessore di circa 2,00 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 220 m/s è riferibile a deposito limo sabbiosi o limo argillosi; il secondo con spessore di circa 12,00 m ed avente Vs pari a 360 è riferibile a sabbie argillose poco addensate; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 650 m/s è riferibile a sabbie ben addensate. Infine il quarto ed ultimo sismostrato, caratterizzato da una Vs pari a 900 m/s è riferibile a rocce calcaree variamente fratturate.

10.1.2 Acquisizione sismica HVSR 2

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
55.00	55.00	440
inf.	inf.	900

$$V_{Seq} = V_{S(0,0-30,0)} = 440 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR sono stati individuati 2 sismostrati: il primo con spessore di circa 55,00 m e Vs parti a 4400 m/s è riferibile a sabbie ben addensate; il secondo, caratterizzato da una Vs pari a 900 m/s è riferibile a rocce calcaree variamente fratturate.

10.1.3 Acquisizione sismica HVSR 3

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	190
56.50	55.00	440
inf.	inf.	1000

$$V_{Seq} = V_{S(0,0-30,0)} = 413 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR sono stati individuati 3 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,50 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 190 m/s è riferibile a terreno vegetale; il secondo sismostrato individuato avente Vs parti a 440 m/s e spessore pari a 55,00 m è riferibile a sabbie ben addensate. Infine il quarto ed ultimo sismostrato, caratterizzato da una Vs pari a 1000 m/s è riferibile a rocce calcaree variamente fratturate.

10.2 Acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW

Le indagini sismiche e le MASW hanno interessato il solo impianto fotovoltaico, escludendo così il percorso del cavidotto. Sono state eseguite solo tre prospezioni a causa della sostanziale uniformità geo-litologica dell'area interessata dall'impianto.

Le tre misure hanno investigato un'area caratterizzata dalla presenza di roccia calcarea (figg. 3, 4a e 7ab).

10.2.1 Indagine sismica a rifrazione

I profili di sismica a rifrazione AA', BB' e CC' (fig. 1 dell'Allegato 2) hanno una lunghezza di 36 metri lineari con interspazio geofonico di 1,50 m, direttrice orientata NW-SE, NE-SW e NW-SE.

I punti estremi delle tre prospezioni hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

A - 17.904828 E – 40.451002 N;

A' - 17.904718 E – 40.451320 N.

B - 17.902658 E – 40.452070 N;

B' - 17.903000 E – 40.452100 N.

C - 17.902204 E – 40.448130 N;

C' - 17.901868 E – 40.448217 N.

La configurazione adottata per tutte e tre le prospezioni è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.75 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Figg.2, 4 e 6 dell'Allegato 2).

10.2.1.1 Indagine sismica a rifrazione AA'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è stato possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (fig. 9).

Nel primo sismostrato (Sismostrato A), che dal piano campagna si spinge sino a circa 2 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P ridotte, comprese tra 200 m/s e 700 m/s. Il secondo sismostrato invece (Sismostrato B), si spinge fino a circa 6 metri di profondità dal piano campagna ed è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 700 e 1200 m/s. Il terzo sismostrato individuato infine (Sismostrato C), è caratterizzato da velocità delle onde P che partendo da 1200 m/s, tendono ad aumentare con l'aumento della profondità fino a raggiungere valori di circa 1500 m/s alla profondità investigata.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (Sismostrato A), il secondo sismostrato a calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (Sismostrato B), mentre il terzo sismostrato (Sismostrato C), a calcari relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità.

10.2.1.2 Indagine sismica a rifrazione BB'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (fig. 9).

Nel primo sismostrato (Sismostrato A), che dal piano campagna si spinge sino a circa 2 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P ridotte, comprese tra 200 m/s e 900 m/s. Il secondo sismostrato invece (Sismostrato B), si spinge fino a circa 8 metri di profondità dal piano campagna ed è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 900 e 1500 m/s. Il terzo sismostrato individuato infine (Sismostrato C), è caratterizzato da velocità delle onde P che partendo da 1500 m/s, tendono ad aumentare con l'aumento della profondità fino a raggiungere valori di circa 2500 m/s alla profondità investigata.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (Sismostrato A), il secondo sismostrato a calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (Sismostrato B), mentre il terzo sismostrato (Sismostrato C), a calcari relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità.

10.2.1.3 Indagine sismica a rifrazione CC'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (fig. 9)

Nel primo sismostrato (Sismostrato A), che dal piano campagna si spinge sino a circa 2 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P ridotte, comprese tra 200 m/s e 900 m/s. Il

secondo sismostrato invece (Sismostrato B), si spinge fino a circa 8 metri di profondità dal piano campagna ed è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 900 e 1200 m/s. Il terzo sismostrato individuato infine (Sismostrato C), è caratterizzato da velocità delle onde P che partendo da 1200 m/s, tendono ad aumentare con l'aumento della profondità fino a raggiungere valori di circa 1500 m/s alla profondità investigata.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (Sismostrato A), il secondo sismostrato a calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (Sismostrato B), mentre il terzo sismostrato (Sismostrato C), a calcari relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità.

10.2.2 Indagine sismica M.A.S.W.

Per il profilo AA' sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1,50 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1,22 secondi.

Per il profilo BB' sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1,50 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1,22 secondi.

Per il profilo CC' sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1,50 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1,22 secondi.

Le indagini M.A.S.W. hanno consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio.

In base a modelli ottenuti, utilizzando la formula sopra riportata, si è ottenuto che il valore della V_s calcolata per i quattro profili analizzati sono le seguenti:

- Profilo AA' - $V_{seq} = 878,35$ m/s;
- Profilo BB' - $V_{seq} = 1058,98$ m/s;
- Profilo CC' - $V_{seq} = 981,79$ m/s.

10.2.3 Caratterizzazione elastico-meccanica dei terreni di fondazione

Di seguito sono riportate tre tabelle riassuntive delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati, riferite alle zone dove sono state eseguite le indagini sismiche. I valori delle V_s sono stati ricavati in modo indiretto dalla prova MASW.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MW_p E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

Sezione AA' - Tabella 2

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	200.00	111.00	1.40	174.0	332.9 1	444.6	565.0	0.28	1.80	154.9
2.00	A - LETTO	700.00	421.00	1.77	3176.3	4546.1	7728.9	8781.2	0.22	1.66	745.45
2.00	B - TETTO	700.00	421.00	1.77	3176.3	4546.1	7728.9	8781.2	0.22	1.66	745.45
6.00	B - LETTO	1200.00	618.00	1.96	7582.4	18478.8	20010.3	28588.7	0.32	1.94	1212.28
6.00	C - TETTO	1200.00	618.00	1.96	7582.4	18478.8	20010.3	28588.7	0.32	1.94	1212.28
8.00	C - LETTO	1500.00	863.00	2.05	1.5E+04	2.6E+04	3.9E+04	4.7E+04	0.25	1.74	1766.19

Sezione BB' - Tabella 3

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	200.00	108.00	1.40	164.8	345.3	426.4	565.0	0.29	1.85	150.73
2.00	A - LETTO	900.00	494.00	1.86	4587.2	9109.5	11783.6	15225.7	0.28	1.82	917.49
2.00	B - TETTO	900.00	494.00	1.86	4587.2	9109.5	11783.6	15225.7	0.28	1.82	917.49
8.00	B - LETTO	1500.00	987.00	2.05	20178.0	19700.4	45127.0	46604.4	0.12	1.52	2019.97
8.00	C - TETTO	1500.00	987.00	2.05	20178.0	19700.4	45127.0	46604.4	0.12	1.52	2019.97
13.00	C - LETTO	2500.00	1171.00	2.26	3.1E+04	1.0E+05	8.5E+04	1.4E+05	0.36	2.13	2640.80

Sezione CC' - Tabella 4

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	200.00	115.00	1.40	186.8	315.9	468.1	565.0	0.25	1.74	160.50
2.00	A - LETTO	900.00	435.00	1.86	3556.9	10483.2	9586.5	15225.7	0.35	2.07	807.91
2.00	B - TETTO	900.00	435.00	1.86	3556.9	10483.2	9586.5	15225.7	0.35	2.07	807.91
8.00	B - LETTO	1200.00	652.00	1.96	8439.7	17335.7	21784.0	28588.7	0.29	1.84	1278.98
8.00	C - TETTO	1200.00	652.00	1.96	8439.7	17335.7	21784.0	28588.7	0.29	1.84	1278.98
12.00	C - LETTO	1500.00	870.00	2.05	1.6E+04	2.6E+04	3.9E+04	4.7E+04	0.25	1.72	1780.52

Dove,

g = densità sismica calcolata mediante la seguente formula: $0.51 V_p^{0.19}$;

G_0 = Modulo di taglio;

K = Modulo di volume;

E = Modulo di Young;

M = Modulo di contrasto;

IS = Impedenza sismica;

μ = modulo di Poisson.

11. Categorie di sottosuolo

Per l'indagine HVSR è stato eseguito il calcolo del parametro V_{s30} essendo il bedrock più profondo di 30 m dal p.c. (DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»).

Dall'analisi dell'indagine HVSR è possibile stimare il parametro V_{s30} , che rappresenta il valore medio di velocità di propagazione delle onde trasversali nei primi 30 metri di sottosuolo. Tale parametro assume un valore pari a 432 m/s, inserendo il terreno di fondazione in categoria *B* – *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

Dall'analisi dell'indagine MASW è possibile stimare il parametro V_{seq} . Tale parametro assume un valore medio pari a 973 m/s, inserendo il terreno di fondazione in categoria *A* – *“Ammasso rocciosi affiorante [...] caratterizzato da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri”*.

12. Categoria topografica

L'area interessata può essere ritenuta stabile e geomorfologicamente idonea alle opere in progetto, e vista la conformazione morfologica, praticamente sub orizzontale, come da paragrafo 3.2.2 “Condizioni topografiche” del D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media uguale o inferiore a 15°), si attribuisce la Categoria Topografica T1.

13. Modello geologico del sottosuolo

Il rilevamento geologico, eseguito nell'area circostante al sito oggetto di intervento e il risultato delle indagini geognostiche hanno permesso di ricostruire, in dettaglio, i modelli geologici del sottosuolo sia del cavidotto che dell'impianto agrivoltaico:

13.1 Modello geologico di dettaglio per il cavidotto

Per il cavidotto occorre considerare diversi modelli geologici a causa della sua estensione. Per semplificazione si possono utilizzare i risultati delle misure HVSR per ricostruire un modello geologico significativo in almeno tre punti del percorso del cavidotto. Pertanto fig. 8):

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

misura HVSR 1	
Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.	depositi alluvionali
da -2,00 m a -14,50 m dal p.c.	sabbie argillose, debolmente cementate, in strati di qualche centimetro di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio azzurre

misura HVSR 2	
Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.	terreno vegetale
da -0,20 m a -55,00 m dal p.c.	da -0,20 m a -55,00 m dal p.c.: sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio azzurre

misura HVSR 3	
Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,50 m dal p. c.	terreno vegetale
da -1,50 m a -56,50 m dal p.c.	sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio azzurre

Il modello geologico ricavato dallo sviluppo delle misure HVSR, dai sopralluoghi effettuati e dalla letteratura esistente è rappresentato da un primo livello litologico costituito da due terreni differenti: nel primo tratto del cavidotto, affiorano sostanzialmente depositi alluvionali derivanti dall'attività dei pochi corsi d'acqua stagionali presenti in zona e, nel secondo tratto, sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio azzurre. Queste ultime hanno spessori rilevanti che, dalle misure eseguite, possono raggiungere diverse decine di metri. Diversamente i depositi alluvionali hanno spessori poco rilevanti e al di sotto di questi si rinvencono sabbie argillose, debolmente cementate, in strati di qualche centimetro di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio azzurre.

Sostanzialmente si tratta di terreni che complessivamente non creano problematiche alle fasi realizzative del cavidotto e a quelle successive di esercizio.

13.2 Modello geologico di dettaglio per l'impianto agrivoltaico

Per l'impianto agrivoltaico il modello geologico ottenuto dai risultati delle sismiche a rifrazione prevede una successione litostratigrafica omogenea costituita essenzialmente da roccia calcarea con grado di alterazione e fratturazione che tende a diminuire in profondità. In sintesi:

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.	calcarei con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato
da -2,00 m a -8,00 m dal p.c.	calcarei con grado di fratturazione e carsismo medio
da -8,00 m dal p.c. in poi	calcarei relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità

In sintesi, a partire dal piano campagna, fino a profondità ragguardevoli di diverse centinaia di metri il sottosuolo è costituito da rocce carbonatiche, stratificate, fratturate e carsificate. Le condizioni generali dell'ammasso roccioso tendono a migliorare con la profondità ma si tratta, comunque, di una litologia idonea a sopportare le spinte verticali e orizzontali generate dalle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

14. Caratterizzazione fisica e meccanica del sottosuolo

Nella seguente trattazione geotecnica si farà riferimento alle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni investigati.

Di seguito vengono riportati quelli che sono i parametri meccanici e fisici delle rocce calcaree essendo, queste, sede di strutture di fondazione:

Tab. 5 - calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.);

Tab. 6 - calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (da -2,00 m a -8,00 m dal p. c.).

I dati, puramente indicativi, fanno riferimento sia alle conoscenze acquisite nell'area in progetto sia alle indagini effettuate e sia dai dati ricavati dalla letteratura esistente.

Tabella 5: Parametri geotecnici dei calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,40 g/cm ³	13729 N/m ³	peso di volume naturale
ν	0.29		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,00 Kg/cm ²	0,098 N/mm ²	coesione non drenata
ϕ	35°		angolo di attrito interno
E_d	589 Kg/cm ²	57,76 N/mm ²	modulo Edometrico
E	11783,60 Kg/cm ²	1155,51 N/mm ²	modulo Elastico o di Young
G	3176,30 Kg/cm ²	311,48 N/mm ²	modulo di taglio
K	4546,10 Kg/cm ²	445,82 N/mm ²	modulo di incompressibilità
K_w	15 - 50 Kg/cm ³	147 - 490 N/cm ³	Coefficiente di Winkler

Tabella 6: Parametri geotecnici dei calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (da -2,00 m a -8,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,77 g/cm ³	17357 N/m ³	peso di volume naturale
ν	0.32		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,00 Kg/cm ²	0,098 N/mm ²	coesione non drenata
ϕ	35°		angolo di attrito interno
E_d	1000 Kg/cm ²	98,06 N/mm ²	modulo Edometrico
E	20010,30 Kg/cm ²	1962,31 N/mm ²	modulo Elastico o di Young
G	7582,40 Kg/cm ²	743,57 N/mm ²	modulo di taglio
K	17335,70 Kg/cm ²	1700,05 N/mm ²	modulo di incompressibilità
K_w	15 - 50 Kg/cm ³	147 - 490 N/cm ³	Coefficiente di Winkler

15. Modellazione geotecnica

La modellazione geotecnica, alla luce di specifiche indagini geologiche eseguite, definisce, le scelte progettuali in funzione del tipo di opera da realizzare e delle modalità costruttive.

Il modello geotecnico tiene conto anche del volume di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che a sua volta influenzerà il comportamento del manufatto stesso; illustra inoltre i procedimenti impiegati per le verifiche geotecniche, per tutti gli stati limite previsti dalla normativa tecnica vigente, in riferimento al rapporto del manufatto con il terreno.

Il modello geotecnico è pertanto parte integrante ed essenziale della relazione geotecnica che ha il compito di sintetizzare e verificare i risultati delle indagini geognostiche effettuate.

Pertanto per la verifica di un corretto modellamento geotecnico delle aree in studio, si rimanda alla relazione geotecnica allegata al progetto.

16. Verifica di compatibilità geologica e geotecnica del P.A.I. Puglia (figg. 10 , b e c)

Per tutti gli interventi nelle aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3), in quelle a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2) e in quelle a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) l'Autorità di Bacino della Puglia richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che ne analizzi compiutamente gli effetti sulla stabilità dell'area interessata.

Si specifica, come precedentemente riportato, che l'area di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI non ricade in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità geomorfologica, come definite di cui agli artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico della Puglia.

Descrizione	Livello	Vincolo	
		Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Pericolosità Geomorfologica	media e moderata (PG1)	NO	NO
	elevata (PG2)	NO	NO
	elevata (PG3)	NO	NO
Pericolosità Idraulica	bassa (BP)	NO	NO
	media (MP)	NO	NO
	alta (AP)	NO	NO

Pertanto non è richiesto lo studio di compatibilità geologica e geotecnica succitato (figg. 10a, b e c).

17. Ulteriori vincoli

17.1 Vincoli del DGR del 04/08/09 del PTA "Piano di Tutela delle Acque" (fig. 11)

Il Piano di Tutela delle Acque della regione Puglia mostra che:

Descrizione	Vincolo	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Aree di Tutela Quali-Quantitativa	NO	NO
Aree interessate da contaminazione salina	SI	SI
Zone di protezione speciale idrogeologica "A"	NO	NO
Zone di protezione speciale idrogeologica "B1"	NO	NO
Zone di protezione speciale idrogeologica "B2"	NO	NO
Zone di protezione speciale idrogeologica "C"	NO	NO

Nello specifico la restrizione riguarda sia la realizzazione di nuovi pozzi per l'emungimento di acque sotterranee sia il rinnovo delle concessioni di pozzi esistenti. In rispetto a ciò l'area non è sottoposta a vincolo idrogeologico.

17.2 Vincoli imposti dal P.P.T.R. della Regione Puglia (fig. 12)

Il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) è rivolto a tutti i soggetti, pubblici e privati, e, in particolare, agli enti competenti in materia di programmazione, pianificazione e gestione del territorio e del paesaggio.

Il PPTR persegue le finalità di tutela e valorizzazione, nonché di recupero e riqualificazione dei paesaggi di

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

Puglia. Il PPTR persegue, in particolare, la promozione e la realizzazione di uno sviluppo socioeconomico autosostenibile e durevole e di un uso consapevole del territorio regionale, anche attraverso la conservazione ed il recupero degli aspetti e dei caratteri peculiari dell'identità sociale, culturale e ambientale, la tutela della biodiversità, la realizzazione di nuovi valori paesaggistici integrati, coerenti e rispondenti a criteri di qualità e sostenibilità.

17.2.1 Beni Paesaggistici

Componenti idrologiche	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Territori costieri	NO	NO
Territori contermini ai laghi	NO	NO
Acque pubbliche	NO	NO

Componenti botanico-vegetazionali	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Boschi	NO	NO
Zone umide Ramsar	NO	NO

Componenti delle aree protette e dei siti naturalistici	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Parchi e riserve	NO	NO

Componenti culturali e insediative	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Immobili e aree di notevole interesse pubblico	NO	NO
Zone gravate da usi civici	NO	NO

17.2.2 Ulteriori Contesti

Componenti geomorfologiche	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Versanti	NO	NO
Lame e gravine	NO	NO
Doline	NO	NO
Grotte	NO	NO
Geositi	NO	NO
Inghiottoi	NO	NO
Cordoni dunari	NO	NO

Componenti idrologiche	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Sorgenti	NO	NO
Reticolo idrografico di connessione della R.E.R.	NO	SI
Vincolo idrogeologico	NO	NO

Componenti botanico-vegetazionali	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Aree umide	NO	NO
Prati e pascoli naturali	NO	NO
Formazioni arbustive in evoluzione nat	NO	NO
Aree di rispetto dei boschi	NO	NO

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

Componenti delle aree protette e dei siti naturalistici	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Parchi e riserve	NO	NO
Siti di rilevanza naturalistica	NO	NO
Aree di rispetto dei parchi e ris. regionali	NO	NO

Componenti delle aree protette e dei siti naturalistici	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
SIC	NO	NO
SIC mare	NO	NO
ZPS	NO	NO
Aree di rispetto dei parchi e riserve naturalistiche	NO	NO

Componenti culturali e insediative	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Città Consolidata	NO	NO
Testimonianze stratificazione insediativa (Siti storico-culturali)	NO	NO
Testimonianze stratificazione insediativa (rete tratturi)	NO	NO
Testimonianze stratificazione insediativa (rischio archeologico)	NO	NO
Area di rispetto delle comp. cult. e insediative (siti storico-cult.)	NO	NO
Area di rispetto delle comp. cult. e insediative (siti archeol.)	NO	NO
Area di rispetto delle comp. cult. e insediative (rete tratturi)	NO	NO
Paesaggi rurali	NO	NO

Componenti dei valori percettivi	Presenza del vincolo nell'area in studio	
	Impianto fotovoltaico	Cavidotto
Strade a valenza paesaggistica	NO	NO
Strade panoramiche	NO	NO
Luoghi panoramici (punti)	NO	NO
Luoghi panoramici (poligoni)	NO	NO
Coni visuali	NO	NO

Figure	La Terra dell'Arneo
Ambiti	Tavoliere Salentino

18. Pericolosità geologica

La definizione della pericolosità geologica di un sito è di fondamentale importanza per la valutazione della fattibilità delle opere.

Si definisce pericolosità di un certo evento la probabilità che esso si manifesti in una certa area entro un certo periodo di tempo e con una certa intensità. Le valutazioni di pericolosità possono essere effettuate a scala locale, a scala regionale o a scala nazionale.

Gli ambiti di più frequente applicazione consistono nella pericolosità da frana, da sprofondamenti, pericolosità sismica, pericolosità idraulica, ecc.

Pertanto, a seguito dei sopralluoghi effettuati, della campagna di indagini geognostiche eseguita, del rilevamento geologico di dettaglio e della consultazione sia della cartografia P.A.I. che di quella idrogeomorfologica della Puglia redatte dall'Autorità di Bacino della Puglia è possibile supporre che i siti sui quali si intende realizzare l'impianto fotovoltaico e il cavidotto sono da considerarsi a bassissima pericolosità geologica:

- Non sono presenti frane o colamenti superficiali;

- Non sono state individuate forme carsiche superficiali o evidenze di forme carsiche ipogee;
- Le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni investigati consentono un adeguato dimensionamento delle strutture di fondazione, escludendo qualsiasi danno provocato da cedimenti immediati o a lungo termine dei terreni stessi;
- Non è stata individuata una falda superficiale;
- I terreni sabbioso argillosi, intercettati dal solo cavidotto, presentano una buona permeabilità d'insieme che consentirà alle acque meteoriche di infiltrarsi nel sottosuolo in tempi relativamente rapidi evitando la formazione di ristagni d'acqua nocivi per le strutture che si intende realizzare.
- Sono presenti, lungo il percorso del cavidotto o in prossimità di esso, diversi corsi d'acqua episodici. L'interferenza che il cavidotto potrebbe avere con il deflusso delle acque è superato sia con l'utilizzo delle TOC nei punti di intersezione tra cavidotto e impluvio che di scavi a cielo aperto nelle aree in cui il cavidotto passa in prossimità delle testate degli impluvi. Per maggiori dettagli a riguardo si può far riferimento allo studio di compatibilità idraulico e idrogeologico allegato al progetto.

19. Stabilità nei confronti della liquefazione

Per liquefazione si intende quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Nel DECRETO 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" al capitolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione" è riportato:

"... La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
- 2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- 3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
- 4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$..."*

Pertanto la campagna geologica eseguita dallo Scrivente ha messo in evidenza la presenza di terreni litoidi costituiti da rocce cacareo-dolomitiche e da terreni sabbioso argillosi con livelli a panchina ben cementati e, soprattutto dall'assenza di falde superficiali a meno di 15 m dalle quote di fondazione dei nuovi manufatti.

Il quadro geologico e idrogeologico d'insieme, quindi, esclude qualsiasi tipo di fenomeno di liquefazione. In conseguenza di ciò è stato reputato di non dover verificare la stabilità delle nuove strutture nei confronti della liquefazione.

20. Prescrizioni

Su tutta l'aria destinata al posizionamento delle strutture agrivoltaiche affiora roccia calcarea variamente fratturata e carsificata. Si tratta di rocce riferibili al Calcarea di Altamura (Cenomaniano sup.).

Diversamente, il cavidotto, lungo il suo percorso, incontra sostanzialmente due formazioni geologiche:

- de: depositi eluviali principali (Olocene);
- Q¹-P³: sabbie calcaree poco cementate (Calabriano – Pliocene sup.).

Le prime sono depositi di terra rossa residuale affiorante in prossimità di affioramento di roccia calcarea.

Le sabbie calcaree poco cementate (Q¹-P³), invece, sono costituite da sabbie calcaree di colore azzurrognolo, talvolta giallastro per ossidazione, in genere debolmente cementate. Sono presenti scarse e poco potenti intercalazioni di panchina. Talora le sabbie calcaree sono argillose e sono presenti livelli esclusivamente argillosi.

L'area di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI non ricade in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità geomorfologica, come definite di cui agli artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico della Puglia.

L'impianto agrivoltaico e il relativo cavidotto proposti non modificano in maniera sostanziale la situazione geomorfologica delle aree. L'intervento non va ad incrementare il livello di pericolosità idraulica per le aree adiacenti e per l'area stessa.

L'area di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI non ricade in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità idraulica, come definita di cui agli artt. 7, 8 e 9 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Nelle aree di progetto risultano assenti forme perenni di scorrimento superficiale, soprattutto nelle immediate vicinanze del sito di intervento, sono però presenti diversi impluvi a carattere prettamente stagionale.

Ad est del campo agrivoltaico è cartografato un piccolo bacino endoreico che ha come tributario un piccolo impluvio ben visibile sulla carta idrogeomorfologica ma solo parzialmente cartografato sull'IGM scala 1:25000.

Lo stesso corso d'acqua interferisce anche col primo tratto del cavidotto.

Il bacino endoreico è sottoposto anche a perimetrazione PAI con presenza di "Alta" e "media pericolosità idraulica".

Un secondo impluvio interessa il tracciato del cavidotto nei pressi dell'incrocio della strada rurale con la S.P. 79.

Il corso d'acqua è riportato sia sulla carta idrogeomorfologica che sull'IGM scala 1:25000.

Un ultimo corso d'acqua taglia il tracciato del cavidotto poco più ad est rispetto all'incrocio stradale con la S.P.79.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MW_p E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

L'interferenza tra cavidotto, impianto agrivoltaico e impluvi comporta una verifica di tipo idrologica ed idraulica così come previsto dagli artt. 6 "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" e 10 "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale" delle NTA del PAI.

Non è stata individuata alcuna falda freatica superficiale.

Il tetto della falda carsica principale si trova a circa 1,50 metri sul livello del mare (Tavola "Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi" dell'Aggiornamento del PTA2015-2021 Puglia), cioè a circa 40 metri al di sotto del piano campagna.

Il Piano di Tutela delle Acque della regione Puglia mostra che:

Descrizione	Vincolo
Aree interessate da contaminazione salina	SI

Nello specifico la restrizione riguarda sia la realizzazione di nuovi pozzi per l'emungimento di acque sotterranee sia il rinnovo delle concessioni di pozzi esistenti. In rispetto a ciò l'area non è sottoposta a vincolo idrogeologico.

Il P.P.T.R. della regione Puglia mostra che:

Figure	La Terra dell'Arneo
Ambiti	Tavoliere Salentino

Per l'indagine HVSR è stato eseguito il calcolo del parametro V_{s30} essendo il bedrock più profondo di 30 m dal p.c. (DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»).

Dall'analisi dell'indagine HVSR è possibile stimare il parametro V_{s30} , che rappresenta il valore medio di velocità di propagazione delle onde trasversali nei primi 30 metri di sottosuolo. Tale parametro assume un valore pari a 432 m/s, inserendo il terreno di fondazione in categoria B – "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Dall'analisi dell'indagine MASW è possibile stimare il parametro V_{seq} . Tale parametro assume un valore medio pari a 973 m/s, inserendo il terreno di fondazione in categoria A – "Ammasso rocciosi affiorante [...] caratterizzato da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri".

L'area interessata può essere ritenuta stabile e geomorfologicamente idonea alle opere in progetto, e vista la conformazione morfologica, praticamente sub orizzontale, come da paragrafo 3.2.2 "Condizioni topografiche" del D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media uguale o inferiore a 15°), si attribuisce la Categoria Topografica T1.

Pertanto, a seguito dei sopralluoghi effettuati, della campagna di indagini geognostiche eseguita, del rilevamento geologico di dettaglio e della consultazione sia della cartografia P.A.I. che di quella idrogeomorfologica della Puglia redatte dall'Autorità di Bacino della Puglia è possibile supporre che il sito sul quale si intende realizzare l'impianto agrivoltaico è da considerarsi a bassissima pericolosità geologica:

- Non sono presenti frane o colamenti superficiali;
- Non sono state individuate forme carsiche superficiali o evidenze di forme carsiche ipogee;
- Le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni investigati consentono un adeguato dimensionamento delle strutture di fondazione, escludendo qualsiasi danno provocato da cedimenti immediati o a lungo termine dei terreni stessi;
- Non è stata individuata una falda superficiale;
- I terreni sabbioso argillosi, intercettati dal solo cavidotto, presentano una buona permeabilità d'insieme che consentirà alle acque meteoriche di infiltrarsi nel sottosuolo in tempi relativamente rapidi evitando la formazione di ristagni d'acqua nocivi per le strutture che si intende realizzare.
- Sono presenti, lungo il percorso del cavidotto o in prossimità di esso, diversi corsi d'acqua stagionali. L'interferenza che il cavidotto potrebbe avere con il deflusso delle acque è superato sia con l'utilizzo delle TOC nei punti di intersezione tra cavidotto e impluvio che di scavi a cielo aperto nelle aree in cui il cavidotto passa in prossimità delle testate degli impluvi. Per maggiori dettaglio a riguardo si può far riferimento allo studio di compatibilità idraulico e idrogeologico allegato al progetto.

Si consiglia di:

- Incastrare le fondazioni nei terreni analizzati;
- adottare un coefficiente di Winkler o costante di sottofondo (K_w) riportato nelle tabb. 5 e 6.

Pertanto la campagna geologica eseguita dallo Scrivente ha messo in evidenza la presenza di terreni litoidi costituiti da rocce calcareo-dolomitiche e da terreni sabbioso argillosi con livelli a panchina ben cementati e, soprattutto dall'assenza di falde superficiali a meno di 15 m dalle quote di fondazione dei nuovi manufatti.

Il quadro geologico e idrogeologico d'insieme, quindi, esclude qualsiasi tipo di fenomeno di liquefazione. In conseguenza di ciò è stato reputato di non dover verificare la stabilità delle nuove strutture nei confronti della liquefazione.

Il modello geologico ricavato dallo sviluppo delle misure HVSR, dai sopralluoghi effettuati e dalla letteratura esistente è rappresentato da un primo livello litologico costituito da due terreni differenti: nel primo tratto del cavidotto, affiorano sostanzialmente depositi alluvionali derivanti dall'attività dei pochi corsi d'acqua stagionali presenti in zona e, nel secondo tratto, sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio azzurre. Queste ultime hanno spessori rilevanti che, dalle misure eseguite, possono raggiungere diverse decine di metri. Diversamente i depositi alluvionali hanno spessori poco rilevanti e al di sotto di questi si rinvenivano sabbie argillose, debolmente cementate, in strati di qualche centimetro di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio azzurre.

Sostanzialmente si tratta di terreni che complessivamente non creano problematiche alle fasi realizzative del cavidotto e a quelle successive di esercizio.

Il modello geologico per l'area interessata dall'impianto agrivoltaico, ottenuto dai risultati delle sismiche a rifrazione, prevede una successione litostratigrafica omogenea costituita essenzialmente da roccia calcarea con grado di alterazione e fratturazione che tende a diminuire in profondità.

In sintesi, a partire dal piano campagna, fino a profondità ragguardevoli di diverse centinaia di metri il sottosuolo è costituito da rocce carbonatiche, stratificate, fratturate e carsificate. Le condizioni generali dell'ammasso roccioso tendono a migliorare con la profondità ma si tratta, comunque, di una litologia idonea a sopportare le spinte verticali e orizzontali generate dalle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

Si consiglia inoltre di comunicare al sottoscritto l'inizio dei lavori, al fine di poter fornire eventuali integrazioni, chiarimenti e suggerimenti tecnici per variazioni progettuali da adottare in corso d'opera, richiesti da possibili imprevisti geologici.

Nella fase esecutiva, allorquando il sottoscritto lo ritenga opportuno, saranno eseguite ulteriori indagini geognostiche dirette e/o indirette, al fine di verificare le eventuali zone di anomalia.

Particolare cura dovrà essere rivolta durante i lavori di captazione e smaltimento delle acque piovane, al fine di evitare infiltrazioni e ristagni idrici al livello e al di sotto dei piani fondali, con conseguente scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

Gioia del Colle, ottobre 2022

il Geologo
Dott. Raffaele SASSONE

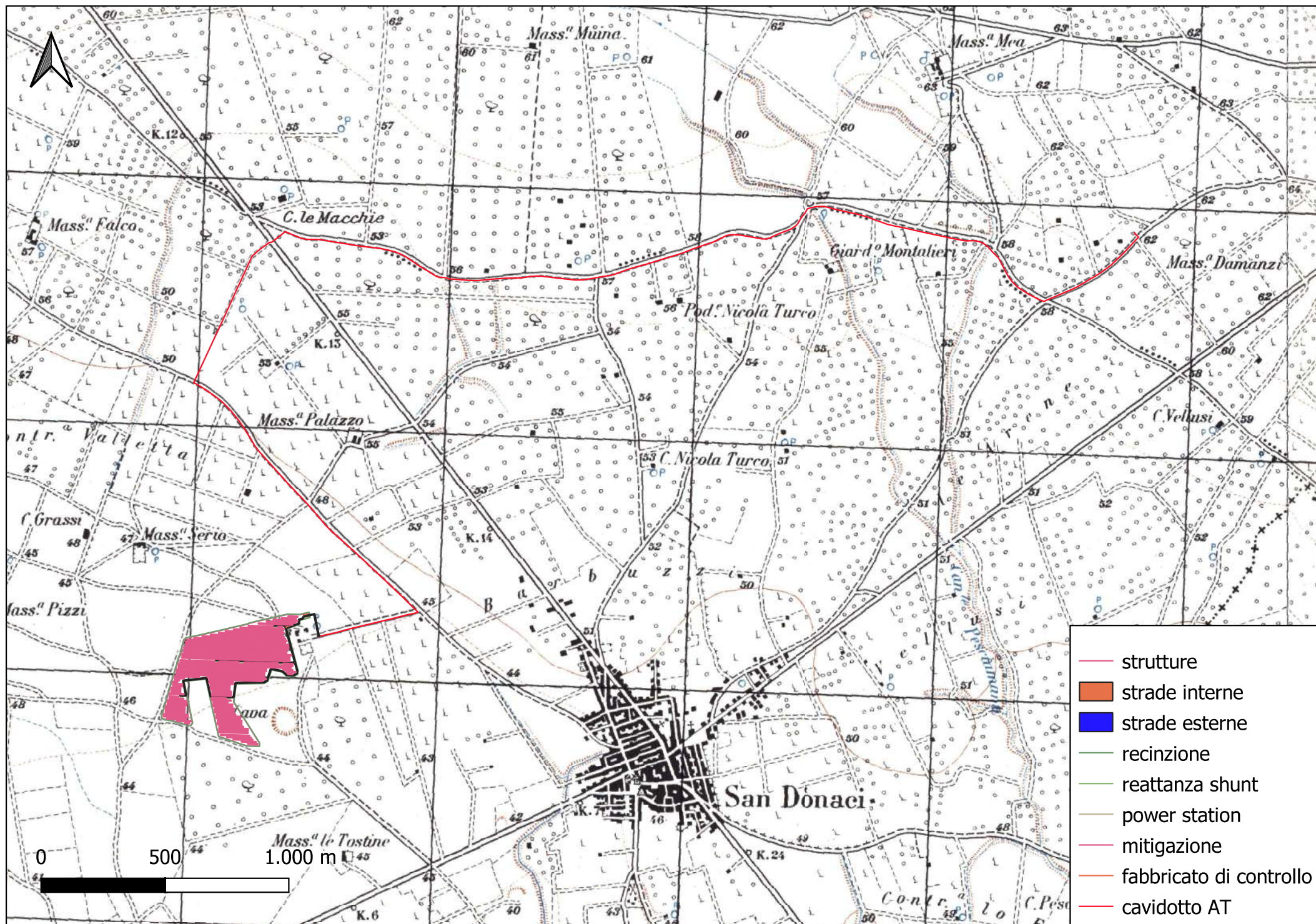


Figura 1: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta IGM su base ortofoto scala 1:25000

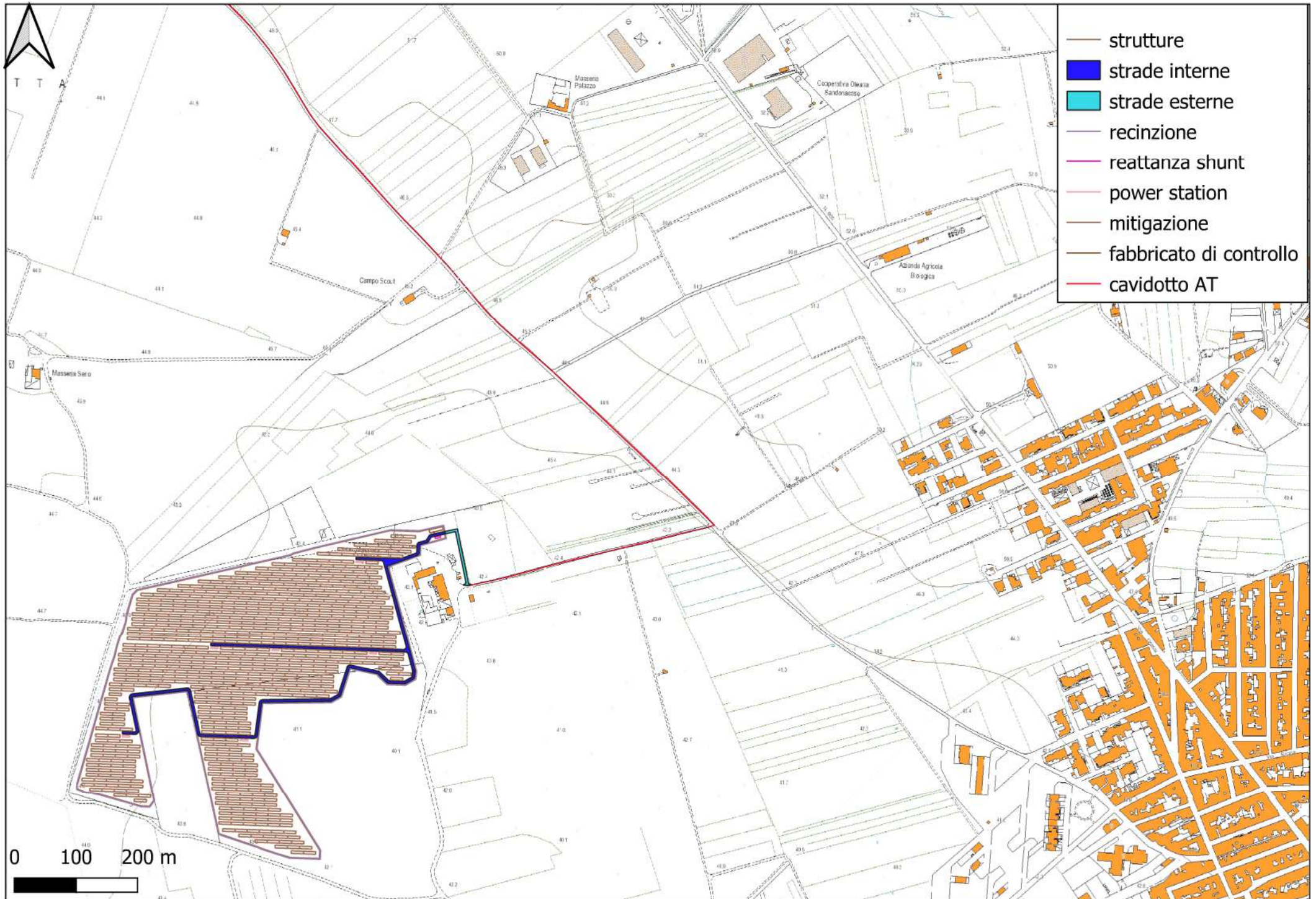


Figura 2a: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio CTR scala 1:10000

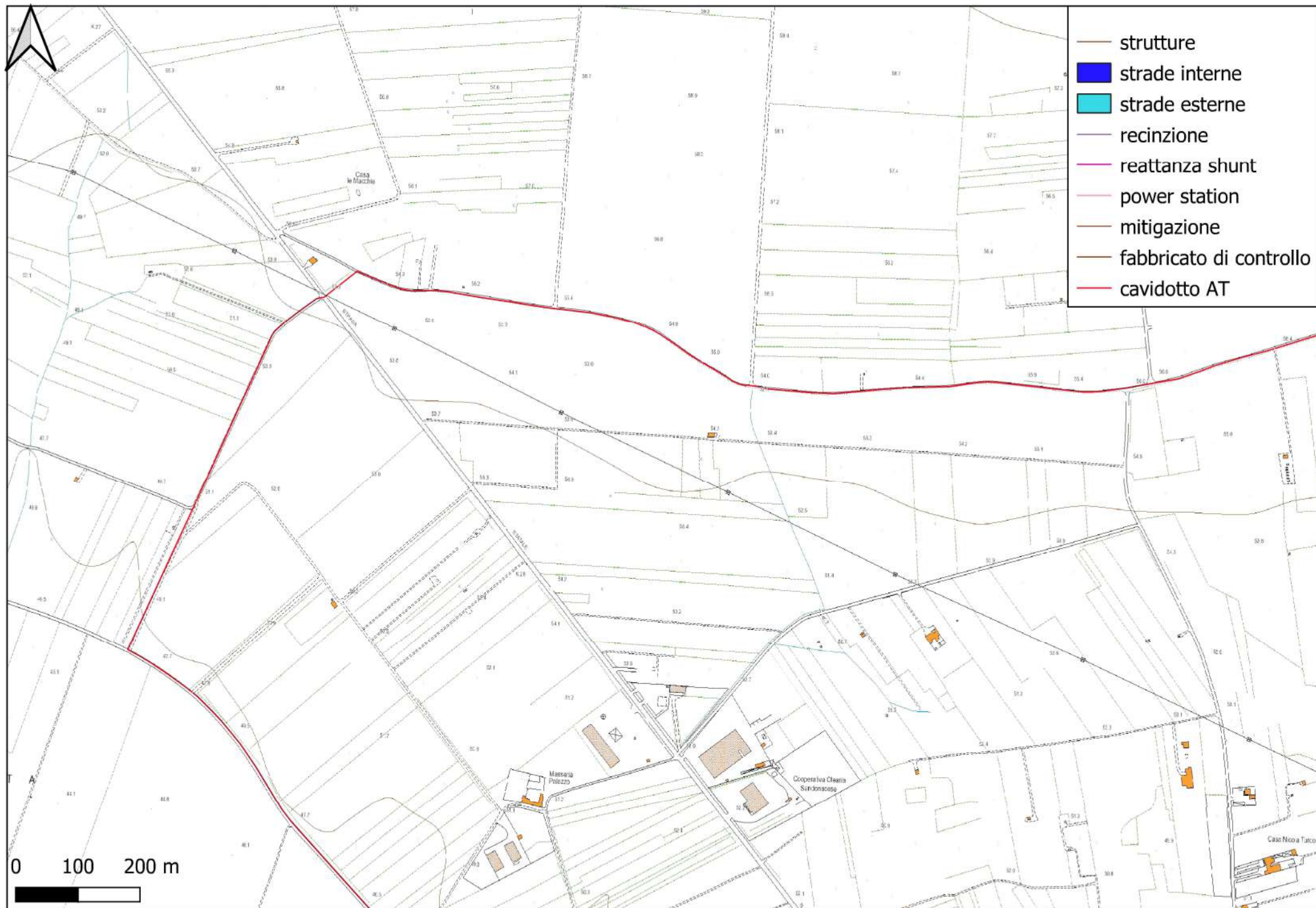


Figura 2b: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio CTR scala 1:10000

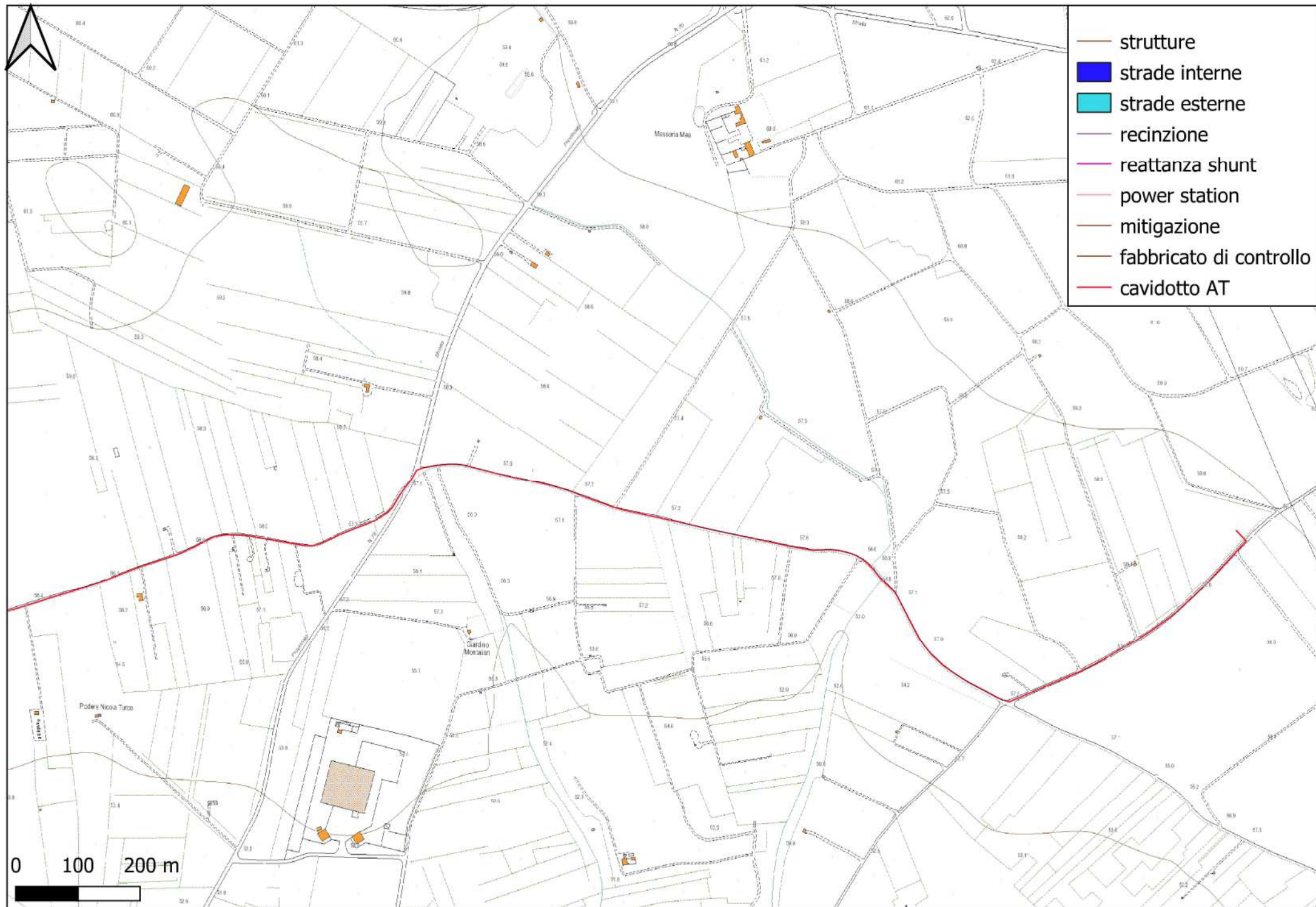


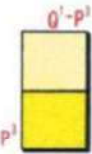
Figura 2c: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio CTR scala 1:10000



Depositi eluviali principali e di "terra rossa".



Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrastre (Q_2^1); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q_1^1). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolivina catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.



(Q_1^1 - p_1^1) Sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina; sabbie argillose grigio-azzurre. Verso l'alto associazione calabriana: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.) (CALABRIANO-PLIOCENE SUP.?) In trasgressione sulle formazioni più antiche.

(p_1^1) Calcareniti, calcari tipo panchina, calcareniti argillose giallastre. Macrofauna a Coralli, Cirripedi, Molluschi, Echinidi, Crostacei tra cui *Cancer sismondai* MEY. var. *antiatina* MAX. Microfauna ad Ostracodi e Foraminiferi: *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Discorbis orbicularis* (TERQ.), *Cibicides ungerianus* (D'ORB.), *C. lobatulus* (WALK. e JAC.), *Globigerinoides ruber* (D'ORB.), *G. sacculifer* (BRADY), *Orbulina universa* D'ORB., *Hastigerina aequilateralis* (BRADY) (PLIOCENE SUP.-MEDIO?). In trasgressione sulle formazioni più antiche.



Calcari dolomitici e dolomie grigio-nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio-chiaro. Microfossili non molto frequenti: *Thaumatoporella* sp., *Praeglobotruncana stephani stephani* (GAND.), *P. stephani turbinata* (REICH.), *Rotalipora appenninica appenninica* (RENZ), *R. cf. reicheli* (MORN.), *Nummoloculina* sp. (CENOMANIANO SUP. e forse TURONIANO). DOLOMIE DI GALATINA con passaggio graduale al CALCARE DI ALTAMURA (verso Nord e verso Ovest).

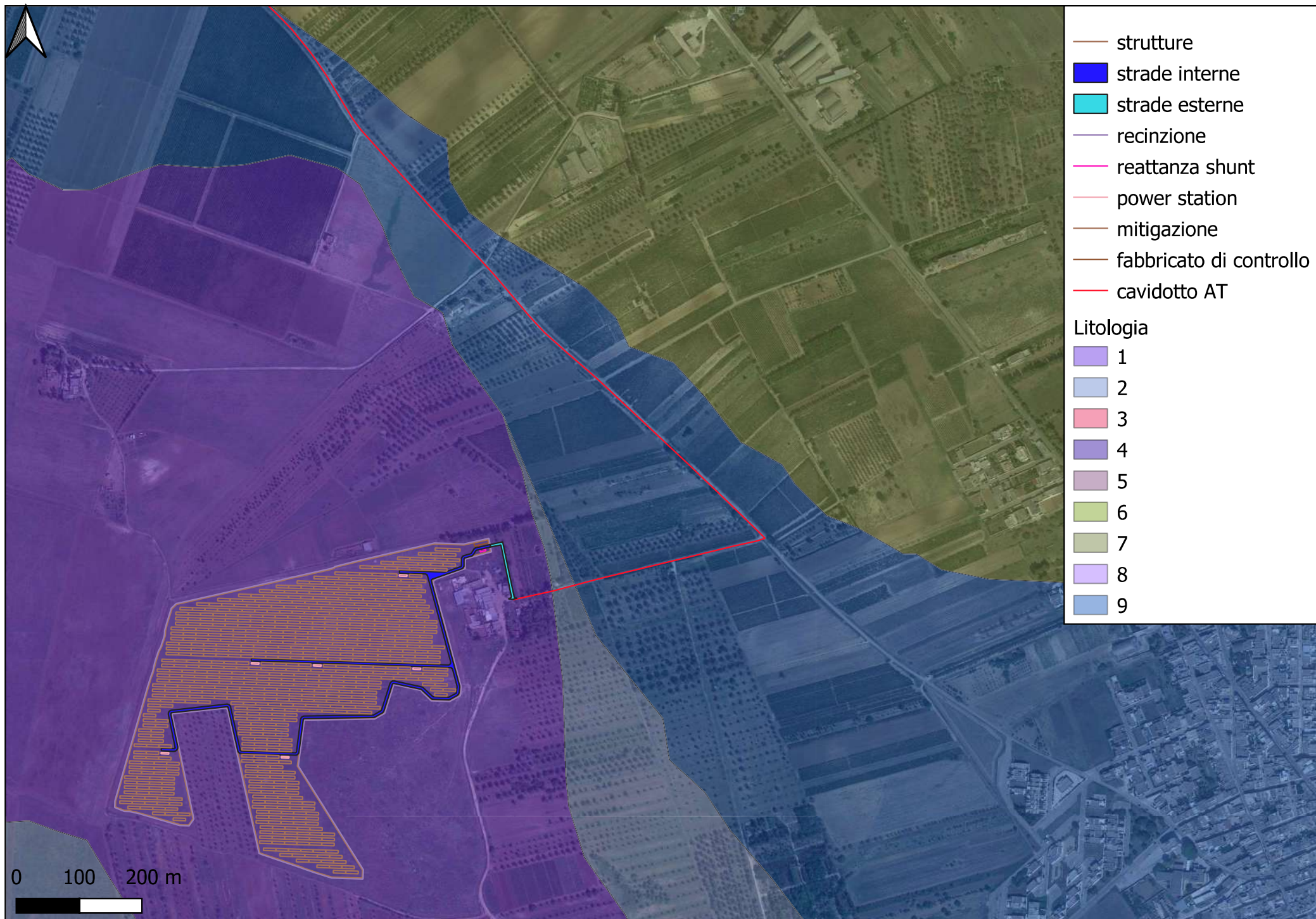


Figura 4a: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta geologica su base ortofoto scala 1:10000

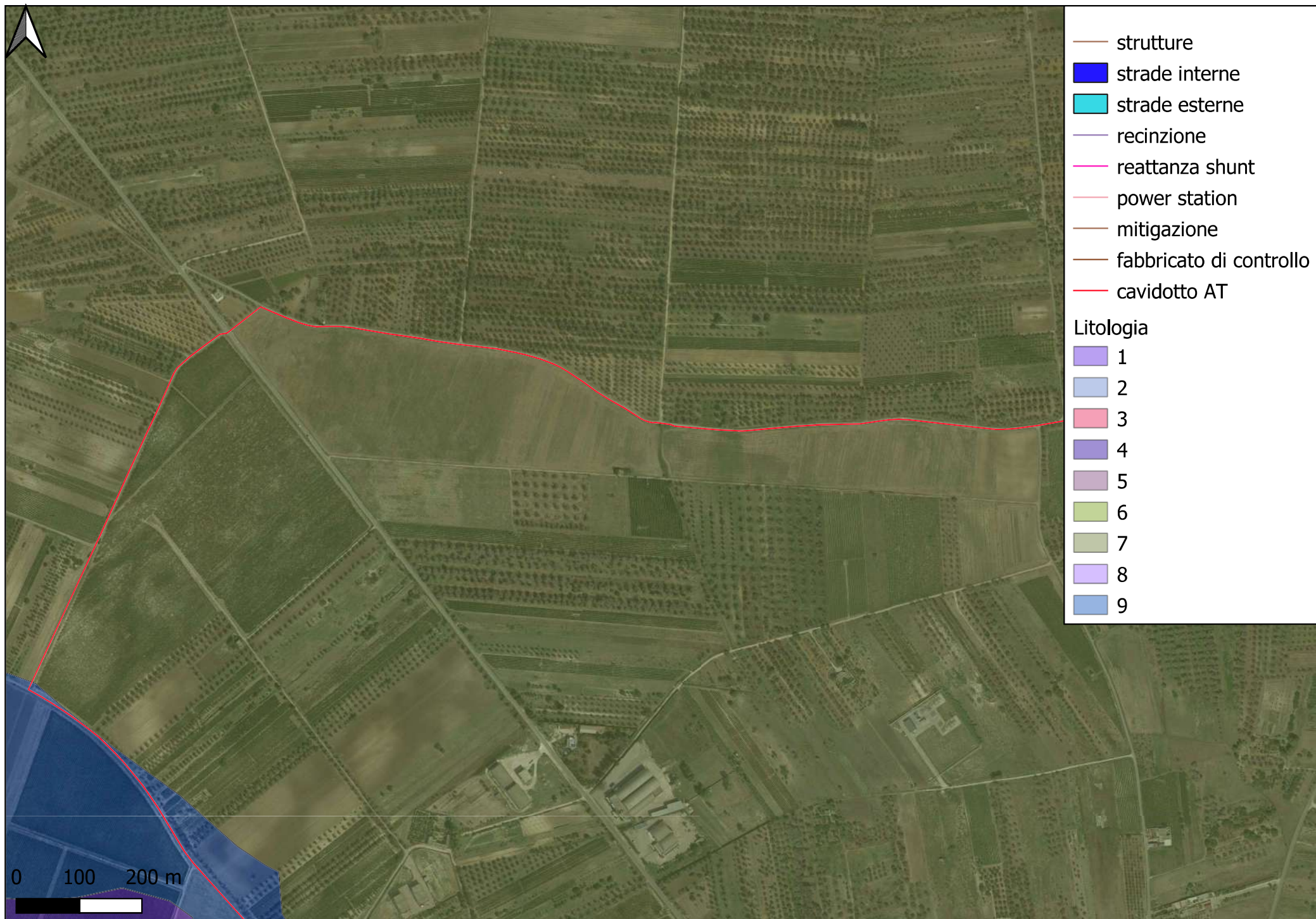


Figura 4b: ubicazione del cavidotto su stralcio carta geologica su base ortofoto scala 1:10000

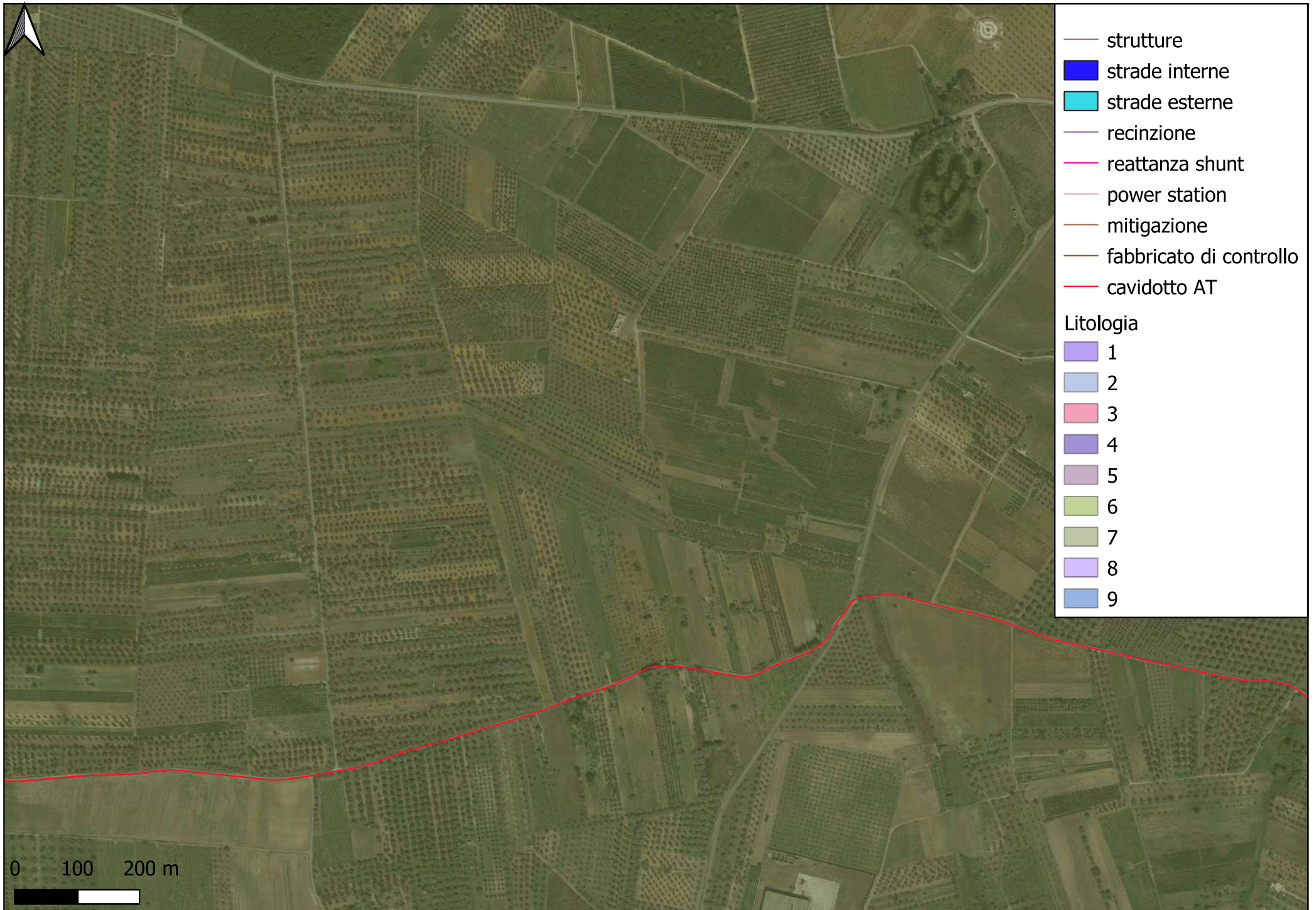


Figura 4c: ubicazione del cavidotto su stralcio carta geologica su base ortofoto scala 1:10000

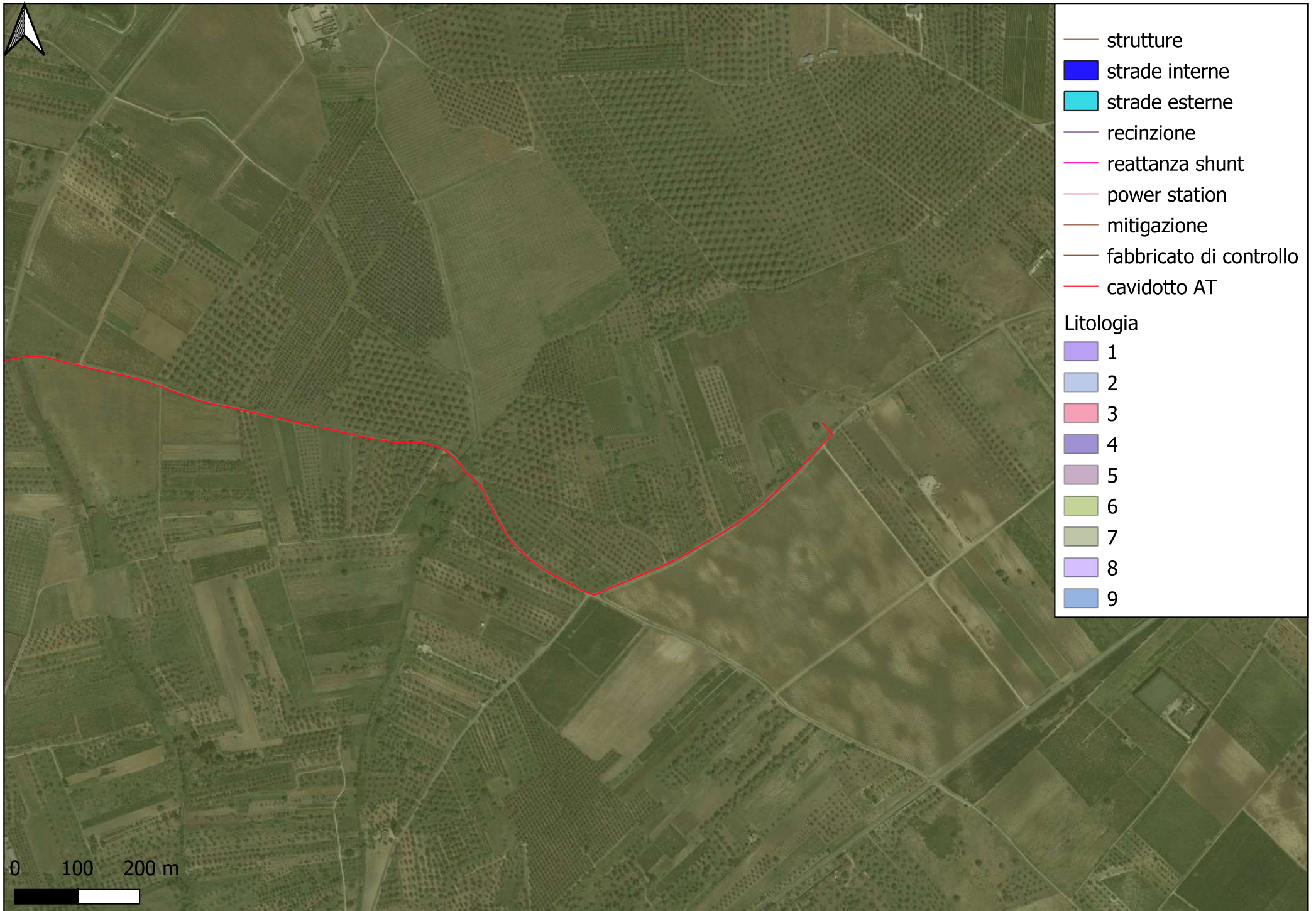


Figura 4d: ubicazione del cavidotto su stralcio carta geologica su base ortofoto scala 1:10000

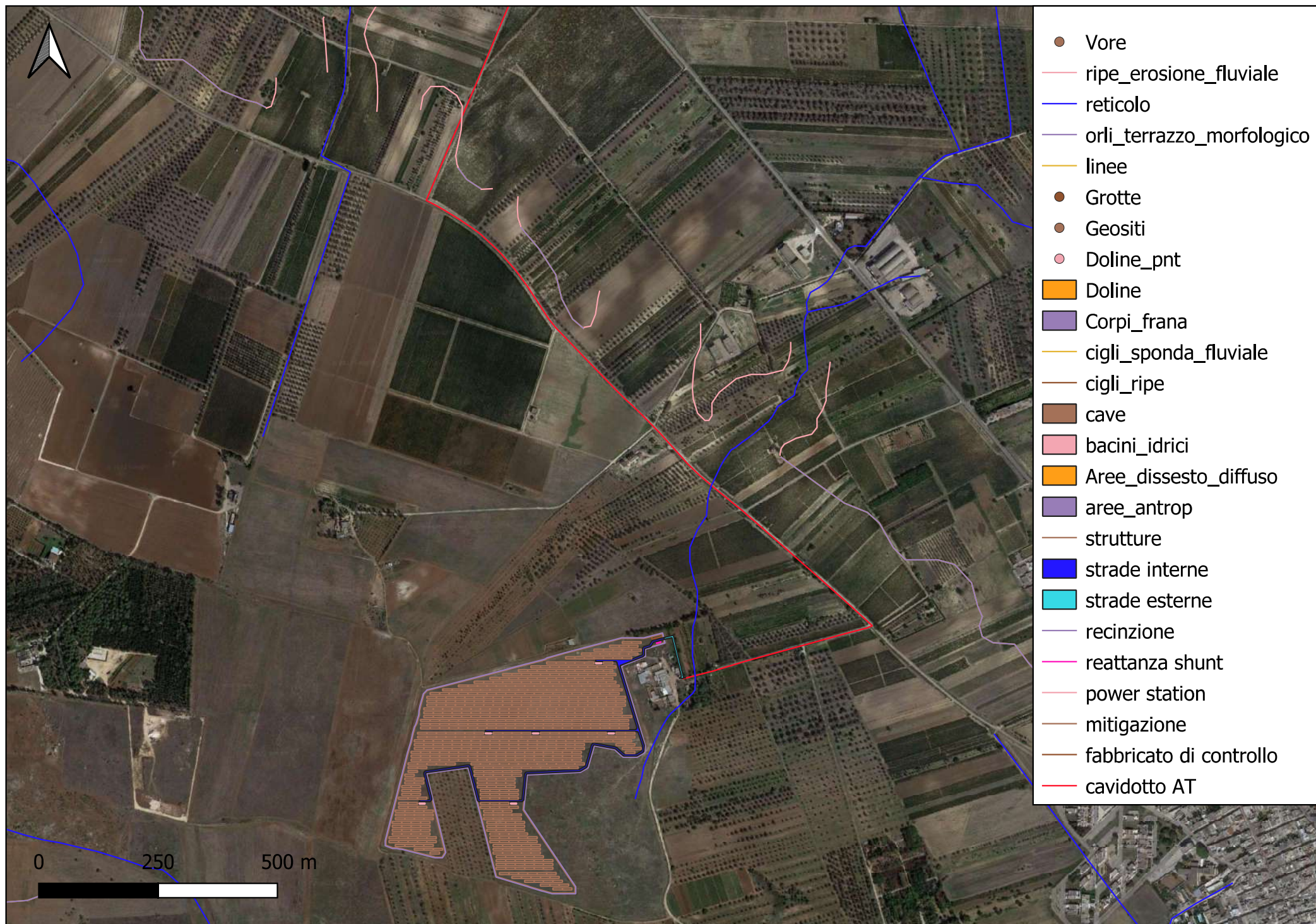


Figura 5a: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta idrogeomorfologica della Puglia su base ortofoto scala 1:10000

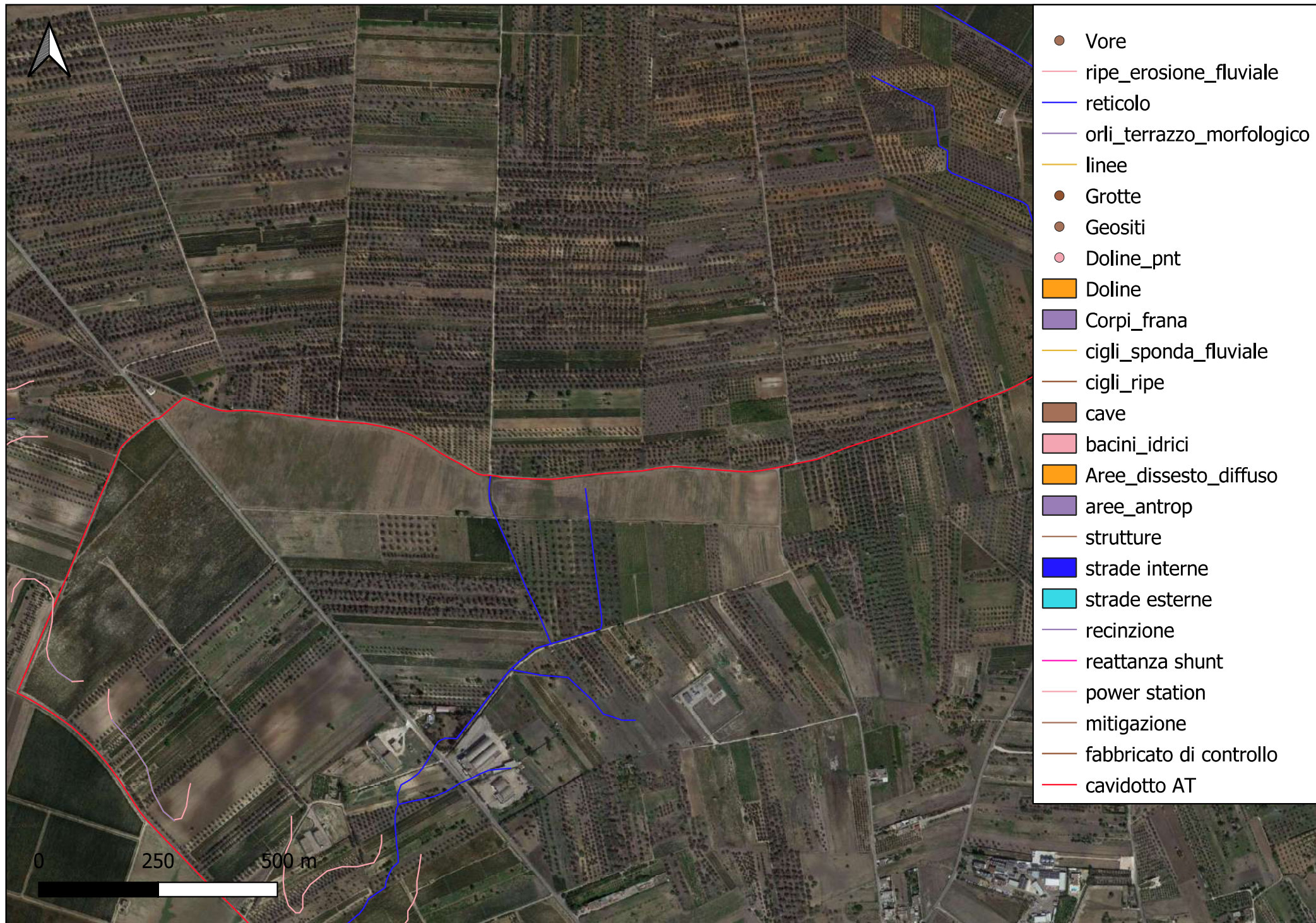


Figura 5b: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta idrogeomorfologica della Puglia su base ortofoto scala 1:10000

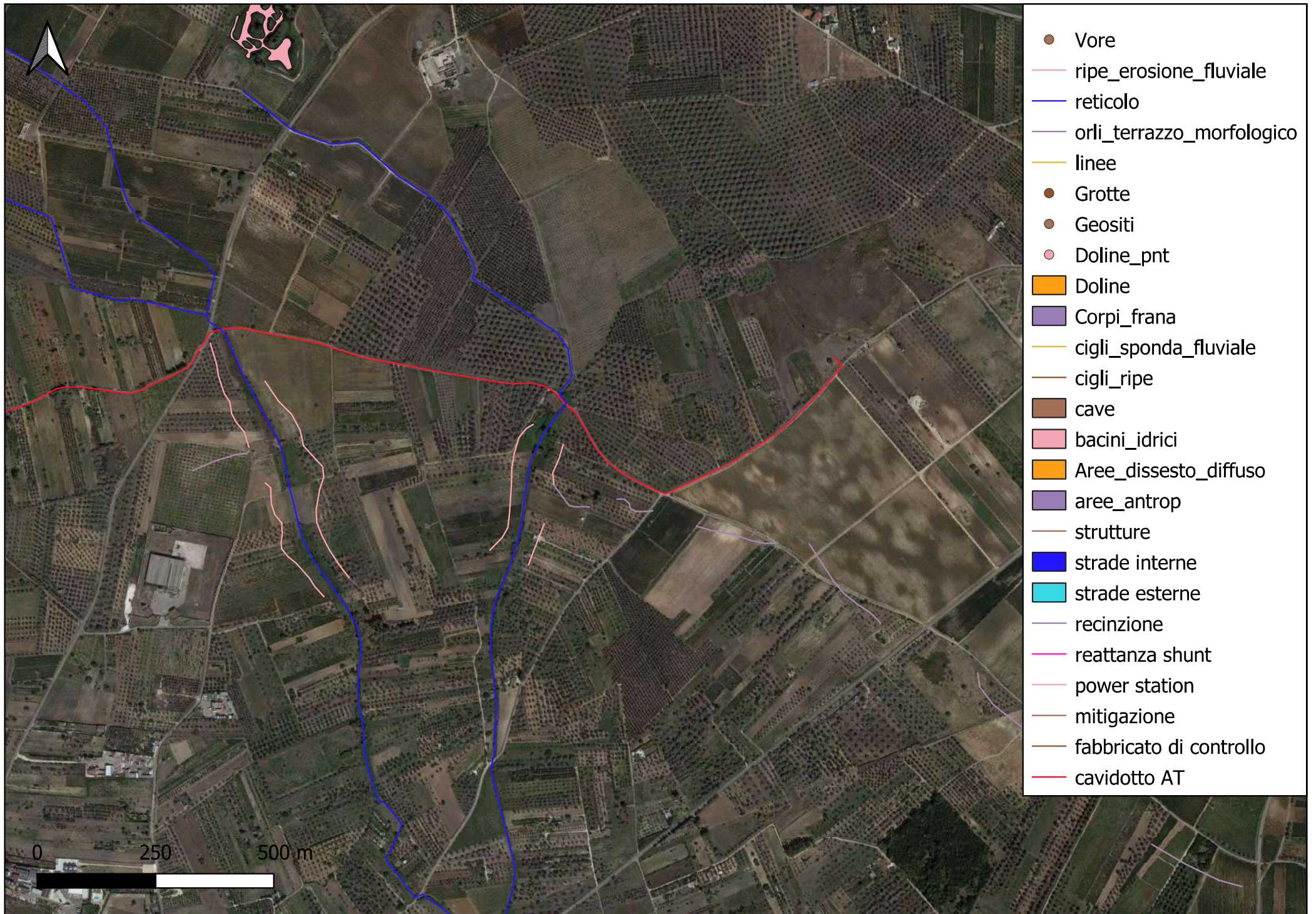
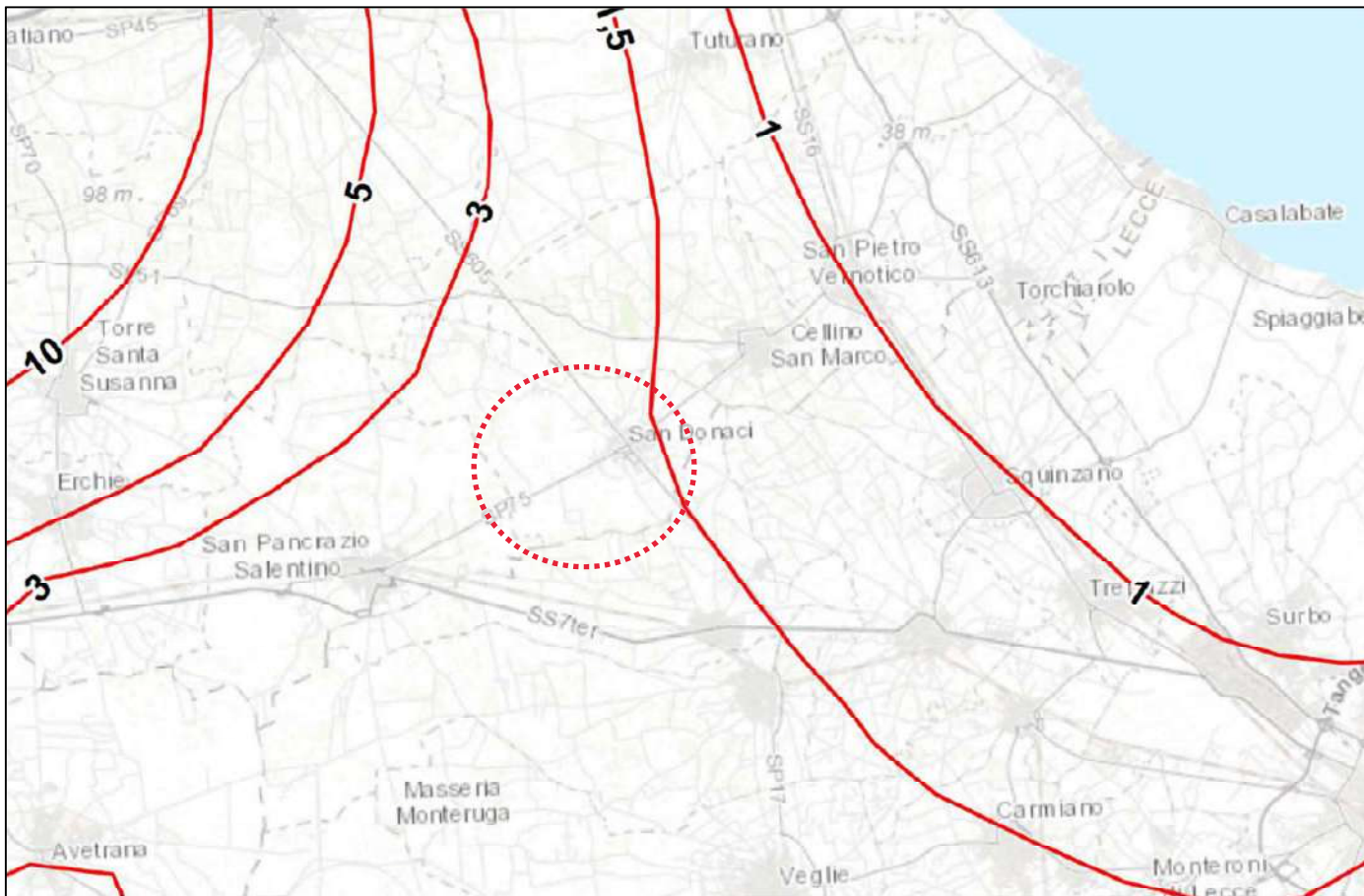



Figura 5c: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta idrogeomorfologica della Puglia su base ortofoto scala 1:10000



 Area di intervento

Legenda

Isopieziche medie (m s.l.m.)

(presunte se tratteggiate)

-  Isopiezica media (m s.l.m.) - Gargano
-  Isopiezica media (m s.l.m.) - Tavoliere
-  Isopiezica media (m s.l.m.) - Murgia e Salento

Figura 6: ubicazione dell'area in studio su stralcio Tavola "Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi" dell'Aggiornamento del PTA2015-2021 Puglia

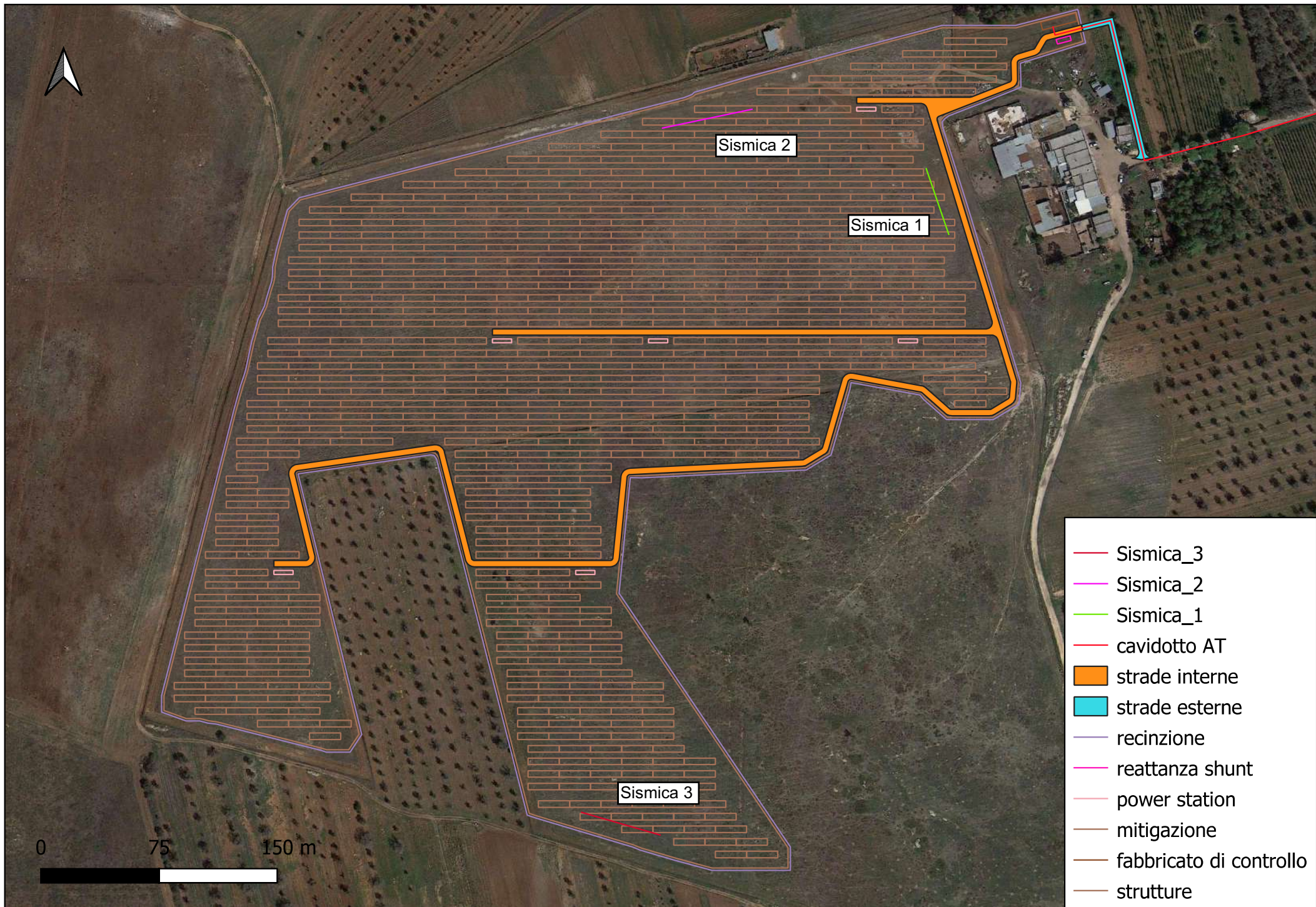


Figura 7a: ubicazione indagine sismica a rifrazione e Masw su stralcio ortofoto (fonte Google Earth)

Figura 7b: ubicazione misura HVSR su stralcio ortofoto (fonte Google Earth)



Figura 7c: ubicazione misura HVSR su stralcio ortofoto (fonte Google Earth)

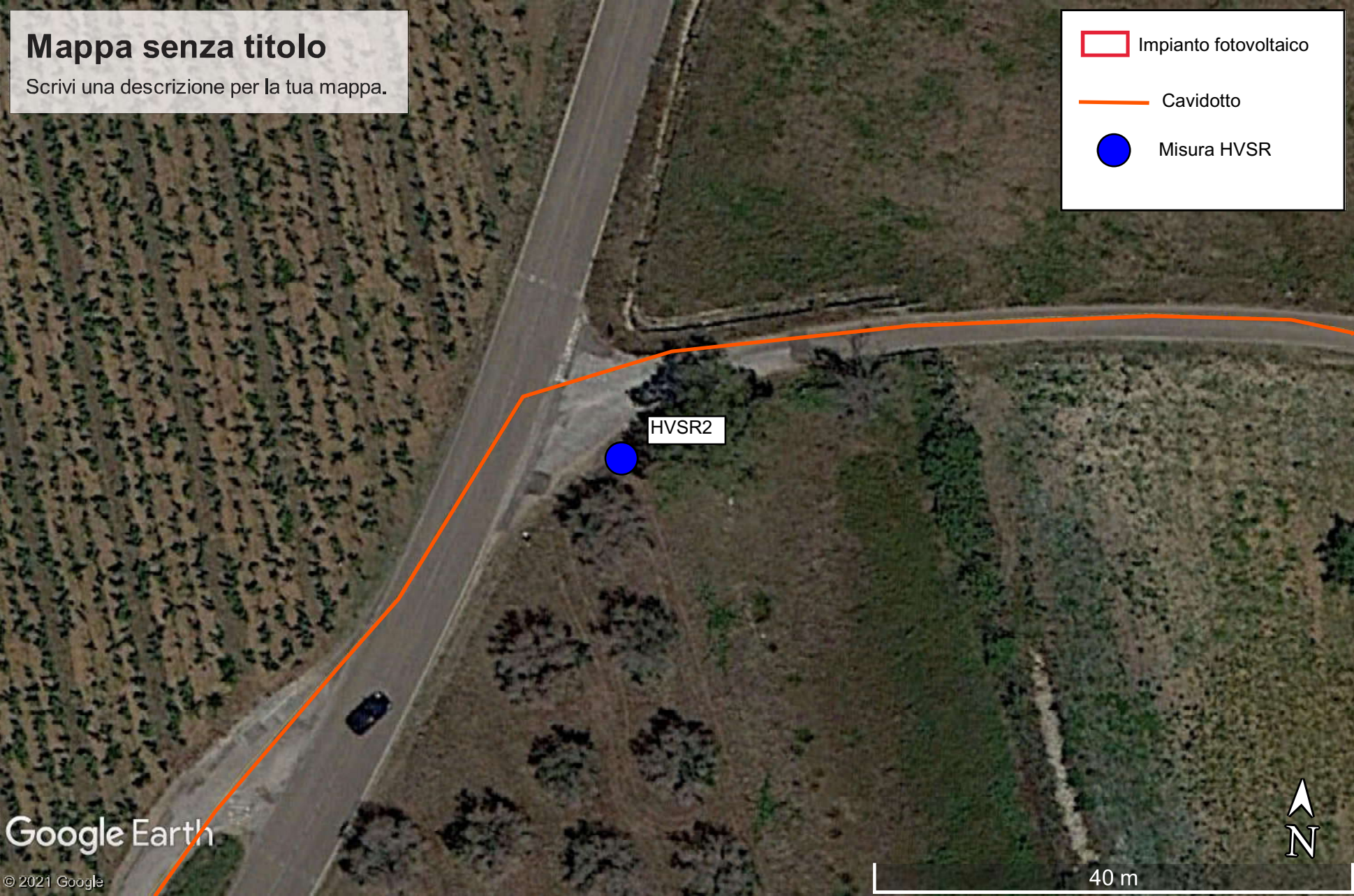
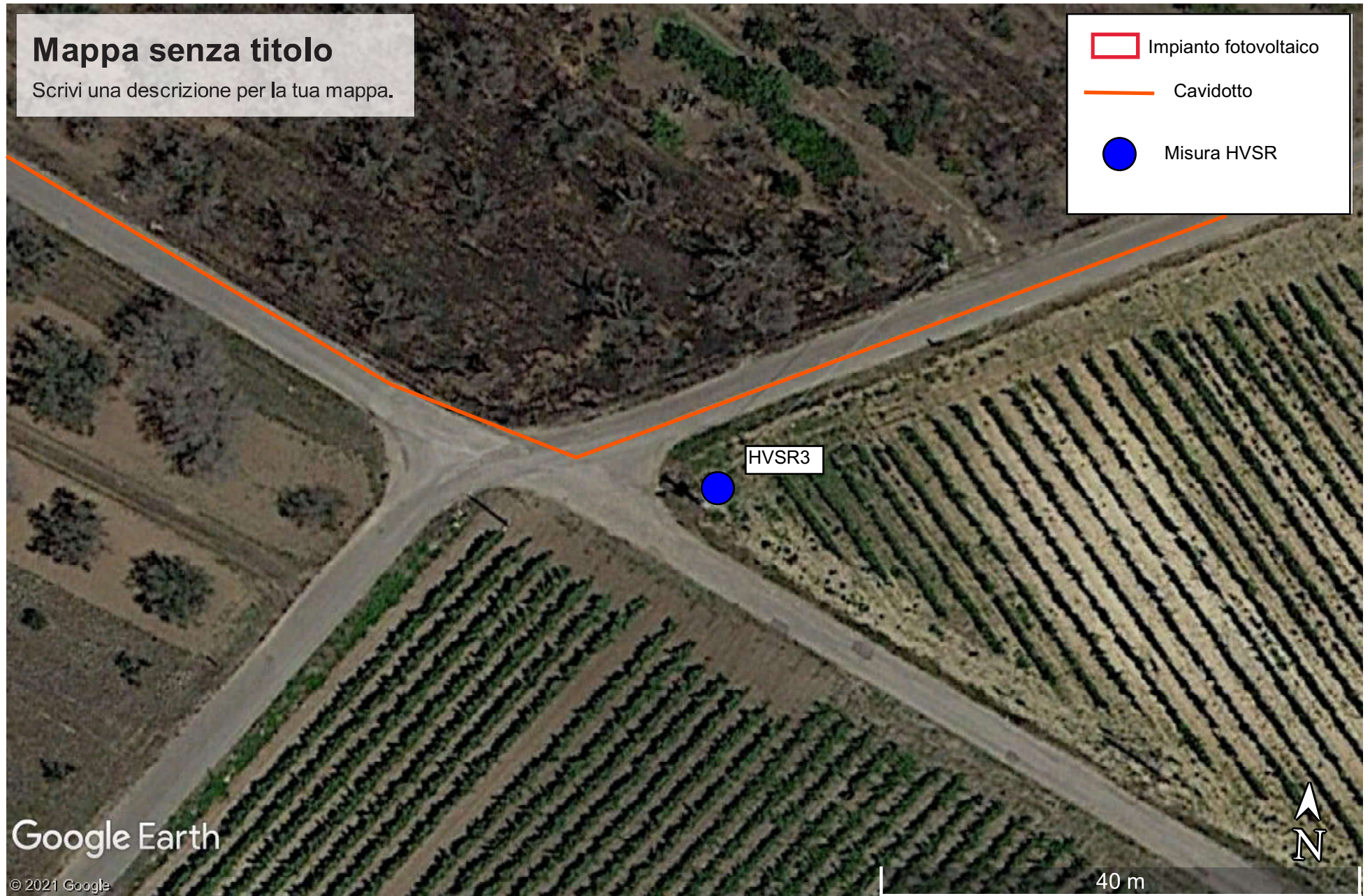


Figura 7d: ubicazione misura HVSR su stralcio ortofoto (fonte Google Earth)



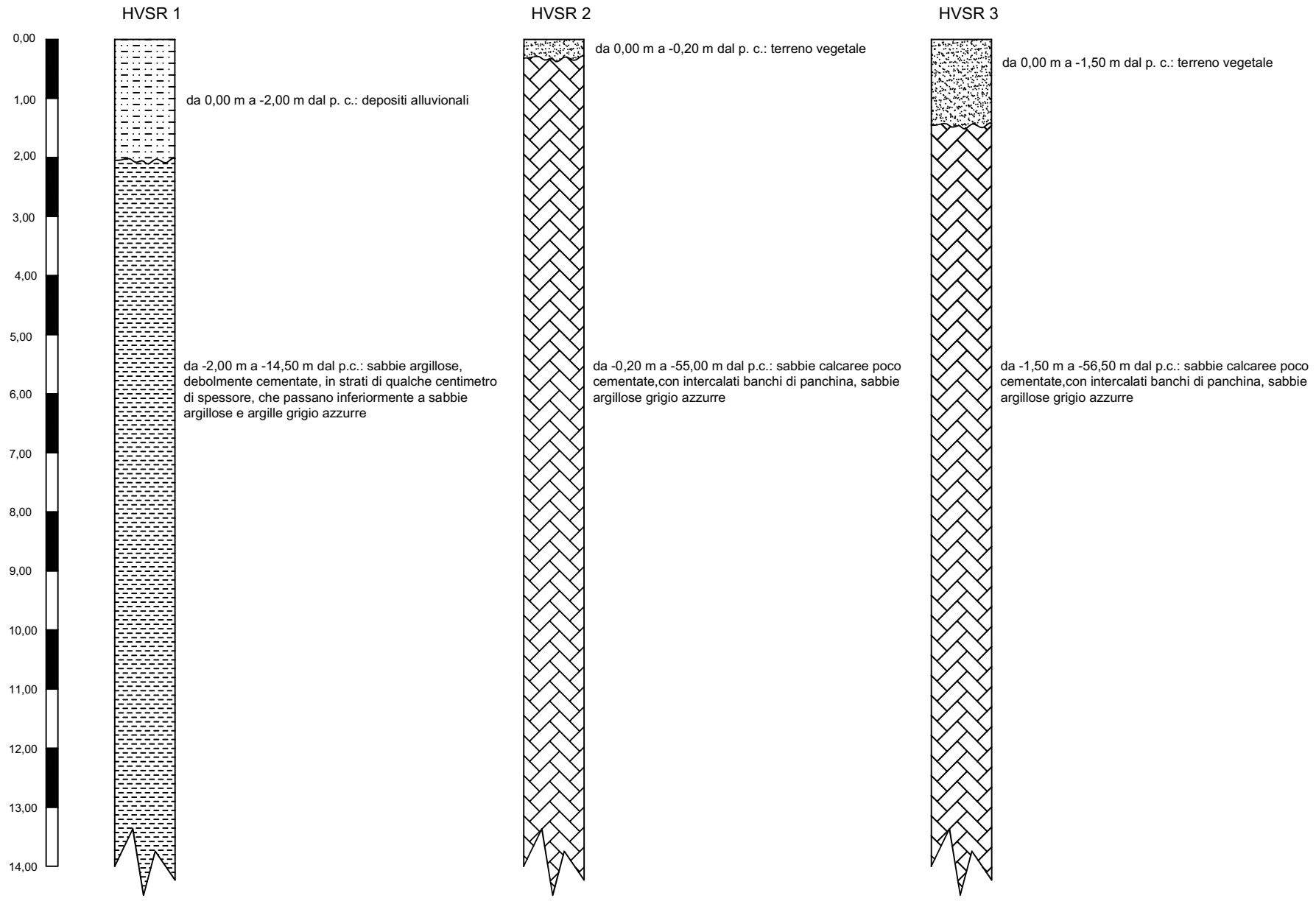


Figura 8: sezioni stratigrafiche schematiche

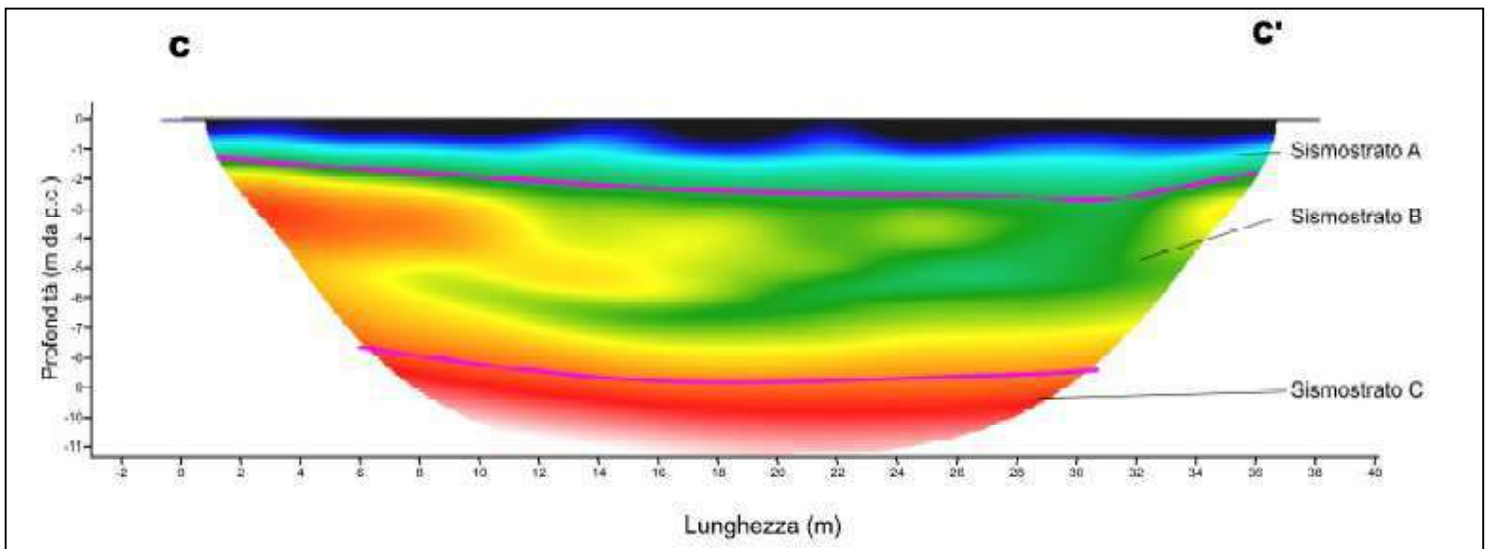
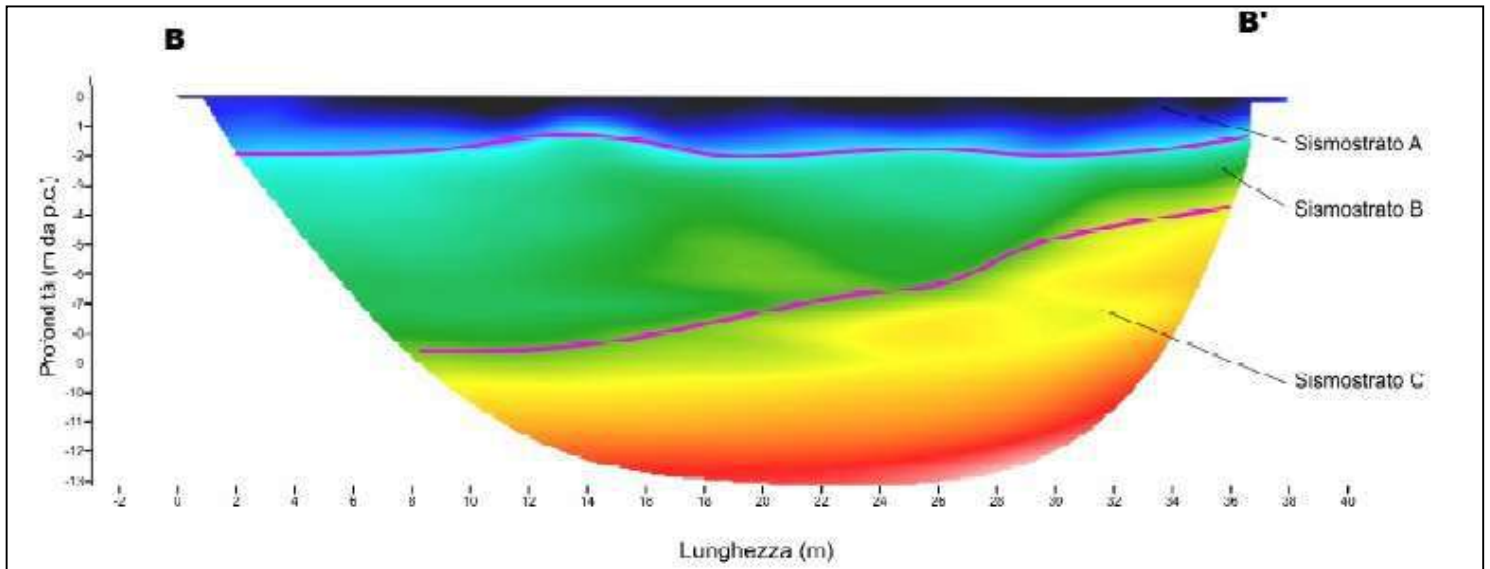
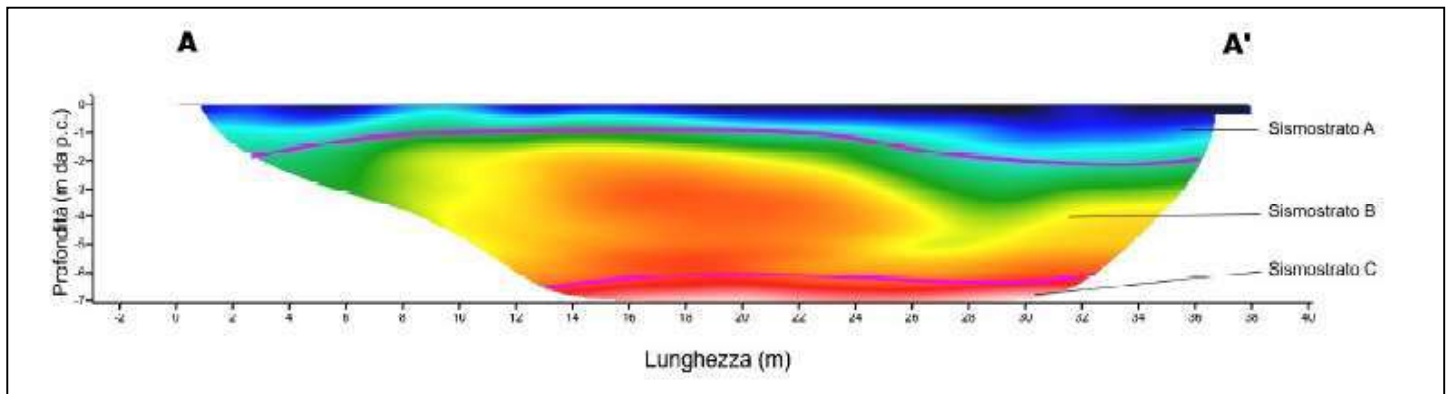


Figura 9: Interpretazione sezione tomografica del profilo AA', BB' e CC'

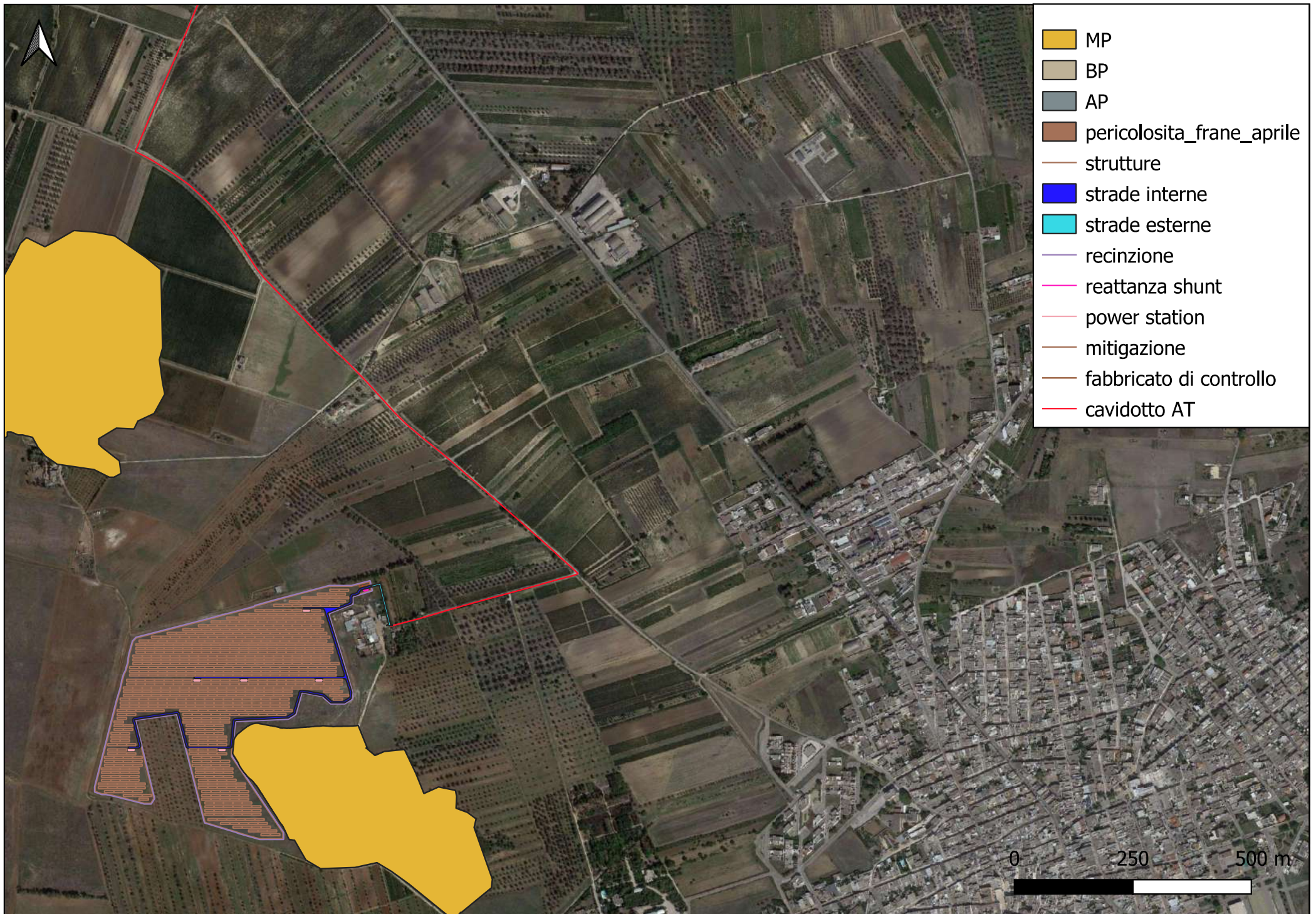


Figura 10a: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta PAI Puglia su base ortofoto scala 1:10000

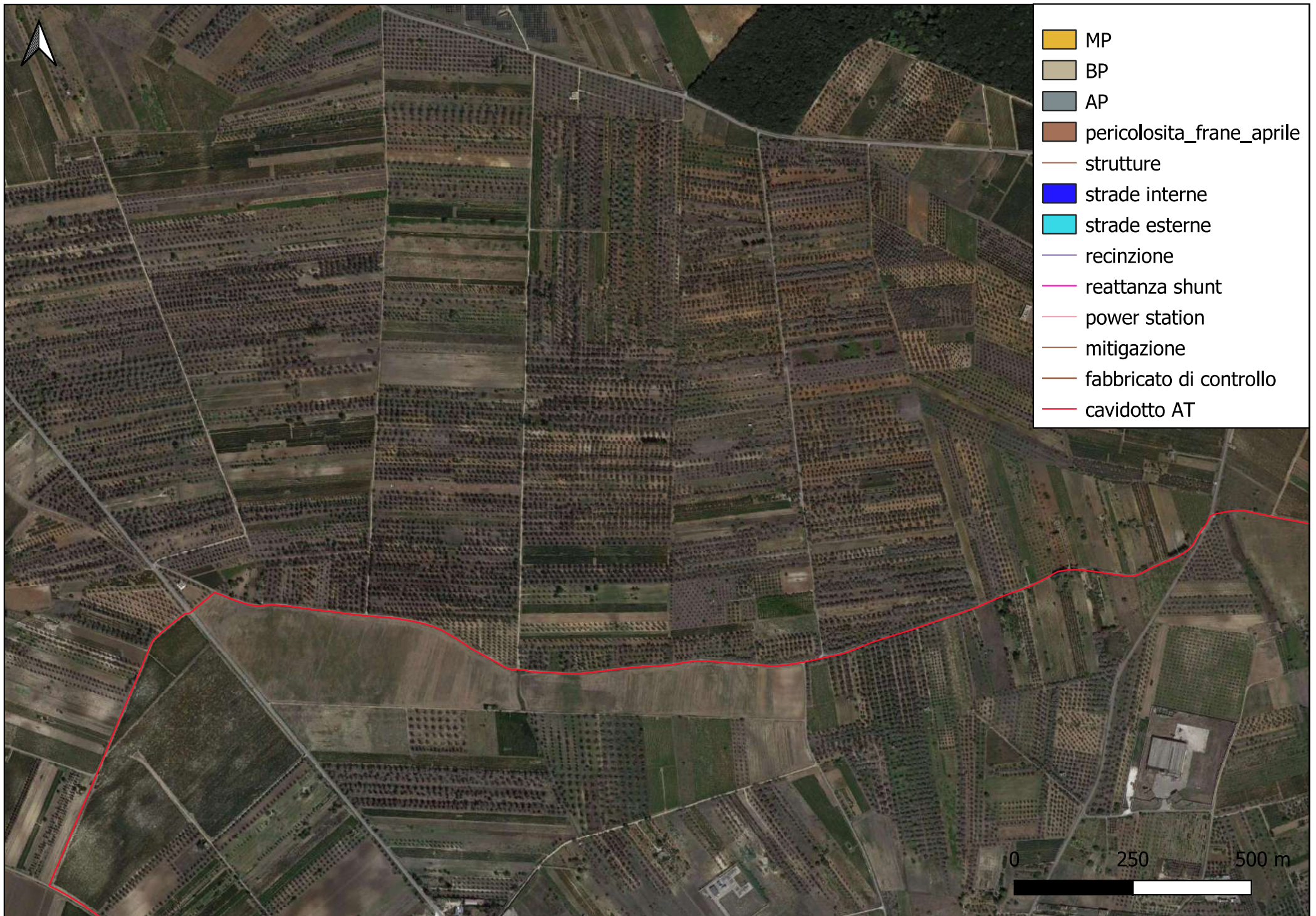


Figura 10b: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta PAI Puglia su base ortofoto scala 1:10000

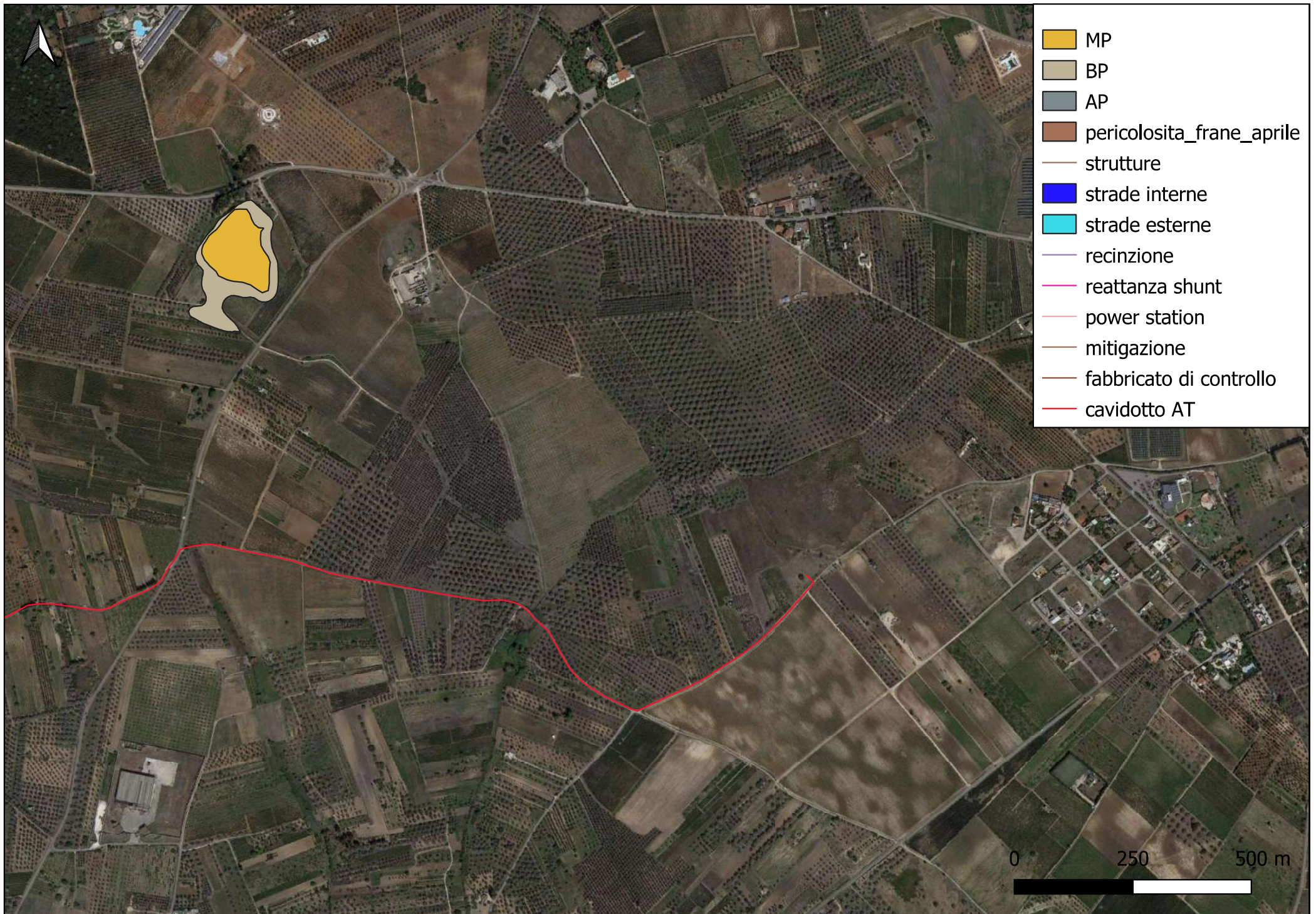


Figura 10c: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta PAI Puglia su base ortofoto scala 1:10000

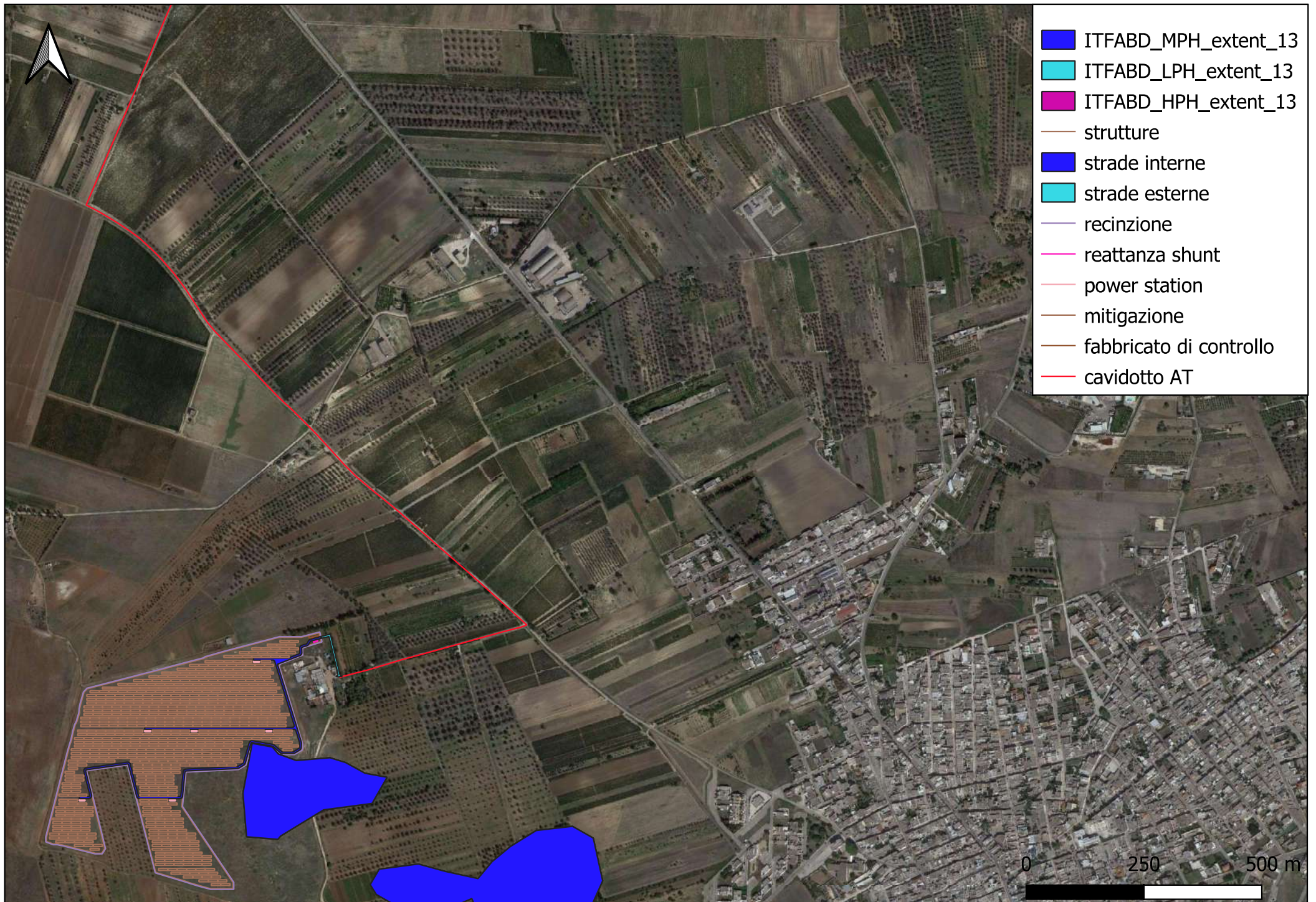


Figura 11a: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta PGRA Puglia su base ortofoto scala 1:10000

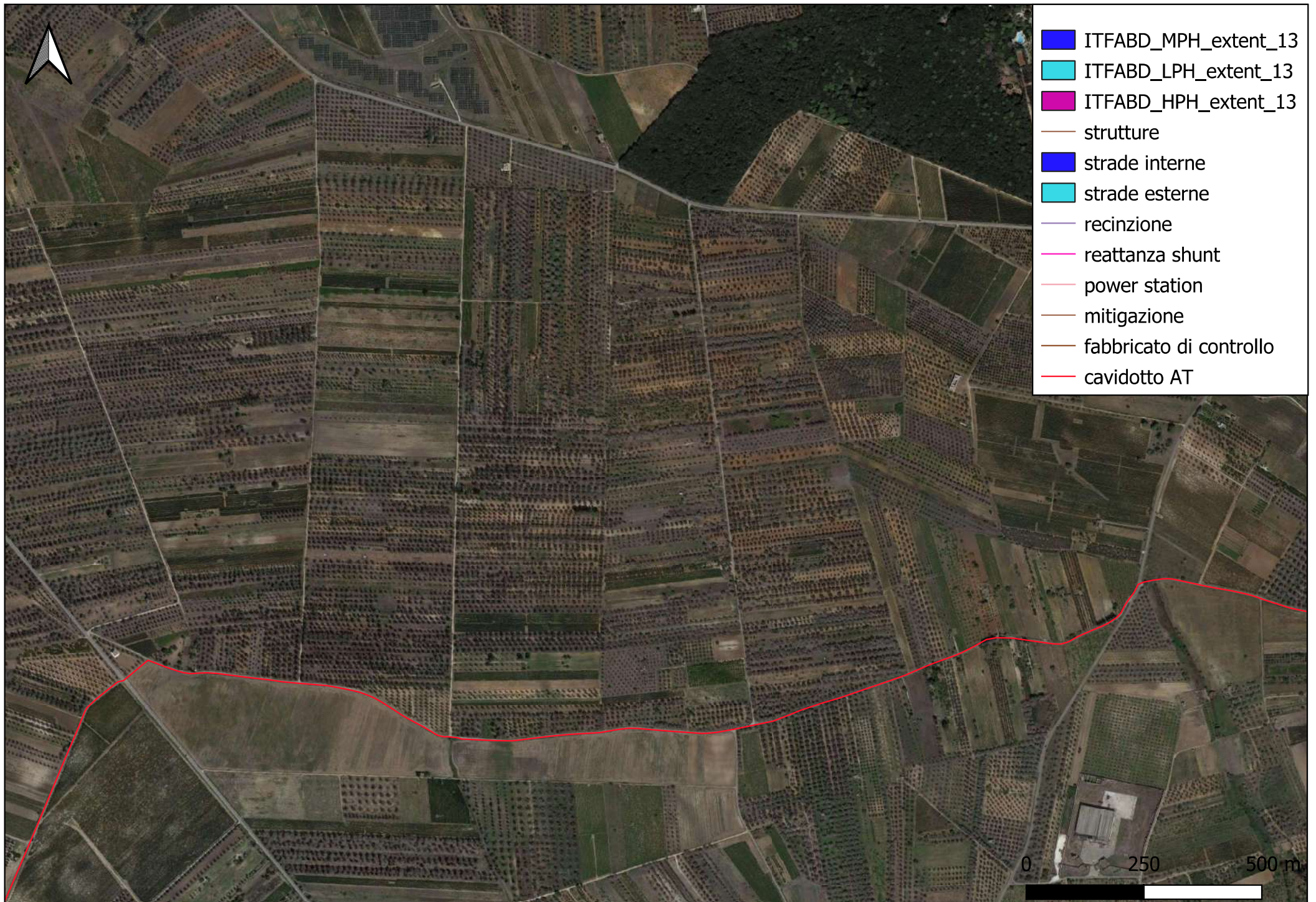


Figura 11b: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta PGRA Puglia su base ortofoto scala 1:10000

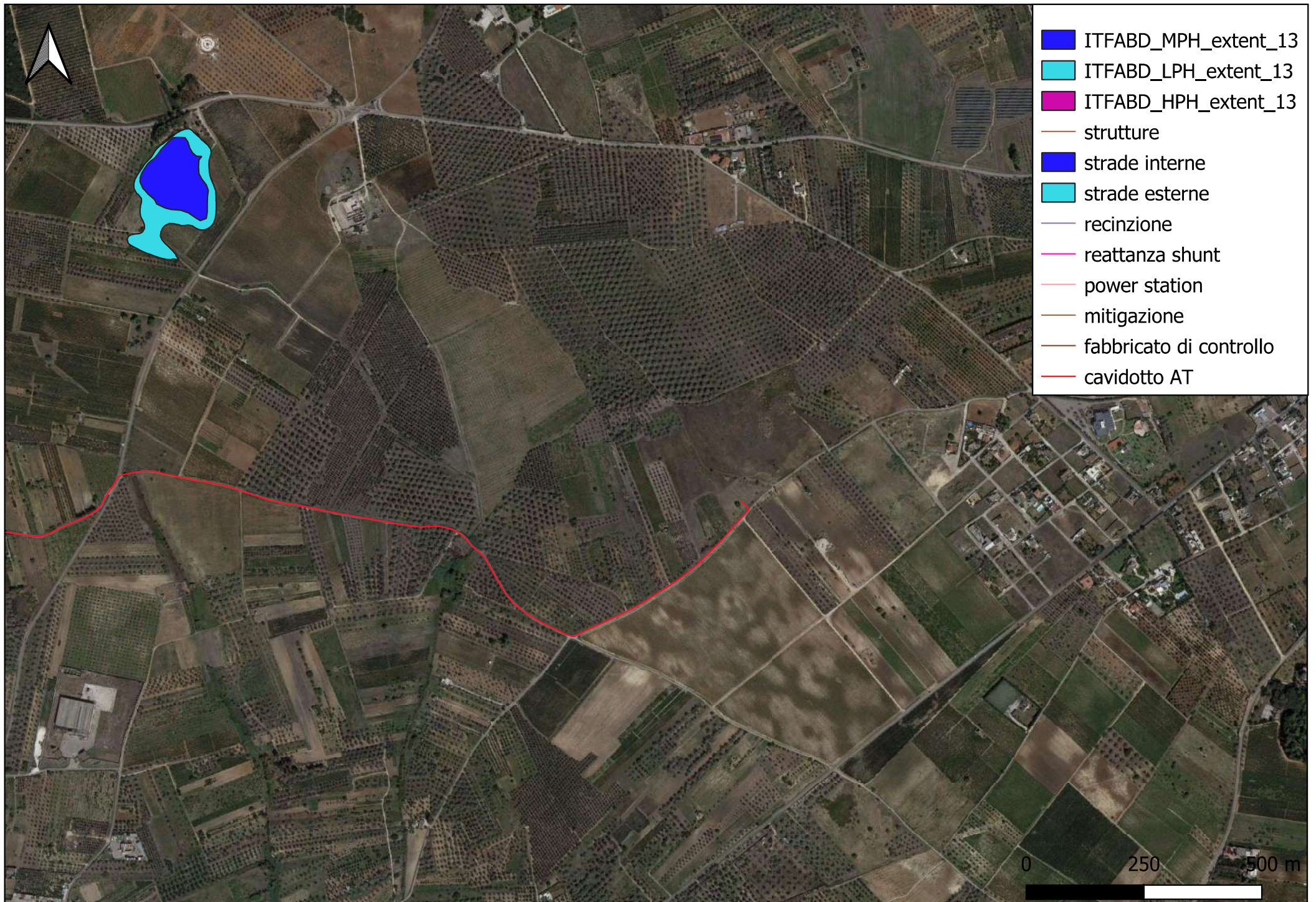


Figura 11c: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio carta PGRA Puglia su base ortofoto scala 1:10000

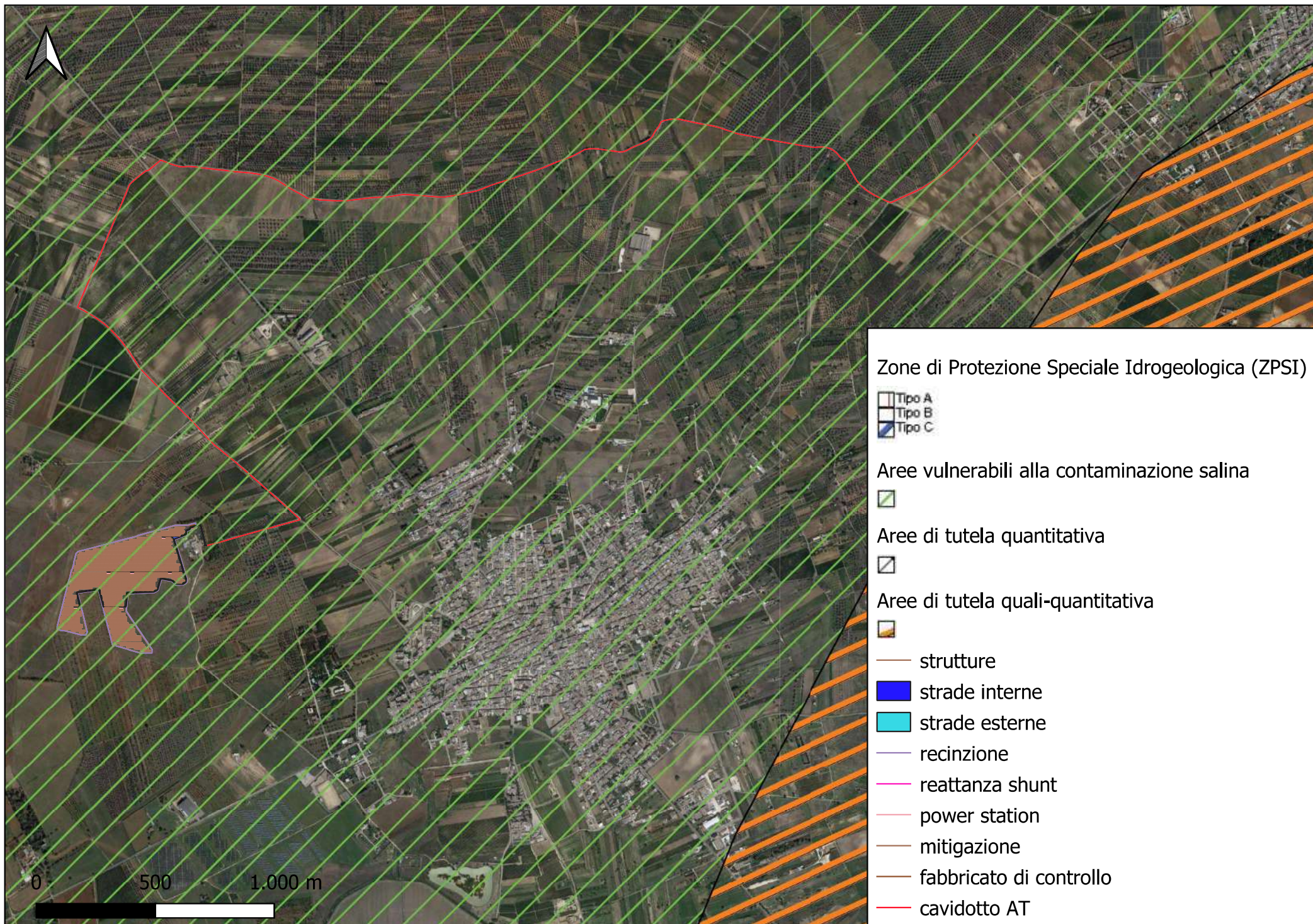


Figura 12: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio PTA Puglia su base ortofoto scala 1:20000

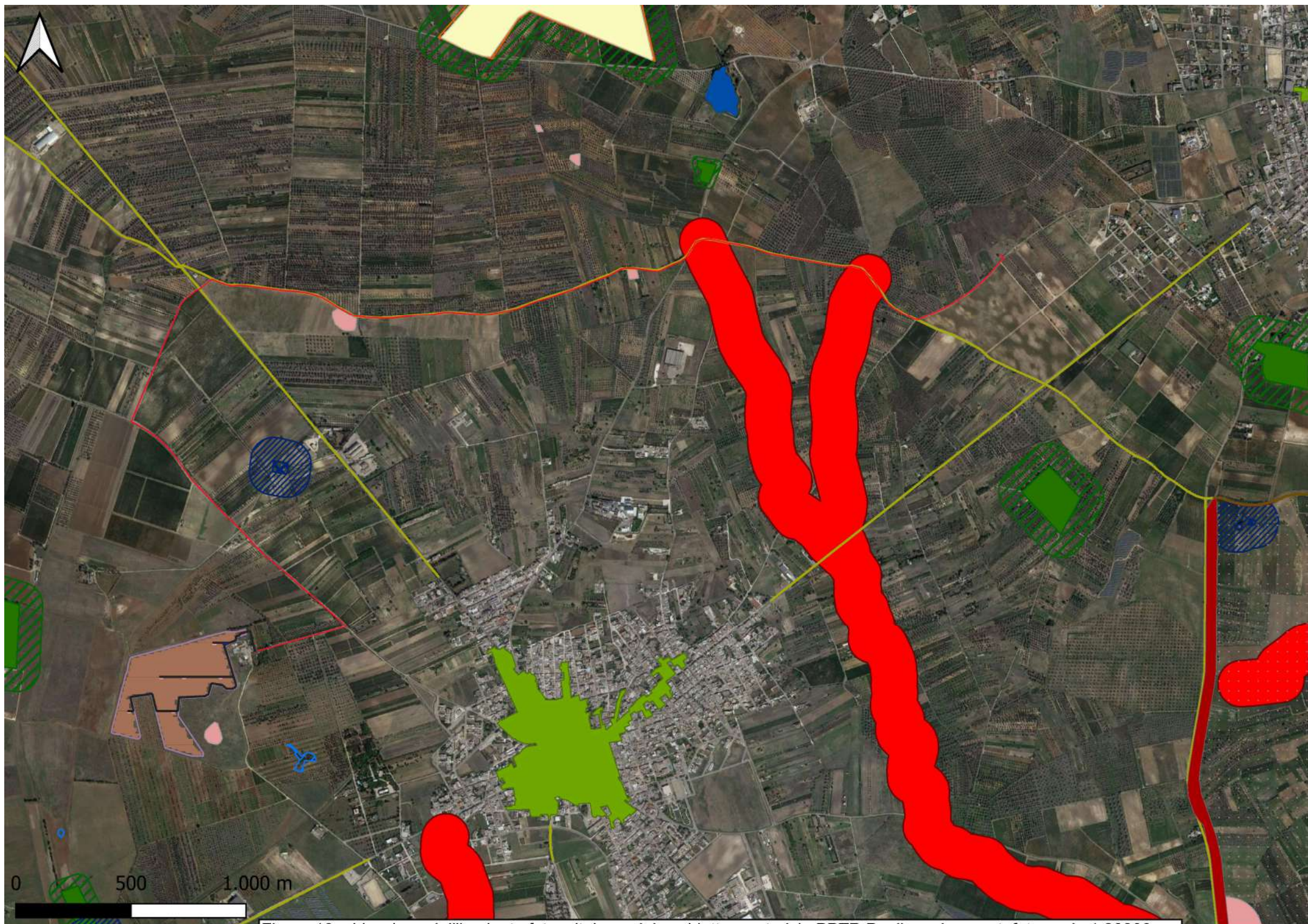


Figura 13: ubicazione dell'impianto fotovoltaico e del cavidotto su stralcio PPTR Puglia su base ortofoto scala 1:20000

 strade interne	 Citta consolidata	 Zone umide Ramsar
 strade esterne	 Zone interesse archeologico	 Boschi
 recinzione	 Siti storico culturali	 Vincolo idrogeologico
 reattanza shunt	 Rete tratturi	 Sorgenti
 power station	 Zone gravate da usi civici validate	 Reticolo idrografico di connessione della R.E.R.
 mitigazione	 Zone gravate da usi civici	 Territori costieri
 fabbricato di controllo	 Zone di interesse archeologico	 Fiumi e torrenti, acque pubbliche
 cavidotto AT	 Immobili e aree di notevole interesse pubblico	 Aree contermini ai laghi
 Strade panoramiche (poligoni)	 Siti di rilevanza naturalistica	 Versanti
 Strade panoramiche	 Aree di rispetto dei parchi e delle riserve regionali	 Lamie e gravine
 Strade a valenza paesaggistica (poligoni)	 Parchi e riserve	 Inghiottitoi
 Strade a valenza paesaggistica	 Prati e pascoli naturali	 Grotte
 Luoghi panoramici (poligoni)	 Formazioni arbustive in evoluzione naturale	 Geositi (fascia tutela)
 Luoghi panoramici	 Aree umide	 Doline
 Coni visuali	 Aree di rispetto dei boschi	 Cordoni dunari
 c - aree a rischio archeologico	 Aree di rispetto dei boschi	 strutture
 b - aree appartenenti alla rete dei tratturi		 Google Satellite
 a - siti interessati da beni storico culturali		
 Paesaggi rurali		
		

Allegato 1
Report indagine geofisica HVSr

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

Dott. Raffaele SASSONE

Via dei Mori, 22

70023 Gioia del Colle BA

Tel: 3204890266

E-mail: r.sassone@yahoo.it geolsassone@gmail.com

PEC: r.sassone@pec.epap.it

P.IVA: 06504280725

C.F.: SSS RFL 76T17 A662I

Iscritto presso l'Albo Professionale dell'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia sezione A con numero di iscrizione 664 in data

03/10/2006

COMUNE DI SAN DONACI

PROVINCIA DI BRINDISI

REGIONE PUGLIA

REPORT INDAGINI HVSR

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

COMMITTENTE: BLU STONE
RENEWABLE IV
via Vincenzo Bellini n.22
00198 Roma

Gioia del Colle, ottobre 2022

Dott. Raffaele Sassone
Via dei Mori, 22 - 70023 Gioia del Colle (BA)
e-mail: r.sassone@yahoo.it
P.IVA: 06504280725

INDICE

1. Campagna geognostica	pag. 3
2. Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR	pag. 4
3. Conclusioni	pag. 8

1. Campagna geognostica

Nell'ambito dello studio geologico per il progetto definitivo di un impianto agrivoltaico della potenza di 14,13 MWp e potenza in AC di 10,80 MW, denominato "CSPV San Donaci" da realizzare in agro di San Donaci (BR) e delle opere connesse da realizzare nel comune di Cellino San Marco (BR), è stata eseguita un'indagine geofisica al fine di determinare alcune proprietà fisiche del sottosuolo.

Nel sito indagato sono state eseguite n. 3 prove geofisiche mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Figg.1, 2 e 3 e documentazione fotografica allegata).



Figura 1: ubicazione indagine HVS1 su base ortofoto (fonte Google Earth)

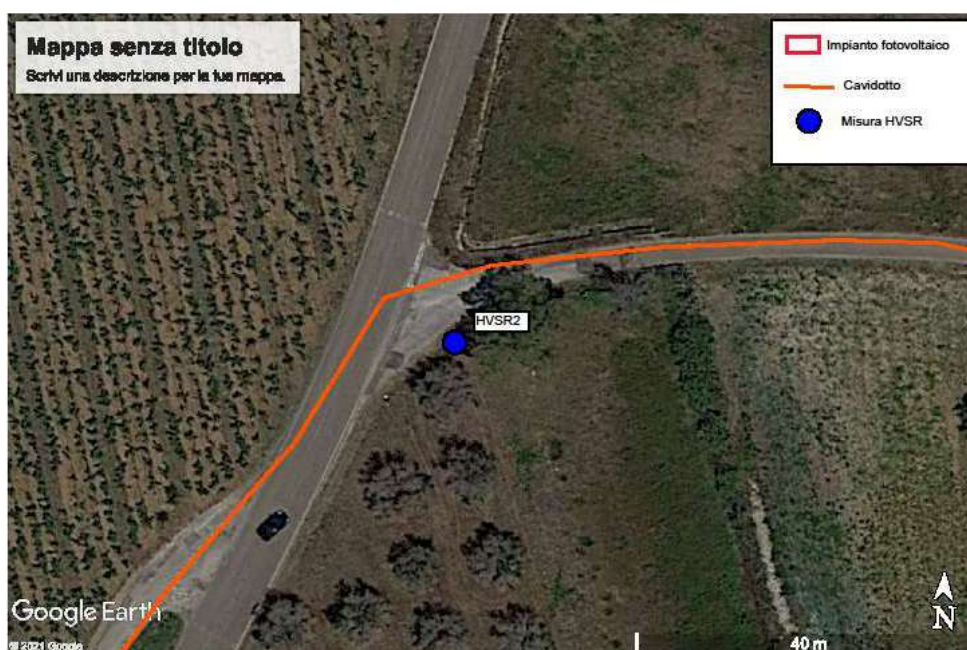


Figura 2: ubicazione indagine HVS2 su base ortofoto (fonte Google Earth)



Figura 3: ubicazione indagine HVS3 su base ortofoto (fonte Google Earth)

2. Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVS

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico).

Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{seq}) come esplicitamente richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. L'indagine geofisica proposta si avvale metodologica basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

2.1 Cenni storici

La tecnica dei rapporti spettrali o HVS (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosa per la stabilità degli stessi;
- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo.
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagini compreso tra 0,5 e 700m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

- dalla forma d'onda prodotta dalla sorgente s;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

segnale registrato al sito x = sorgente x effetti di percorso x funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazioni di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

2.2 Strumenti e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultraleggeri e ultracompatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 512 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico. I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.

in fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

- il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (30 minuti);
- la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
- per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
- per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
- vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde Rayleigh è necessario che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statico adeguato;
- gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
- la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi. Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde V_s . Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H/V=1$) con quello effettivamente misurato in superficie. La rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel campo del tempo che delle frequenze. Per capire la procedura per il calcolo del moto sismico in superficie analizziamo un caso semplificato di un deposito di terreno omogeneo di spessore H , poggiante su di un basamento roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale. Se le onde di taglio verticali incidenti sono sinusoidali di frequenza f , l'accelerazione sull'affioramento rigido è una sinusoidale di frequenza f e ampiezza a_{maxr} mentre la corrispondente accelerazione alla superficie del deposito, anch'essa sinusoidale di frequenza f , ha ampiezza paria a a_{maxs} . Il rapporto a_{maxr}/a_{maxs} prende il nome di fattore di amplificazione, A , e dipende dalla frequenza dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto $I = (dbV_b)/(dsV_s)$ tra l'impedenza sismica della roccia di base dbV_b e quella del deposito dsV_s . La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ del deposito. Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1/T_n = (V_s \times (2n-1)) / (4 \times H) \text{ con } n = 1, 2, \dots \quad (3.1)$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito f_1 , denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1/T_1 = V_s/4H \quad (3.2).$$

È quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “doppia risonanza”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose. Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (*site effects assessment using ambient excitations*) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati. In un'apposita tabella verranno evidenziati i risultati di detti criteri. Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde V_s è necessario adottare una modellazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$V_s = H / \sum h_i / v_i$$

V_s = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

H = profondità alla quale si desidera stimare V_s

h_i = spessore dello strato i -esimo.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano una serie di esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure H/V a stazione singola. In tutti i siti descritti, la stratigrafia è nota da sondaggi e prove penetrometriche e il profilo V_s è ricavato anche con metodi alternativi.

Tipo di suolo	V_s min (m/s)	V_s media (m/s)	V_s max (m/s)
Rocce molto dure (es. rocce metamorfiche molto-poco fratturate)	1400	1620	-
Rocce dure (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
Suoli Ghiaiosi e rocce da tenere a dure (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
Argille compatte e suoli sabbiosi – ghiaiosi (es. ghiaie e suoli con <20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
Terreni teneri (es. terreni di riempimento sottofalda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

2.3 Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione consente sia di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo. Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità (m) dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

2.4 Acquisizione sismica HVSR 1

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	220
14.50	12.50	360
62.50	48.00	650
inf.	inf.	900

$$V_{seq} = V_{S(0.0-30.0)} = 443 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR sono stati individuati 4 sismostrati: il primo con spessore di circa 2,00 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 220 m/s è riferibile a deposito limo sabbiosi o limo argillosi; il secondo con spessore di circa 12,00 m ed avente Vs pari a 360 è riferibile a sabbie argillose poco addensate; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 650 m/s è riferibile a sabbie ben addensate. Infine il quarto ed ultimo sismostrato, caratterizzato da una Vs pari a 900 m/s è riferibile a rocce calcaree variamente fratturate.

2.5 Acquisizione sismica HVSR 2

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
55.00	55.00	440
inf.	inf.	900

$$V_{seq} = V_{S(0.0-30.0)} = 440 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR sono stati individuati 2 sismostrati: il primo con spessore di circa 55,00 m e Vs pari a 4400 m/s è riferibile a sabbie ben addensate; il secondo, caratterizzato da una Vs pari a 900 m/s è riferibile a rocce calcaree variamente fratturate.

2.6 Acquisizione sismica HVSR 3

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	190
56.50	55.00	440
inf.	inf.	1000

$$V_{seq} = V_{S(0.0-30.0)} = 413 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR sono stati individuati 3 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,50 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 190 m/s è riferibile a terreno vegetale; il secondo sismostrato individuato avente Vs pari a 440 m/s e spessore pari a 55,00 m è riferibile a sabbie ben addensate. Infine il quarto ed ultimo sismostrato, caratterizzato da una Vs pari a 1000 m/s è riferibile a rocce calcaree variamente fratturate.

3. Conclusioni

Per le indagini HVSR è stato eseguito il calcolo del parametro V_{s30} essendo il bedrock più profondo di 30 m dal p.c. (DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»).

Dall'analisi delle indagini HVSR 1, 2 e 3 è possibile stimare il parametro V_{s30} , che rappresenta il valore medio di velocità di propagazione delle onde trasversali nei primi 30 metri di sottosuolo. Tale parametro assume un valore

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

medio pari a 432 m/s, inserendo il terreno di fondazione in categoria *B* – *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



misura HVSr 1



misura HVSr 2

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PRODUZIONI AGRICOLE, DELLA POTENZA IN DC DI 14,13 MWp E POTENZA IN AC DI 10,80 MW, DENOMINATO "CSPV SAN DONACI" SITO NEL COMUNE DI SAN DONACI (BR) ZONA MASSERIA MARIANA ED OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)



misura HVSr 3

IMPIANTO_FOTOVOLTAICO_SAN_DONACI, 1

Strumento: TRZ-0106/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/01/00 00:00:37 Fine registrazione: 01/01/00 00:30:38

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 07% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

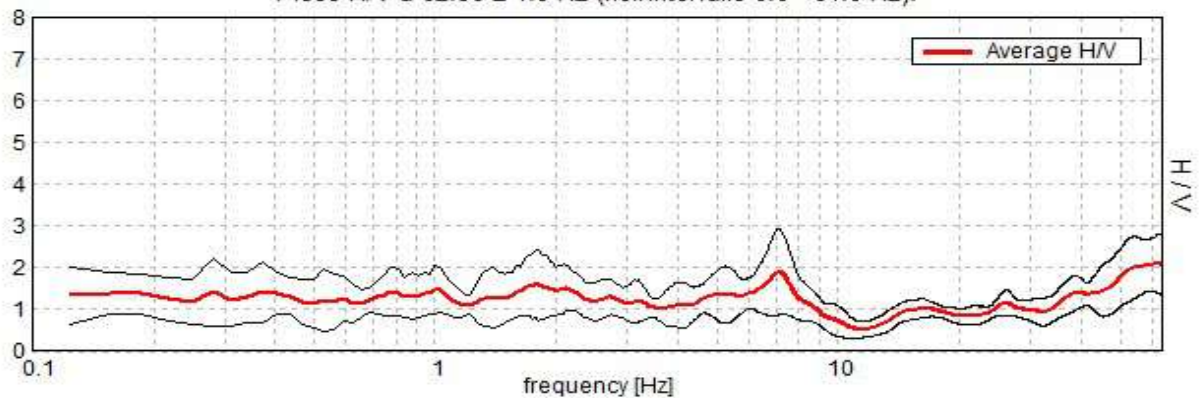
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

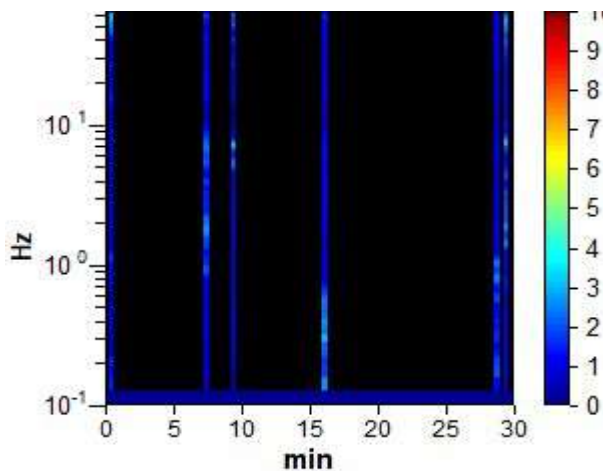
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

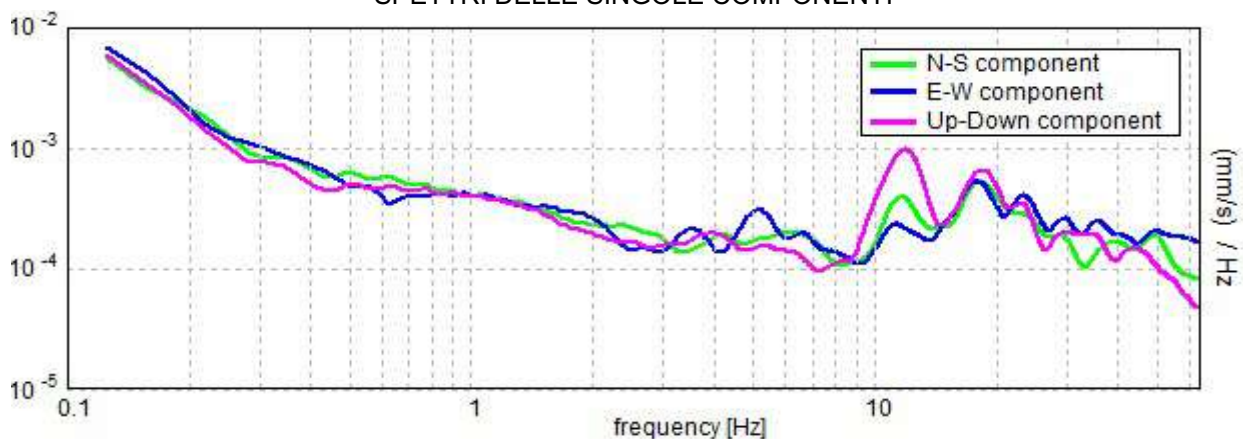
Picco H/V a 62.56 ± 1.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



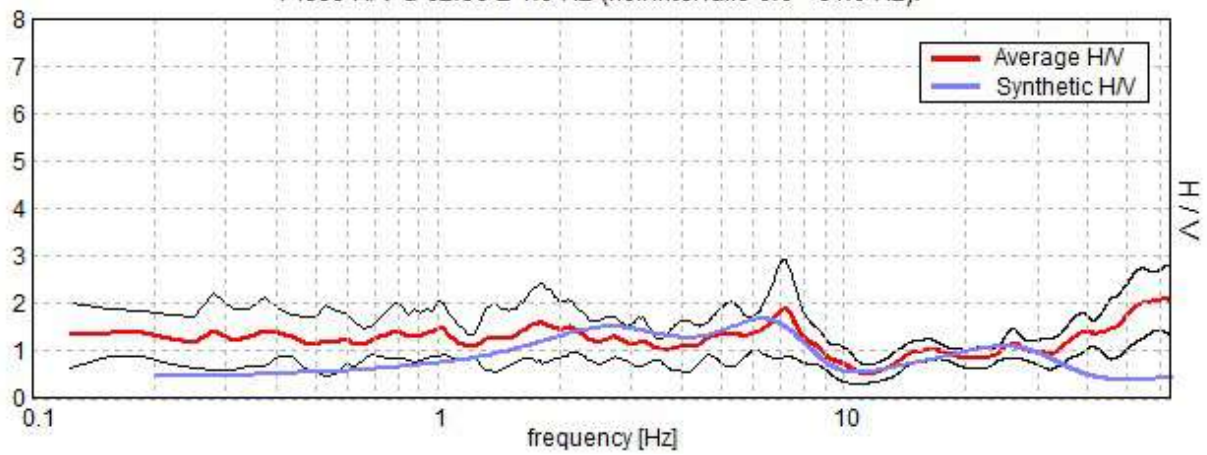
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

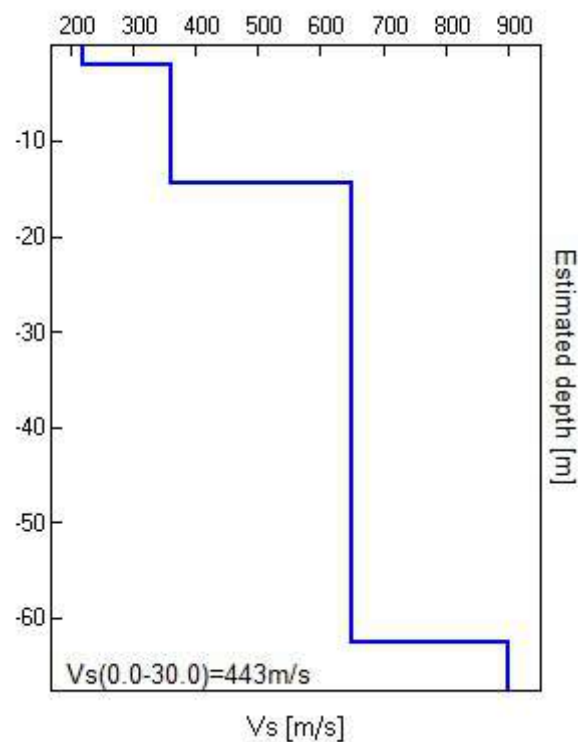


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
Picco H/V a 62.56 ± 1.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	220	0.42
14.50	12.50	360	0.42
62.50	48.00	650	0.42
inf.	inf.	900	0.42

$$V_{seq} = V_{s(0.0-30.0)} = 443 \text{ m/s}$$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 62.56 ± 1.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$62.56 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7507.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1048	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	34.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.10 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01601 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.00163 < 3.12813$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7142 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

IMPIANTO FOTOVOLTAICO_SAN_DONACI, 2

Strumento: TRZ-0106/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/01/00 00:00:36 Fine registrazione: 01/01/00 00:30:37

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 49% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

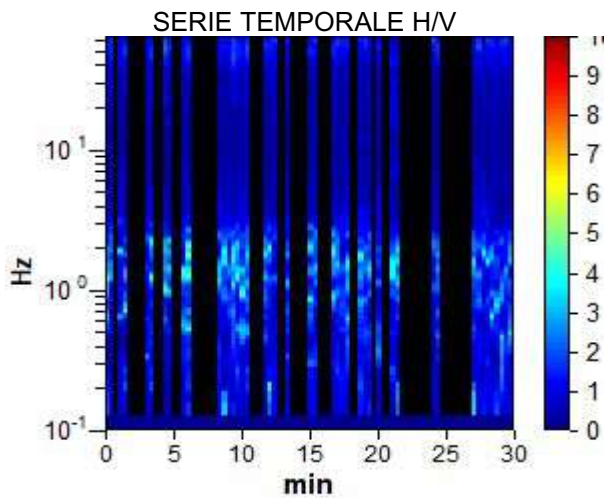
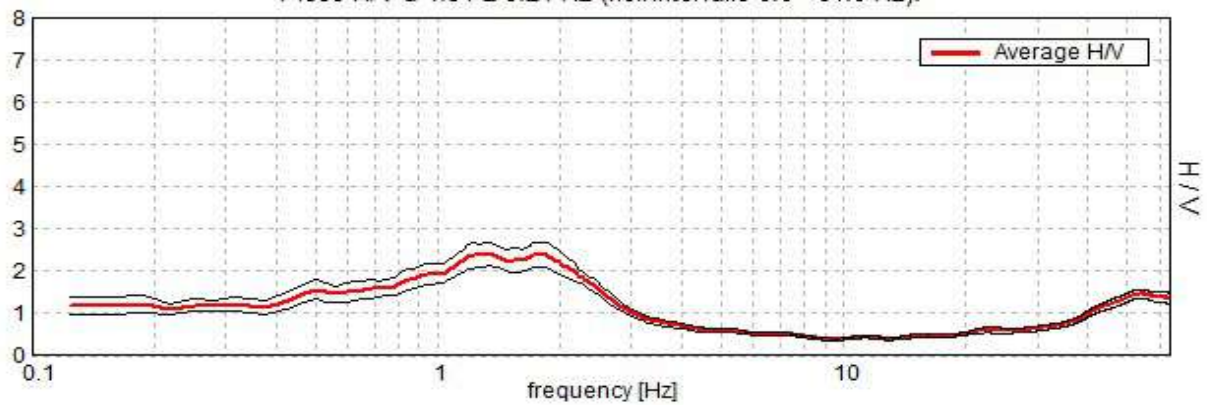
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

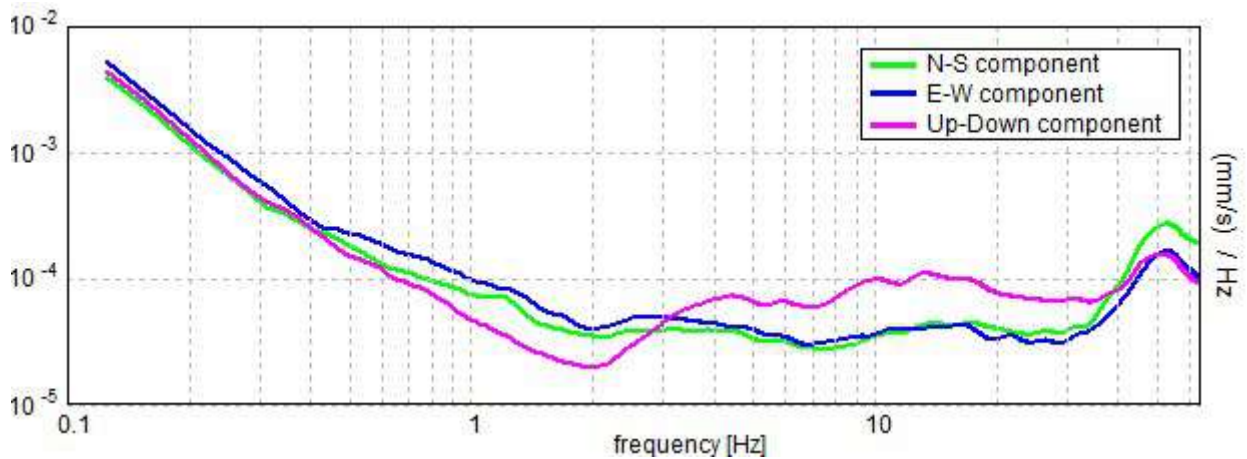
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

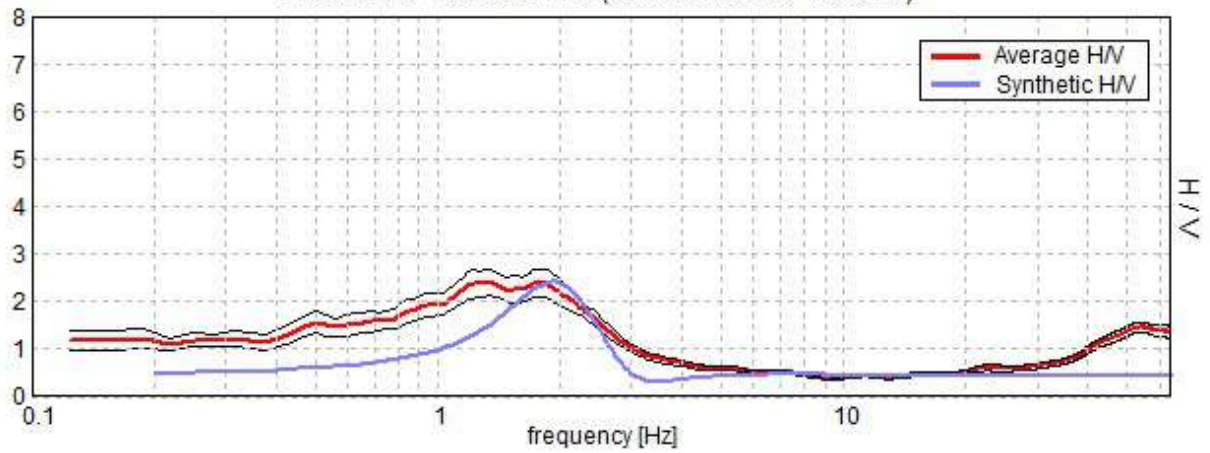
Picco H/V a 1.34 ± 0.21 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

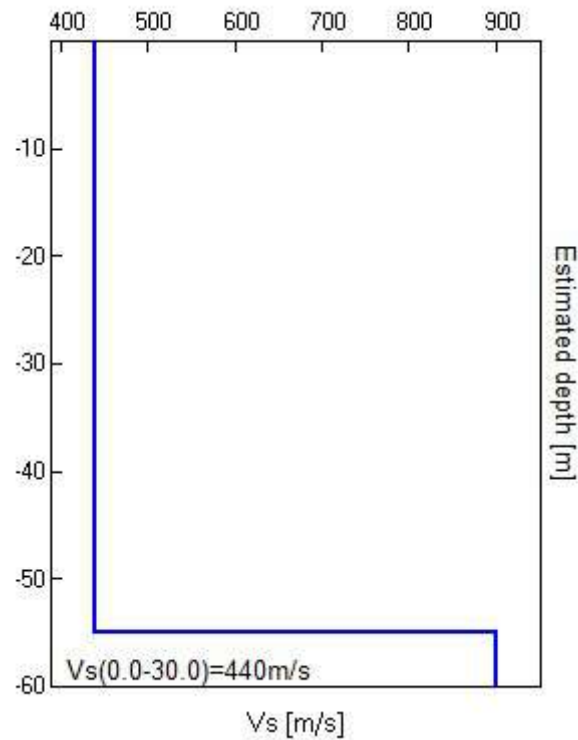


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
Picco H/V a 1.34 ± 0.21 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
55.00	55.00	440	0.42
inf.	inf.	900	0.42

$$V_{s_{eq}} = V_{s(0.0-30.0)} = 440 \text{ m/s}$$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente.**]

Picco H/V a 1.34 ± 0.21 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.34 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1182.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 66	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.39 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1573 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21137 < 0.13438$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2703 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

IMPIANTO_FOTOVOLTAICO_SAN_DONACI, 3

Strumento: TRZ-0106/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/01/00 00:00:36 Fine registrazione: 01/01/00 00:30:37

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

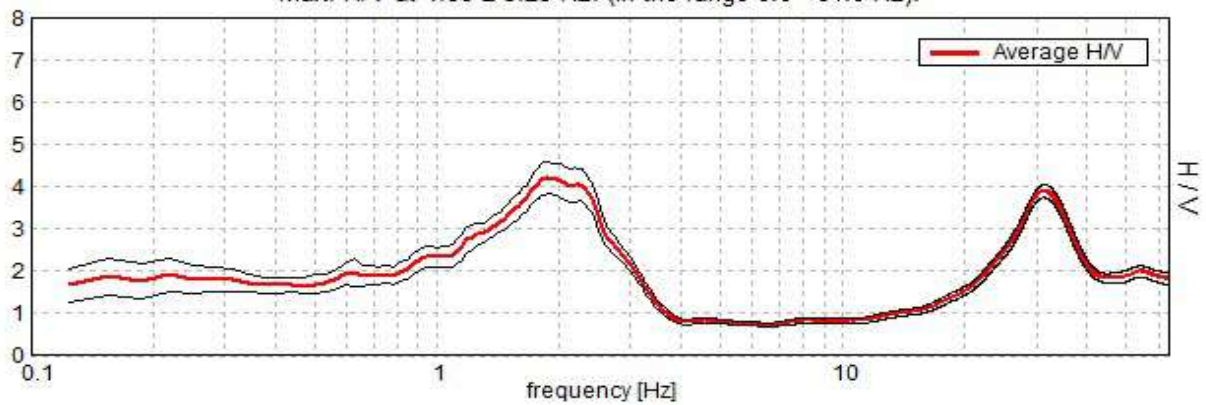
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

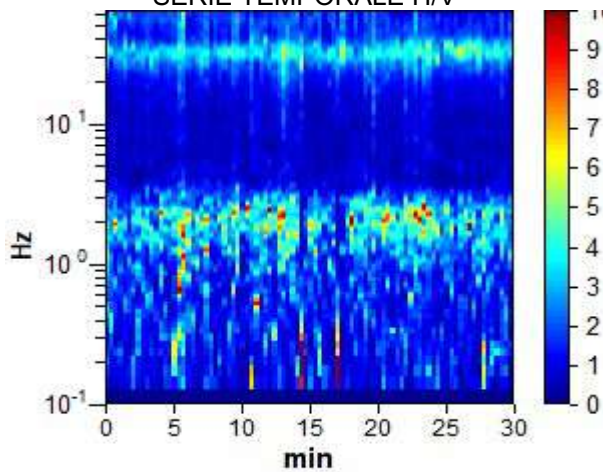
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

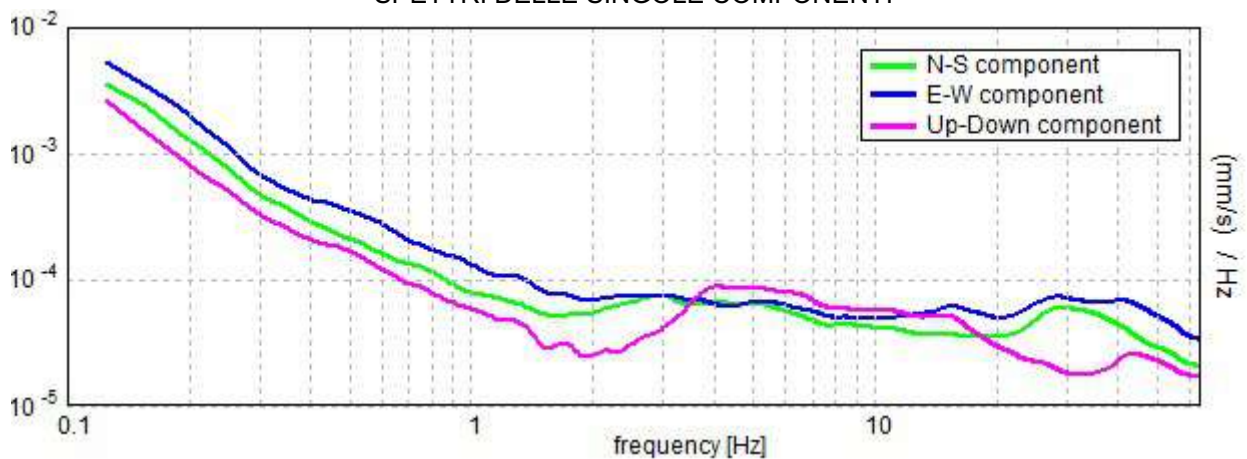
Max. H/V at 1.88 ± 3.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



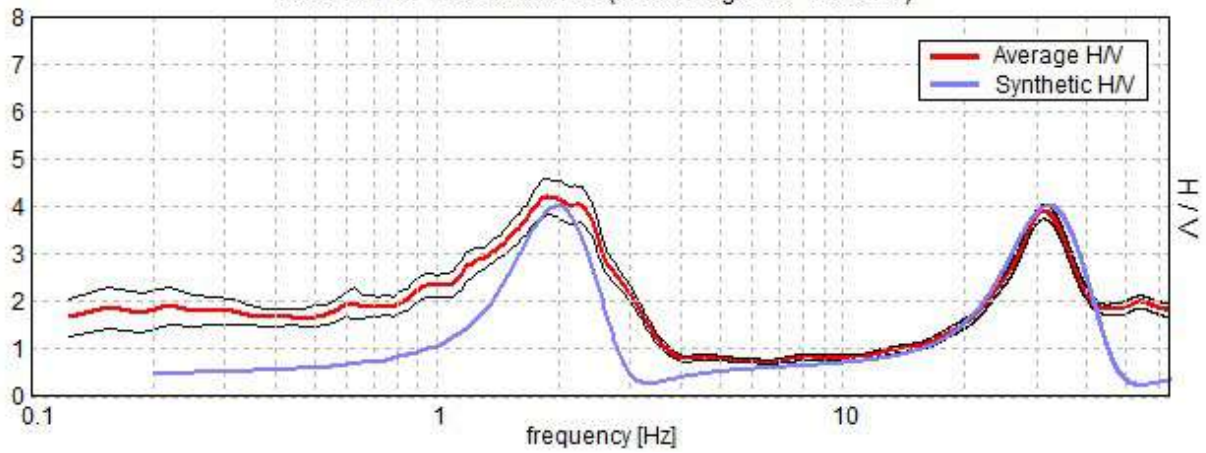
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

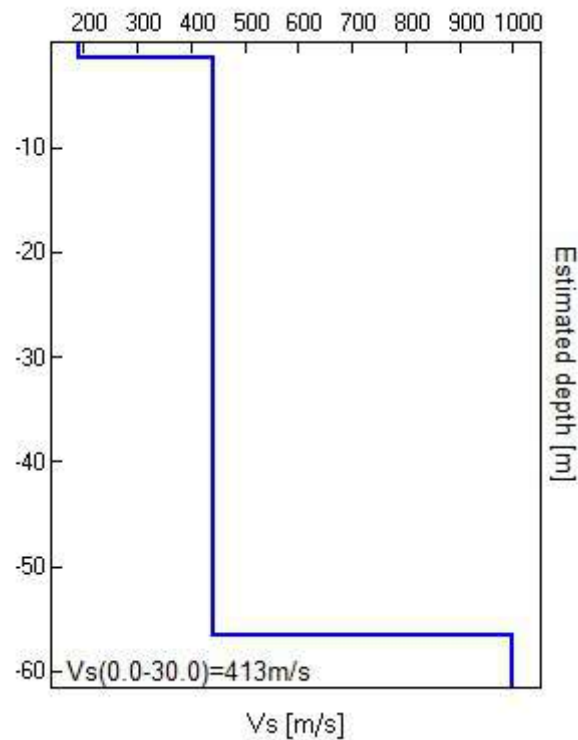


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
Max. H/V at 1.88 ± 3.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.50	1.50	190	0.42
56.50	55.00	440	0.42
inf.	inf.	1000	0.42

$$V_{seq} = V_{s(0.0-30.0)} = 413 \text{ m/s}$$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 1.88 ± 3.25 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3375.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 91	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.844 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.063 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.21 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.7347 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.25257 < 0.1875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3793 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Allegato 2
Report della prospezione geofisica



GEOMONITEK SRL

INDAGINI GEOFISICHE E IDROGEOLOGICHE
MONITORAGGIO STRUTTURALE E GEOMECCANICO

COMUNE DI SAN DONACI

PROVINCIA DI BRINDISI

Elaborato

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

REDATTO

VERIFICATO

REVISIONE

GEOL. DE GIORGIO

GEOL. GIGANTE

A

COMMITTENTE:

Geol. Sassone Raffaele

Via dei Mori, 22

Gioia del Colle (BA)

EMISSIONE

CODICE ELABORATO

CODICE ARCHIVIAZIONE FILE

19.03.2021

GMT_RGF006_190321

GMT_RGF006_190321.pdf

GEOMONITEK SRL

Sede legale: Corso Trieste e Trento, 112 - 70011 Alberobello (BA) - Italia – P.IVA 07316560726

Tel. 0804322730 - e-mail: info@geomonitek.com - www.geomonitek.com

Indice

1. PREMESSA	2
2. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
2.1 IL METODO DELLA SISMICA A RIFRAZIONE.....	3
2.2 METODO MASW	3
2.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
3. ATTIVITÀ DI CAMPO	5
4. ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE	6
4.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	6
4.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	8
4.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	10
5. ANALISI MASW	12
5.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	12
5.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	15
5.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	18
6. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE	21
7. CARATTERIZZAZIONE ELASTICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	22
8. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	23

1. PREMESSA

Il presente report riferisce sulle risultanze di indagini geognostiche di tipo indiretto condotte in data 12.03.2021 dalla Società GEOMONITEK S.r.l., finalizzate alla caratterizzazione geofisica del sottosuolo per la progettazione di un parco fotovoltaico nel Comune di San Donaci (BR).

L'incarico è stato affidato a questa Società dal Geologo Raffaele Sassone.

L'indagine in loco è consistita nelle seguenti acquisizioni:

- realizzazione di n.3 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA', BB', CC'), ubicati come da planimetria inserita in relazione, con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P;
- esecuzione di n.3 prospezioni sismiche con metodo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) sulla stessa traccia dei rilievi sismici a rifrazione AA', BB', CC', al fine di ottenere il profilo verticale delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica dell'allineamento.

Le tipologie di rilievo condotte sul terreno e le ubicazioni corrispondenti sono state indicate dalla DD.LL., in maniera tale da investigare le aree di interesse compatibilmente con gli spazi fisici a disposizione.

Si sottolinea che l'indagine sismica consente di valutare le risposte fisico-elastiche dell'ammasso roccioso indagato e l'individuazione di superfici di discontinuità fisiche laterali e/o verticali in termini di passaggi di velocità nelle onde elastiche lungo i profili nel sottosuolo.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito, come detto in premessa, è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale caratterizzata dalla combinazione tra la tecnica di sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali (o onde P) e il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW che permette di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali.

2.1 Il metodo della sismica a rifrazione

La prospezione sismica è un'indagine indiretta, che si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche generate in superficie. Tali perturbazioni sono generalmente provocate da vibrazioni impresse al terreno con mezzi meccanici o da esplosioni. Le discontinuità ricercate mediante la prospezione sono di natura fisico-elastica e pertanto la ricostruzione della geometria e natura del sottosuolo possono essere legate sia a reali variazioni litologiche sia a variazioni rinvenibili nell'ambito di uno stesso litotipo. Il metodo della sismica a rifrazione si basa sul concetto di bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito di un fronte d'onda conico. Data quindi una sorgente di onde elastiche (massa battente, martello a percussione, piccola esplosione) e dato uno stendimento di trasduttori velocimetrici (geofoni) posizionati lungo un determinato allineamento, giungeranno ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde birifratte (head wave). Le onde birifratte sono quelle analizzate attraverso il metodo della sismica a rifrazione. Tali perturbazioni giungono sulla superficie di separazione tra due mezzi elastici (2 litologie differenti) con un angolo di incidenza critico (legge di Snell), si propagano parallelamente alla superficie di discontinuità (prima rifrazione con angolo di 90°), e si rifrangono nuovamente verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

Successivamente alla registrazione dei dati, la prima operazione svolta è consistita nell'individuazione dei primi arrivi sui singoli sismogrammi (picking). Dall'acquisizione dei tempi di primo arrivo, conoscendo le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (interspazio geofonico), è stato ottenuto un diagramma tempi-distanze (dromocrona), attraverso il quale, applicando diverse metodologie, è stato possibile determinare le velocità di propagazione delle onde nel mezzo sottostante e i relativi spessori dei sismostrati attraversati dalla radiazione elastica. Per le analisi interpretative, è stato utilizzato il software Rayfract (versione 3.21) che ha permesso di ottenere l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità.

2.2 Metodo MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, utile a definire l'azione sismica di progetto, che individua il profilo delle velocità delle onde di taglio verticali V_s nei primi trenta metri di profondità a partire dal piano campagna, sulla base della misura delle onde superficiali in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo più importante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, le uniche onde utilizzate nell'indagine MASW, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. L'impiego di tali onde è giustificato dalle proprietà che possiedono, infatti, trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente (scoppio) e allontanandosi da essa

(scoppio) subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto a quella che eventualmente avrebbero le onde P ed SV, propagandosi, conseguentemente, a profondità più grandi.

Il metodo MASW può essere suddiviso in quattro fasi fondamentali (Roma, 2002):

- calcolo della curva di dispersione sperimentale;
- calcolo della curva di dispersione apparente numerica;
- calcolo della curva di dispersione effettiva numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

Il calcolo della curva di dispersione sperimentale, si ottiene dalle misure effettuate in situ. Essa si estrae dallo spettro del dominio frequenza – numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo del moto nel dominio spazio-tempo.

Il calcolo delle curve di dispersione numeriche, apparente ed effettiva invece, si ricava applicando un'unica trasformata di Fourier alla funzione di Green. Per il calcolo della prima è stato utilizzato il metodo Roma (2001), mentre per il calcolo della seconda (curva di dispersione effettiva numerica) è stato utilizzato il metodo Lai-Rix (1998).

L'individuazione del profilo Vs, infine, è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

Per quanto riguarda, infine, la strumentazione necessaria all'esecuzione di tale indagine MASW, ci si è avvalsi delle seguenti componenti tecniche: registratore multicanale; geofoni o accelerometri da 4.5 Hz (almeno 12 canali); cavi per stendimenti sismici; sorgente energizzante composta da piastra metallica (per battuta) ed una massa battente di 5 - 10 Kg; bindella metrica per la disposizione geometricamente corretta dei geofoni con interasse compreso tra 0.5 e 5 metri.

2.3 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per la registrazione dei segnali è del tipo a 24 canali, modello DBS280 (anno 2012) della DOLANG interfacciato con un computer portatile.

L'attrezzatura è composta da:

- **un sistema di energizzazione:** la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in acciaio posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV;
- **un sistema di trigger:** consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.
- **un sistema di ricezione:** costituito da 24 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione 4,5 Hz.
- **un sistema di acquisizione dati:** con memoria dinamica a 16 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali per un totale di 24 canali, 2 cavi sismici a 12 take-outs ciascuno spaziato a 5 metri, notebook PC Windows XP con software DBS280 Versione 5.1 della DOLANG

3. ATTIVITÀ DI CAMPO

L'indagine in loco è consistita nella realizzazione di n.3 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigla: AA', BB', CC') e nell'esecuzione di n.3 prospezioni sismiche con metodo M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves) sulla stessa traccia delle sezioni tomografiche, al fine di ottenere il profilo verticale delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica dell'allineamento.

Gli stendimenti AA', BB', CC' hanno ciascuno lunghezza di 36 metri. Le ubicazioni di tutti gli stendimenti sono riportati nella seguente figura (Fig.1).

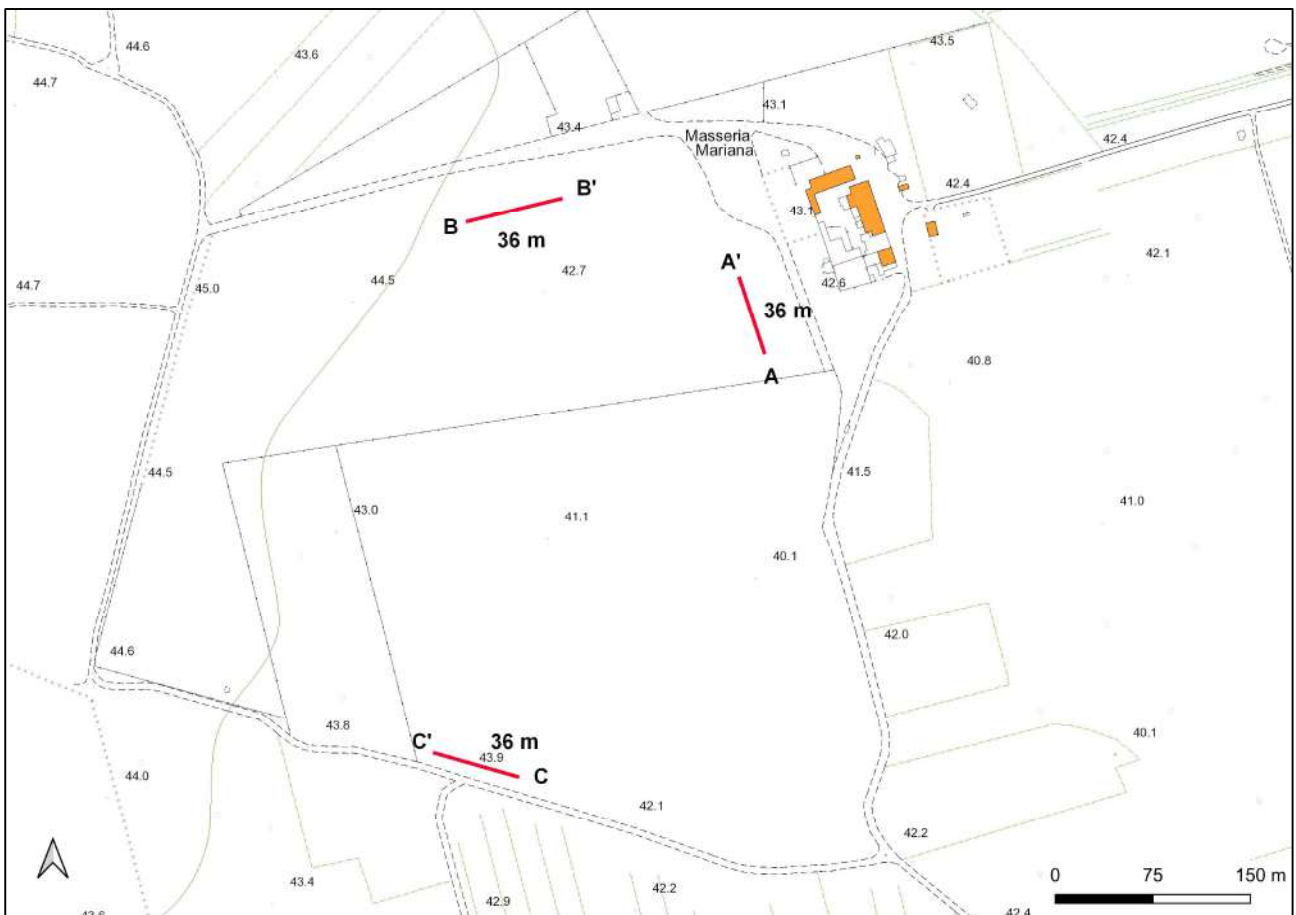


Fig. 1 – Ubicazione degli stendimenti su CTR della Regione Puglia

4. ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE

4.1 Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione AA' ha una lunghezza di 36 metri lineari con interspazio geofonico di 1.5 m, direttrice orientata SE-NW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

A - 17.904828 E – 40.451002 N;

A' - 17.904718 E – 40.451320 N.

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.75 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.2).



Fig.2 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 3-3a (sezione sismostratigrafica).

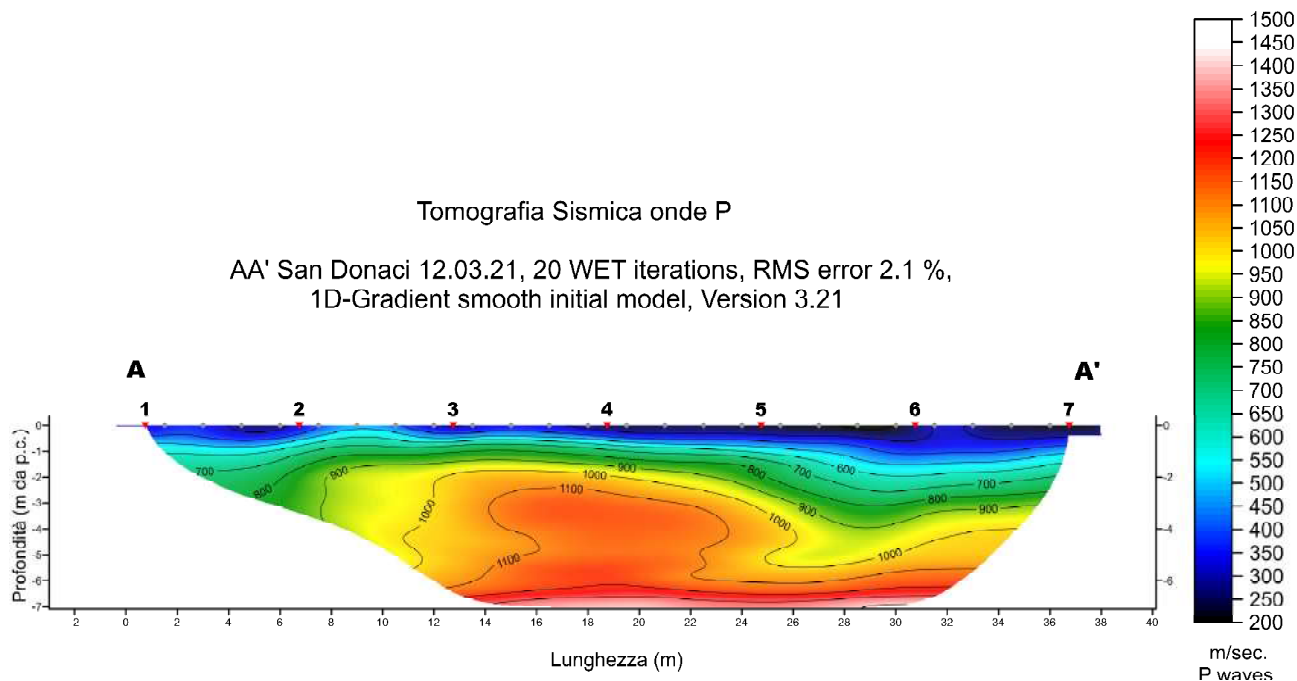


Fig. 3 – Sezione tomografica del profilo AA'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato (Sismostrato A), che dal piano campagna si spinge sino a circa 2 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P ridotte, comprese tra 200 m/s e 700 m/s. Il secondo sismostrato invece (Sismostrato B), si spinge fino a circa 6 metri di profondità dal piano campagna ed è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 700 e 1200 m/s. Il terzo sismostrato individuato infine (Sismostrato C), è caratterizzato da velocità delle onde P che partendo da 1200 m/s, tendono ad aumentare con l'aumento della profondità fino a raggiungere valori di circa 1500 m/s alla profondità investigata.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (Sismostrato A), il secondo sismostrato a calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (Sismostrato B), mentre il terzo sismostrato (Sismostrato C), a calcari relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità.

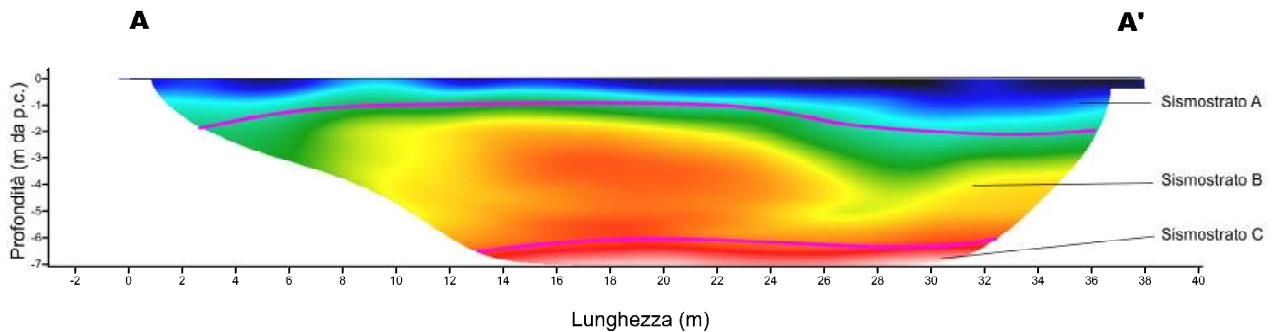


Fig. 3a – Interpretazione sezione tomografica del profilo AA'

4.2 Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione BB' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.5 m, direttrice orientata W/E e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

B - 17.902658 E - 40.452070 N;

B' - 17.903000 E - 40.452100 N.

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end - shots, posti a 0.75 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.4).

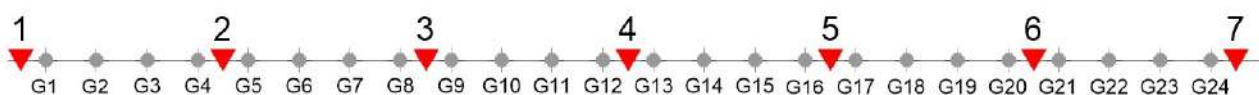
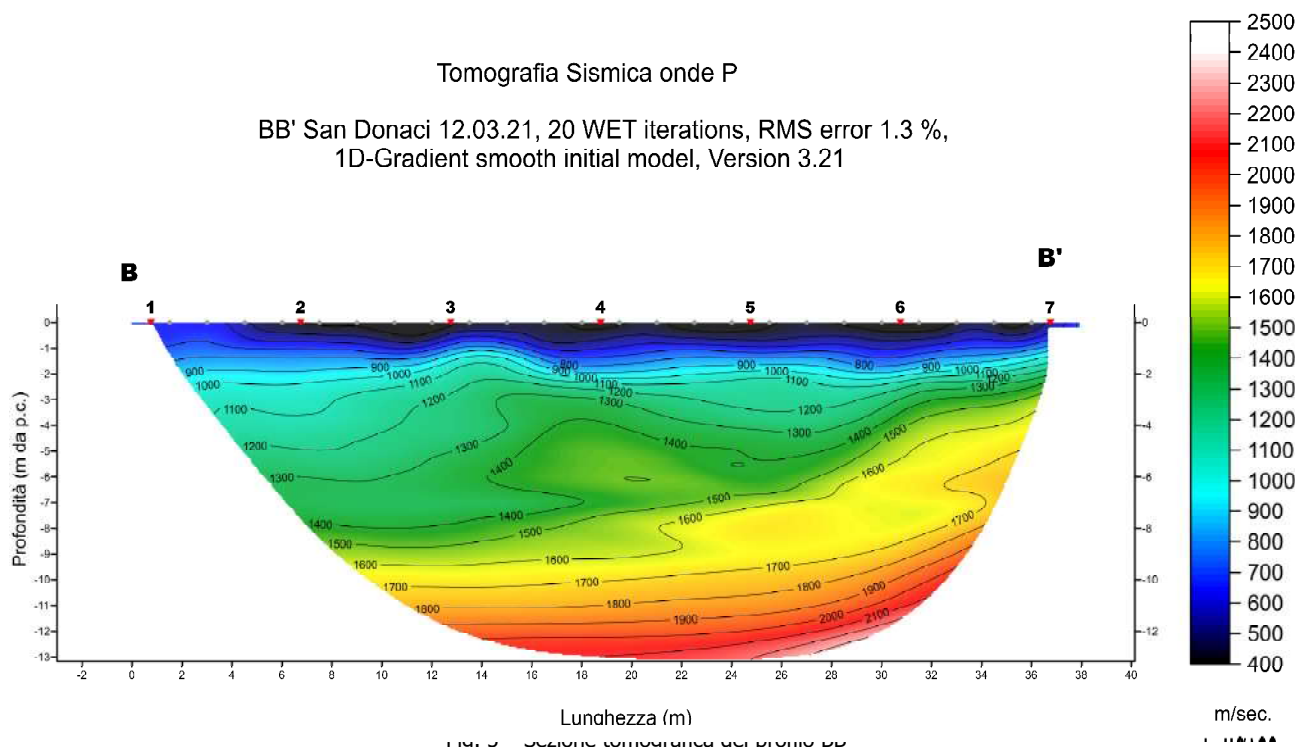


Fig.4 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 5-5a (sezione sismostratigrafica).



Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato (Sismostrato A), che dal piano campagna si spinge sino a circa 2 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P ridotte, comprese tra 200 m/s e 900 m/s. Il secondo sismostrato invece (Sismostrato B), si spinge fino a circa 8 metri di profondità dal piano campagna ed è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 900 e 1500 m/s. Il terzo sismostrato individuato infine (Sismostrato C), è caratterizzato da velocità delle onde P che partendo da 1500 m/s, tendono ad aumentare con l'aumento della profondità fino a raggiungere valori di circa 2500 m/s alla profondità investigata.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (Sismostrato A), il secondo sismostrato a calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (Sismostrato B), mentre il terzo sismostrato (Sismostrato C), a calcari relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità.

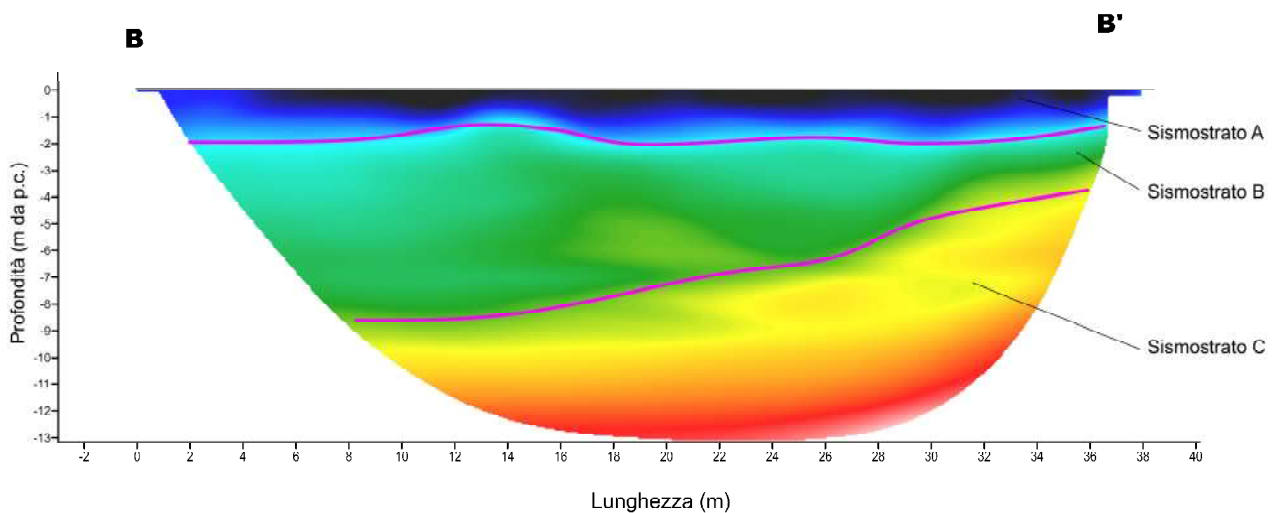


Fig. 5a – Interpretazione sezione tomografica del profilo BB'

4.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione CC' ha una lunghezza di 36 metri lineari con interspazio geofonico di 1.5 m, direttrice orientata SE/NW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

C - 17.902204 E – 40.448130 N;

C' - 17.901868 E – 40.448217 N.

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.75 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.6).

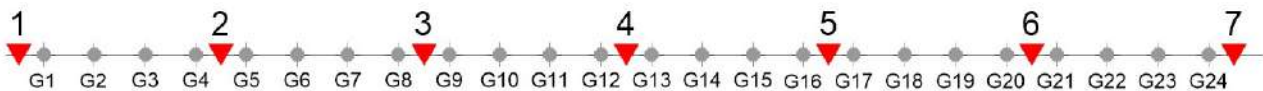


Fig.6 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 7-7a (sezione sismostratigrafica).

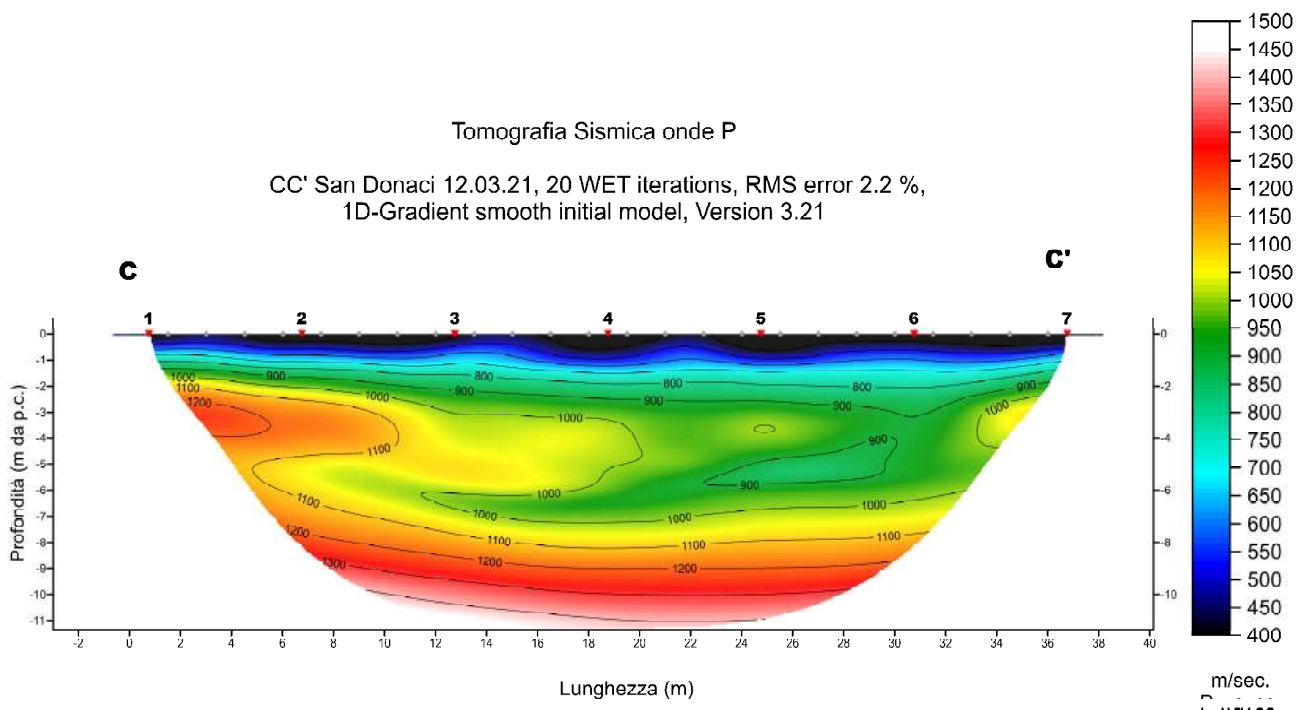


Fig. 7 – Sezione tomografica del profilo CC'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato (Sismostrato A), che dal piano campagna si spinge sino a circa 2 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P ridotte, comprese tra 200 m/s e 900 m/s. Il secondo sismostrato invece (Sismostrato B), si spinge fino a circa 8 metri di profondità dal piano campagna ed è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 900 e 1200 m/s. Il terzo sismostrato individuato infine (Sismostrato C), è caratterizzato da velocità delle onde P che partendo da 1200 m/s, tendono ad aumentare con l'aumento della profondità fino a raggiungere valori di circa 1500 m/s alla profondità investigata.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a calcari con grado di fratturazione e carsificazione molto elevato (Sismostrato A), il secondo sismostrato a calcari con grado di fratturazione e carsismo medio (Sismostrato B), mentre il terzo sismostrato (Sismostrato C), a calcari relativamente più compatti le cui caratteristiche geomeccaniche migliorano con l'aumento della profondità.

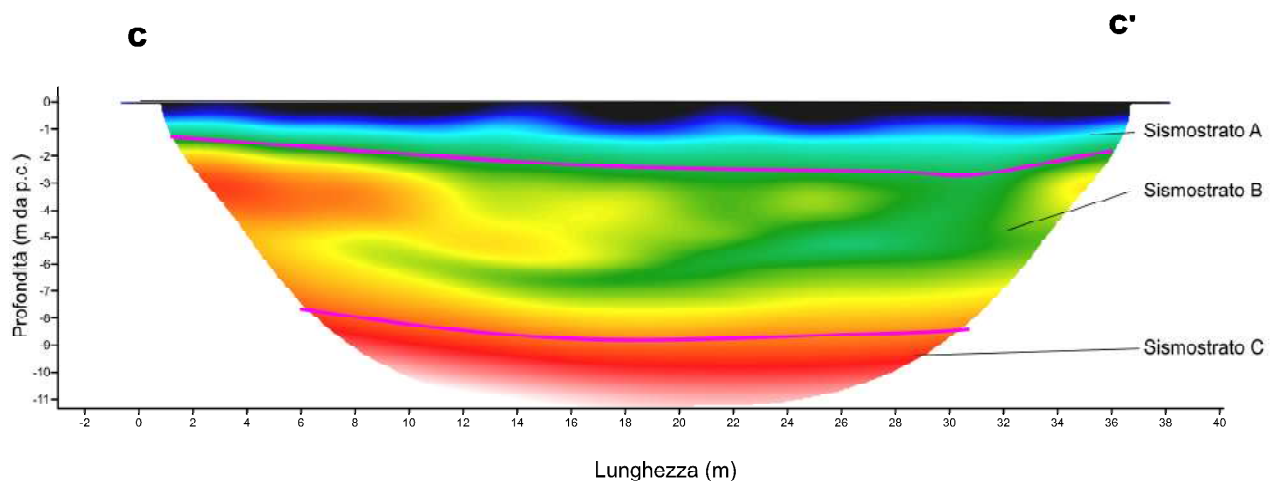


Fig. 7a – Interpretazione sezione tomografica del profilo CC'

5. ANALISI MASW

L'indagine geofisica è stata completata con l'esecuzione di n.1 indagine MASW per la determinazione della categoria di suolo di fondazione e la stima del fattore di amplificazione sismica dell'area, sulla stessa traccia del profilo AA'.

5.1 Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1.5 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.1 (Fig.8).

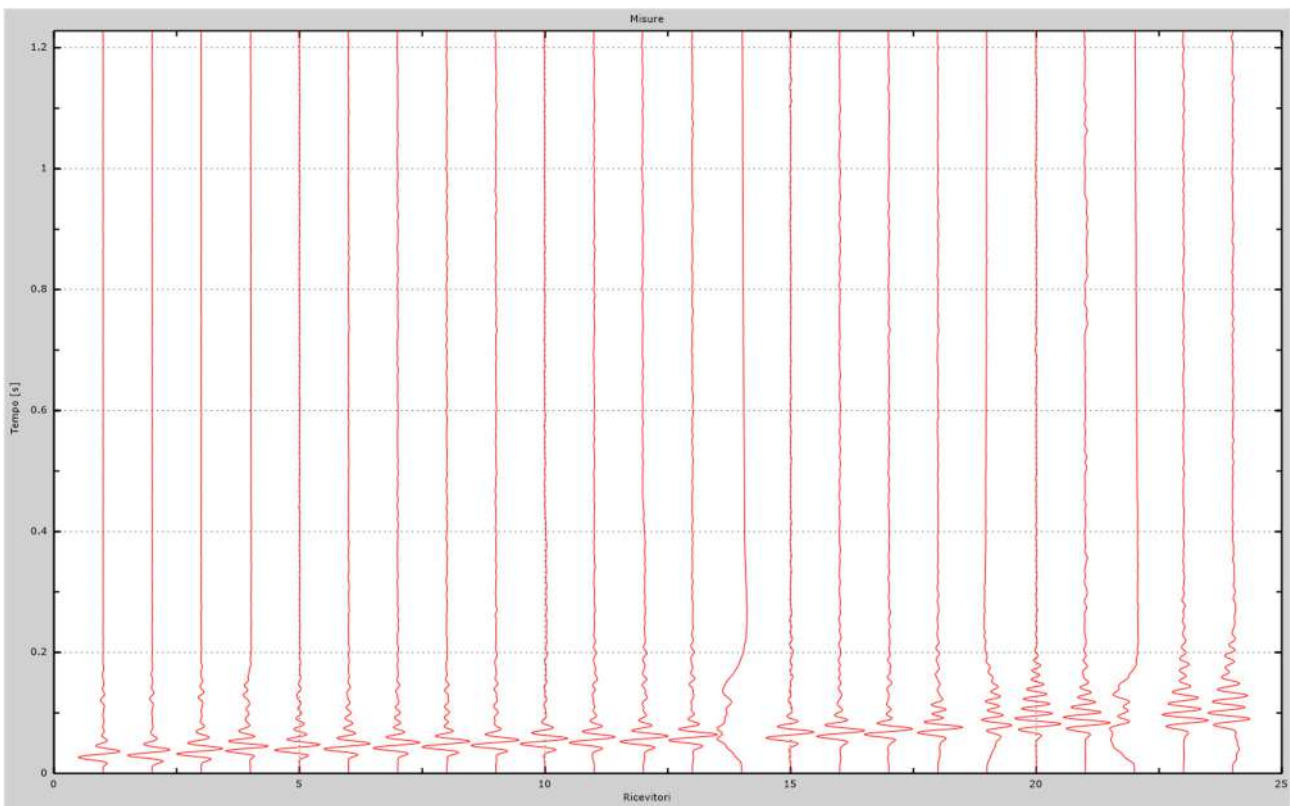


Fig.8 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo AA'

L'individuazione del profilo V_s in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.9) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.10). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

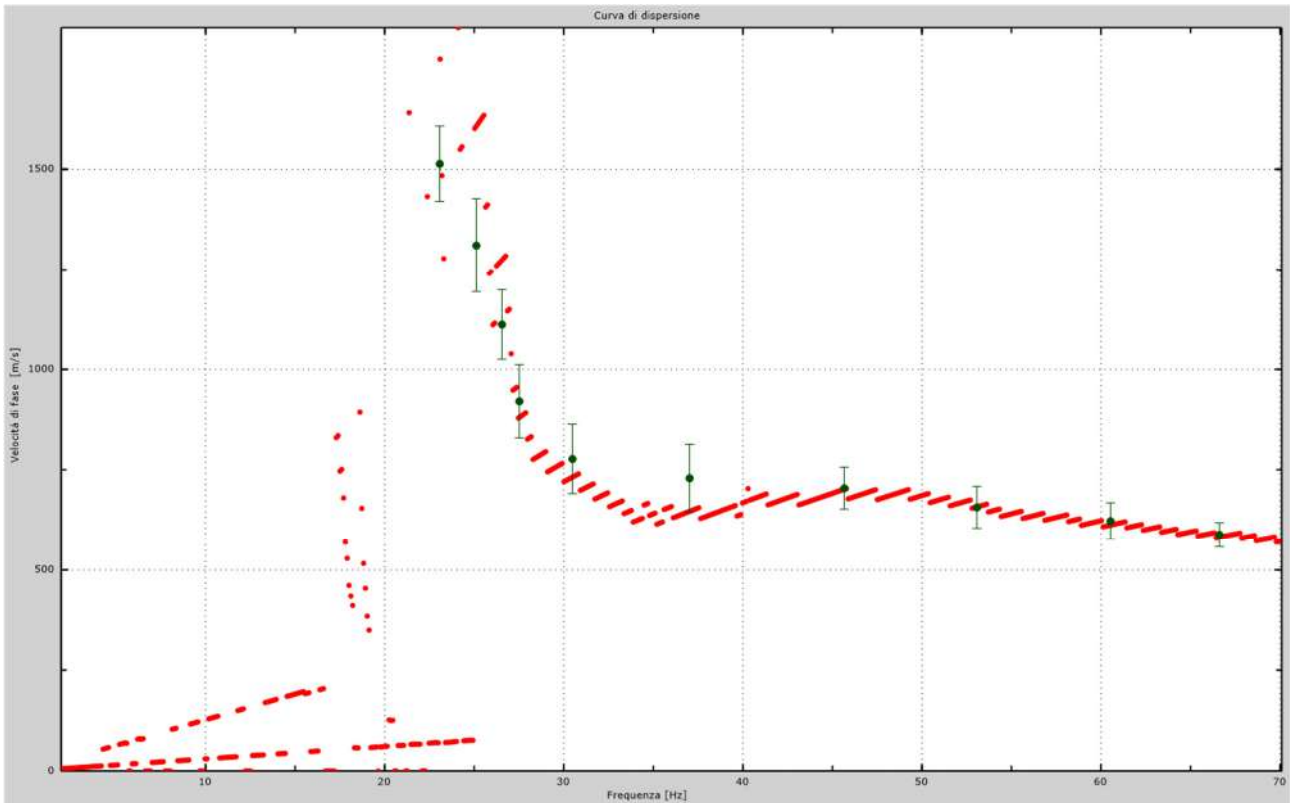


Fig.9 - Curva di dispersione sperimentale

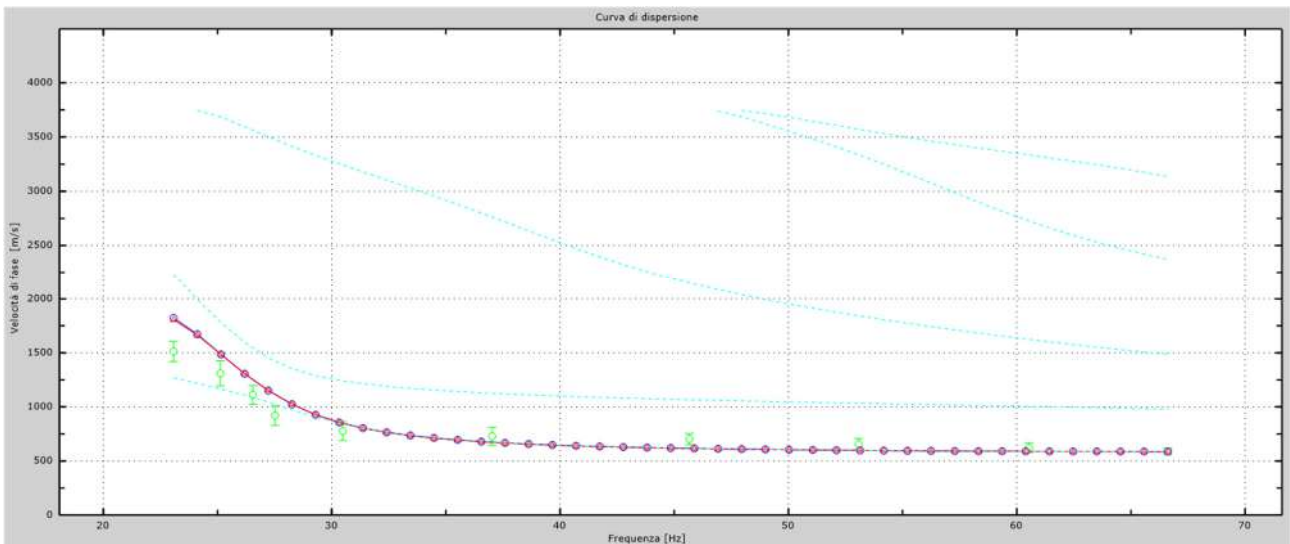


Fig.10 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
La percentuale di differenza è: 11%.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità (Fig.11). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

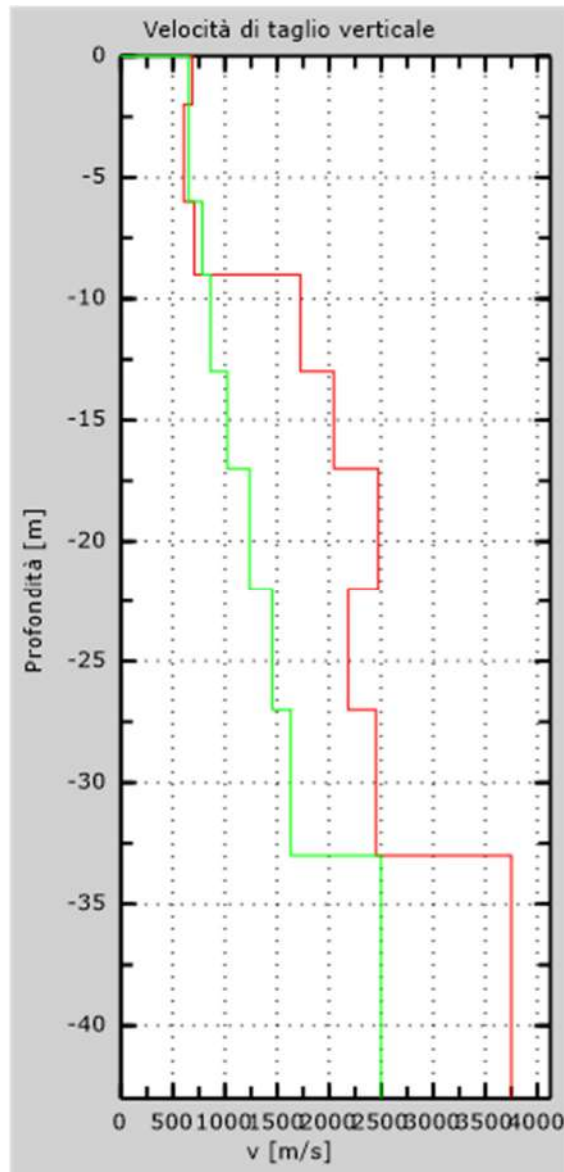


Fig.11 - Profilo Vs

5.2 Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1.5 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.2 (Fig.12).

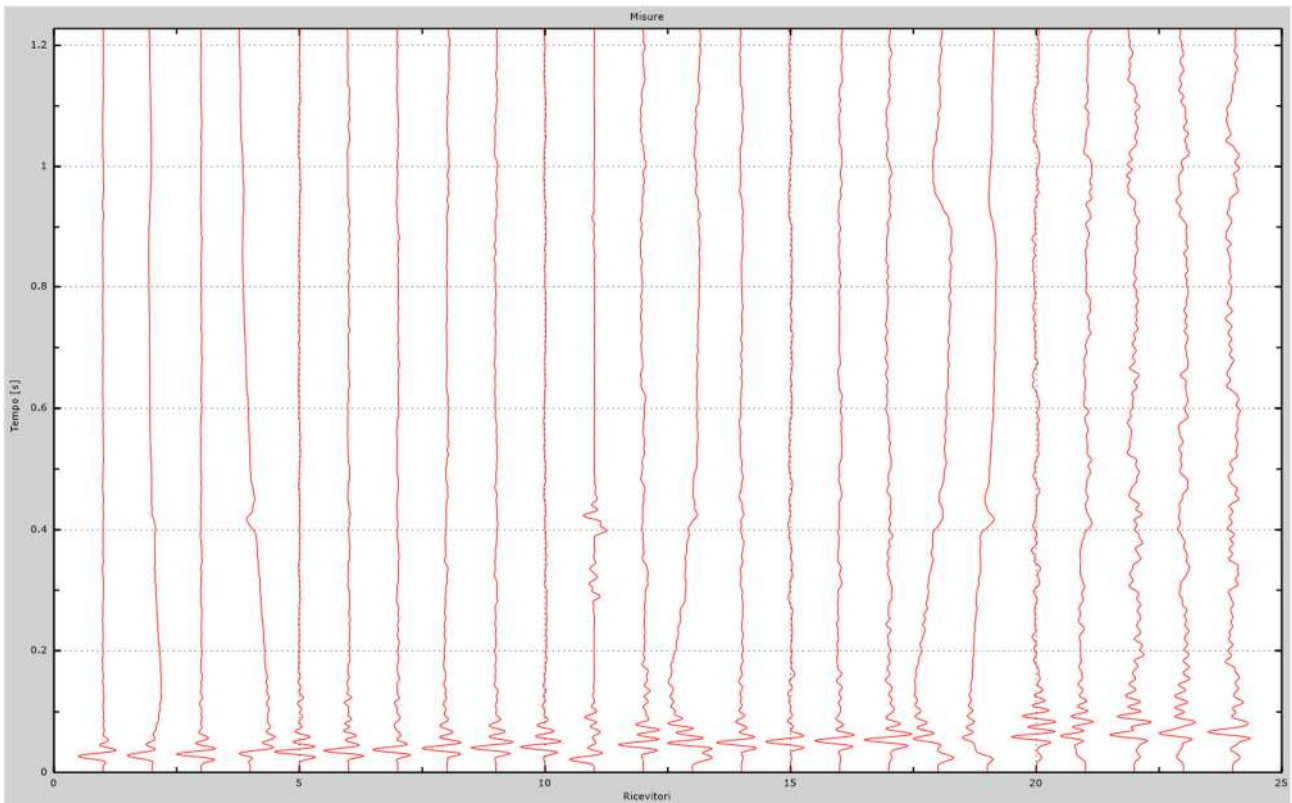


Fig.12 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo BB'

L'individuazione del profilo V_s in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.13) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.14). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

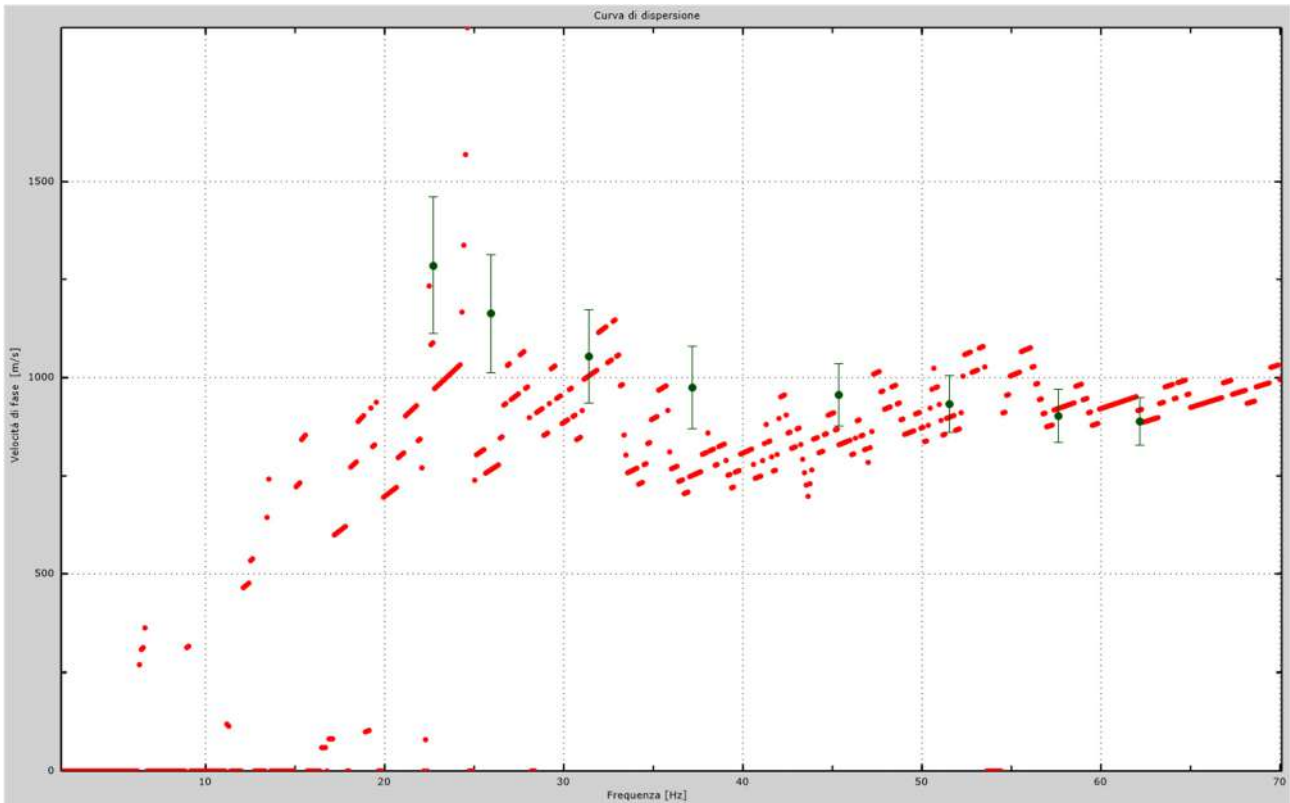


Fig.13 - Curva di dispersione sperimentale

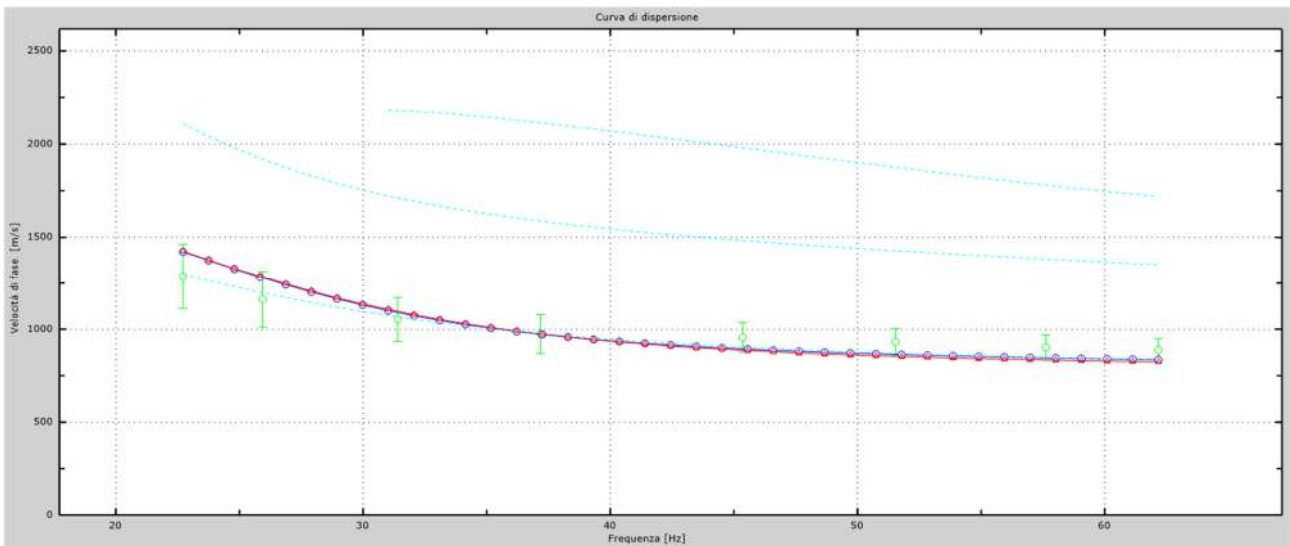


Fig.14 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
La percentuale di differenza è: 6%.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità (Fig.15). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

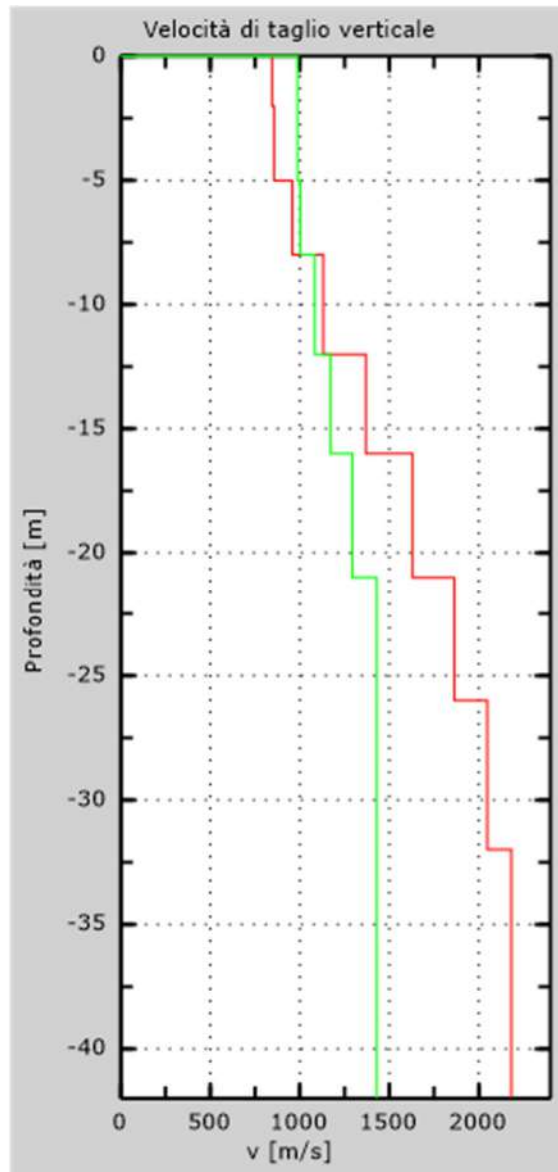


Fig.15 - Profilo Vs

5.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1.5 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.1 (Fig.16).

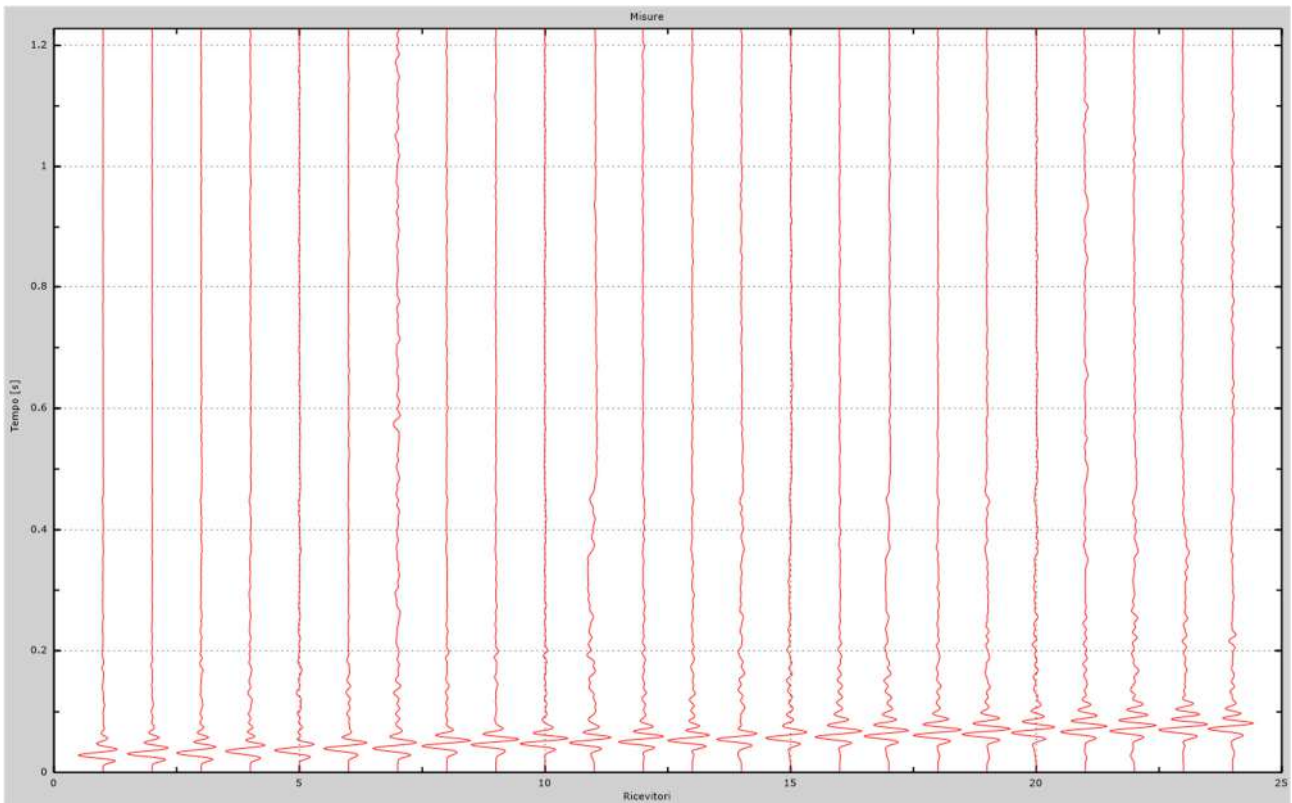


Fig.16 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo CC'

L'individuazione del profilo V_s in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.17) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.18). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

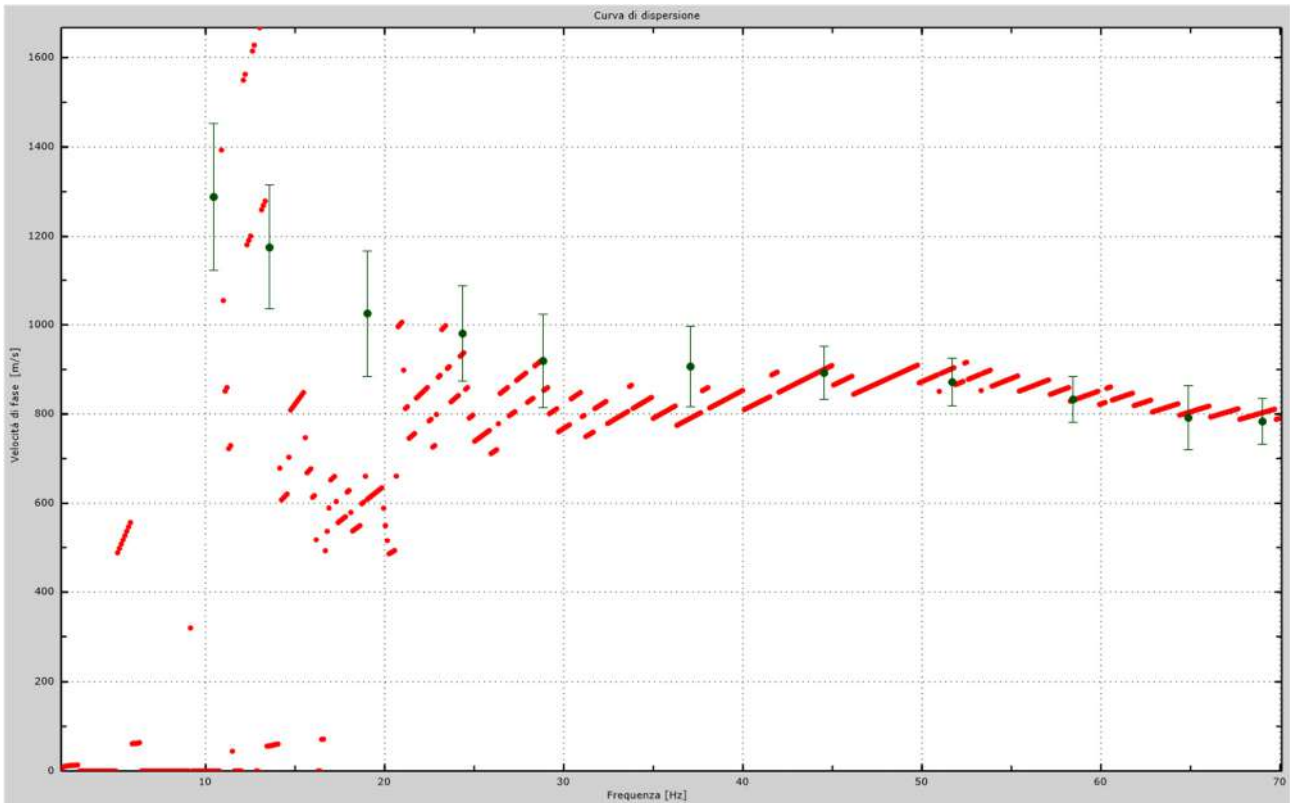


Fig.17 - Curva di dispersione sperimentale.

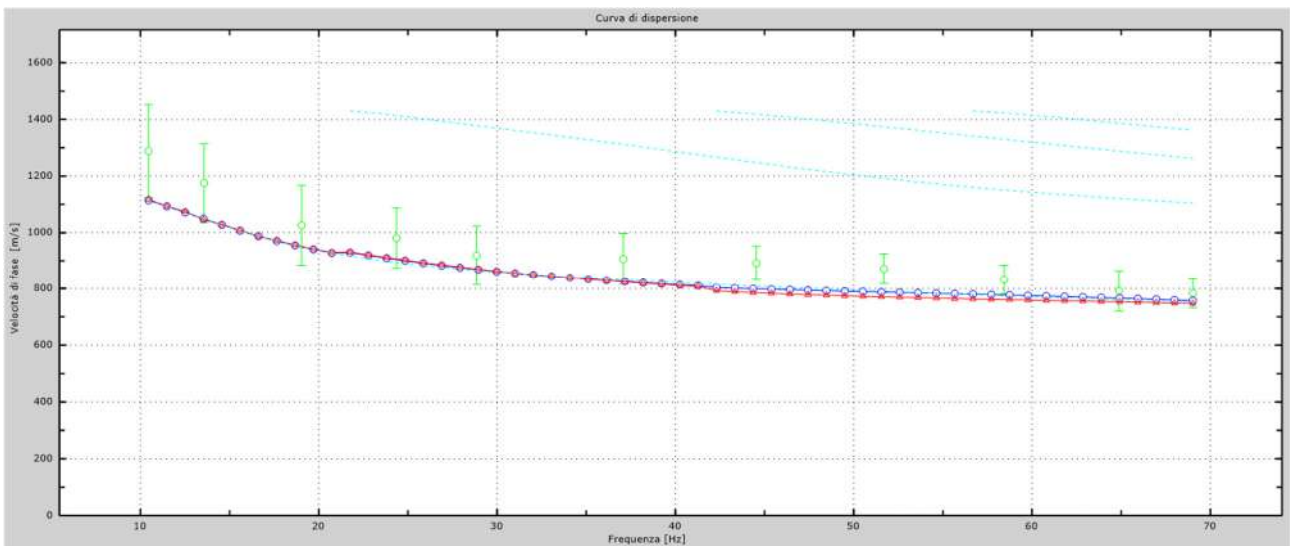


Fig.18- Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 11%.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità (Fig.19). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

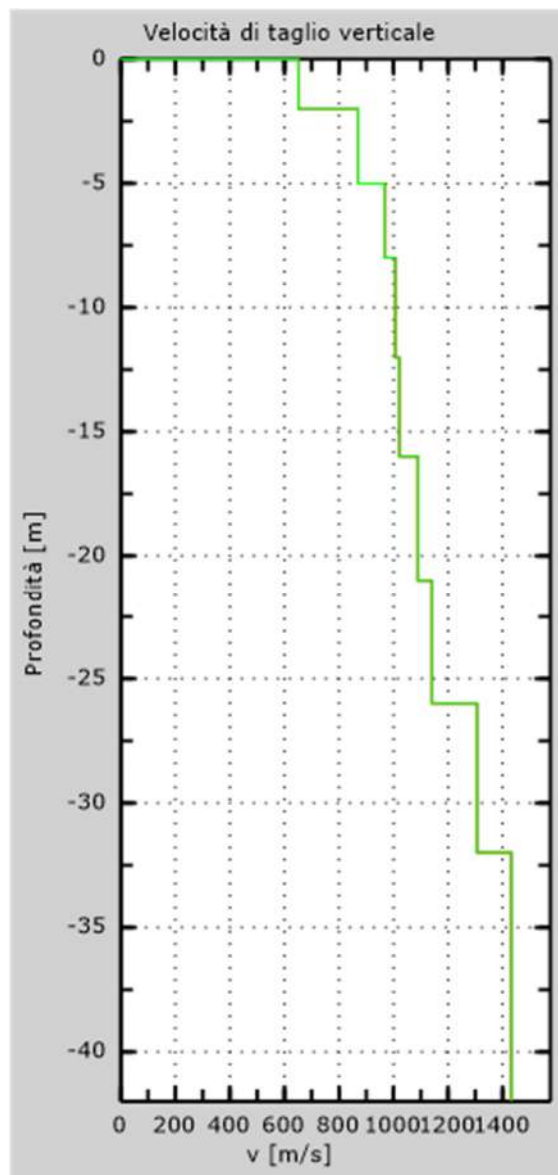


Fig.19 - Profilo Vs

6. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Sulla base delle risultanze dell'indagine MASW condotte nell'area oggetto di studio, il sottosuolo di fondazione è stato classificato ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004; DGR Puglia 2 marzo 2004 e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005, DM 17/01/2018).

L'indagine M.A.S.W. ha consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e, da queste, poiché il valore della V_{seq} è risultato superiore agli 800 m/s, utilizzando la seguente formula:

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

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(strato)$ e dalla velocità delle onde S $V_s(strato)$. Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

In base a modelli ottenuti, utilizzando la formula sopra riportata, si è ottenuto che il valore della V_s calcolata per i quattro profili analizzati sono le seguenti:

- Profilo AA' - $V_{seq} = 878.35$ m/s;
- Profilo BB' - $V_{seq} = 1058.98$ m/s;
- Profilo CC' - $V_{seq} = 981.79$ m/s.

Il valore di V_s , riferibile ai tre stendimenti colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.**

7. CARATTERIZZAZIONE ELASTICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nei paragrafi precedenti sono state descritte le metodologie di esecuzione della prova e l'interpretazione dei risultati delle indagini indirette realizzate per il presente studio che hanno permesso di ricostruire con sufficiente dettaglio la stratigrafia dei primi metri del sottosuolo. Nel dettaglio quindi saranno riportate tre tabelle riassuntive delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati, riferite alle zone dove sono state eseguite le indagini sismiche. I valori delle Vs sono stati ricavati in modo indiretto dalla prova MASW.

Sezione AA' - Tabella 1

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	200.00	111.00	1.40	174.0	332.9	444.6	565.0	0.28	1.80	154.91
2.00	A - LETTO	700.00	421.00	1.77	3176.3	4546.1	7728.9	8781.2	0.22	1.66	745.45
2.00	B - TETTO	700.00	421.00	1.77	3176.3	4546.1	7728.9	8781.2	0.22	1.66	745.45
6.00	B - LETTO	1200.00	618.00	1.96	7582.4	18478.8	20010.3	28588.7	0.32	1.94	1212.28
6.00	C - TETTO	1200.00	618.00	1.96	7.6E+03	1.8E+04	2.0E+04	2.9E+04	0.32	1.94	1212.28
8.00	C - LETTO	1500.00	863.00	2.05	1.5E+04	2.6E+04	3.9E+04	4.7E+04	0.25	1.74	1766.19

Sezione BB' - Tabella 2

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	200.00	108.00	1.40	164.8	345.3	426.4	565.0	0.29	1.85	150.73
2.00	A - LETTO	900.00	494.00	1.86	4587.2	9109.5	11783.6	15225.7	0.28	1.82	917.49
2.00	B - TETTO	900.00	494.00	1.86	4587.2	9109.5	11783.6	15225.7	0.28	1.82	917.49
8.00	B - LETTO	1500.00	987.00	2.05	20178.0	19700.4	45127.0	46604.4	0.12	1.52	2019.97
8.00	C - TETTO	1500.00	987.00	2.05	2.0E+04	2.0E+04	4.5E+04	4.7E+04	0.12	1.52	2019.97
13.00	C - LETTO	2500.00	1171.00	2.26	3.1E+04	1.0E+05	8.5E+04	1.4E+05	0.36	2.13	2640.80

Sezione CC' - Tabella 3

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	200.00	115.00	1.40	186.8	315.9	468.1	565.0	0.25	1.74	160.50
2.00	A - LETTO	900.00	435.00	1.86	3556.9	10483.2	9586.5	15225.7	0.35	2.07	807.91
2.00	B - TETTO	900.00	435.00	1.86	3556.9	10483.2	9586.5	15225.7	0.35	2.07	807.91
8.00	B - LETTO	1200.00	652.00	1.96	8439.7	17335.7	21784.0	28588.7	0.29	1.84	1278.98
8.00	C - TETTO	1200.00	652.00	1.96	8.4E+03	1.7E+04	2.2E+04	2.9E+04	0.29	1.84	1278.98
12.00	C - LETTO	1500.00	870.00	2.05	1.6E+04	2.6E+04	3.9E+04	4.7E+04	0.25	1.72	1780.52

Dove:

g = densità sismica calcolata mediante la seguente formula: $0.51 * V_p^{0.19}$; G₀ = Modulo di taglio; K = Modulo di volume; E = Modulo di Young; μ = Modulo di Poisson; IS = Impedenza sismica.

8. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Stendimento AA'



Stendimento BB'



Stendimento CC'



Alberobello, 19.03.2021