

- biogas
- biometano
- eolico
- fotovoltaico
- efficienza energetica

# Relazione Geologica

Progetto definitivo

Impianto eolico in agro di Matera

Comune di Matera (MT)

Località "Annunziata"

N. REV.	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	IT/EOL/E-MATE/PDF/C/RS/22-a
a	Immissione	Raffaele Sassone	Raffaele Sassone	Asja Ambiente S.p.A.	20/08/2022 Via Ivrea, 70 (To) Italia T +39 011.9579211 F +39 011.9579241 info@asja.energy



Dott. Raffaele SASSONE  
Via dei Mori, 22 -70023 Gioia del Colle BA  
E-mail: r.sassone@yahoo.it  
PEC: r.sassone@pec.epap.it  
Ordine Regionale dei Geologi della Puglia  
sezione A n. 664

## INDICE

1. Premessa		pag. 1
2. Normativa di riferimento		pag. 1
3. Bibliografia		pag. 2
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. 4
7. Caratteristiche idrologiche di dettaglio		pag. 4
8. Caratterizzazione stratigrafica e strutturale di dettaglio del sito		pag. 5
9. Campagna geognostica		pag. 5
10. Risultati indagini geofisiche		pag. 5
10.1 Acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW		pag. 5
10.2 Indagine sismica a rifrazione		pag. 5
10.3 Indagine sismica M.A.S.W.		pag. 8
11. Caratterizzazione fisica e meccanica del sottosuolo		pag. 10
12. Categorie di sottosuolo		pag. 11
13. Categoria topografica		pag. 11
14. Interpretazione stratigrafica schematica dei terreni di fondazione		pag. 12
15. Classificazione sismica dell'area		pag. 13
16. Pericolosità geologica		pag. 14
17. Stabilità nei confronti della liquefazione		pag. 14
18. Modello geologico del sottosuolo		pag. 16
19. Vincoli		pag. 16
19.1 Vincoli "P.A.I." redatti dall'Autorità di Bacino della Basilicata		pag. 16
19.2 Vincoli del D.Lgs. 152/06 - Art. 121 del PRTA		pag. 16
19.3 Vincoli imposti dal P.P.R. della Regione Basilicata		pag. 17
20. Prescrizioni		pag. 18

Allegato 1: Indagini sismiche a rifrazione e MASW per la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione per l'installazione di aerogeneratori

## 1. Premessa

Lo scopo del presente lavoro è fornire delle conoscenze geologiche di base per una porzione di territorio in agro di Matera, situata a nord ovest della cittadina lucana, sulla quale lo studio STIM ENGINEERING s.r.l. intende progettare un impianto eolico per conto di ASJA AMBIENTE ITALIA S.P.A (Figg.1.1, 1.2, 2.1, 2.2 e 2.3).

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa in cui vengono indicate le coordinate geografiche (UTM 33N WGS84), la quota sul livello del mare e il riferimento IGM delle opere in progetto (Tab.1).

Tabella 1 - Ubicazione dell'opera in progetto		
WTG 1	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	425 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.498804 Lat.: 40.738124
WTG 2	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	424 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.501038 Lat.: 40.729432
WTG 3	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	420 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.508344 Lat.: 40.728456
WTG 4	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	423 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.51715 Lat.: 40.731664
WTG 5	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	425 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.523057 Lat.: 40.733301
WTG 6	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	412 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.516566 Lat.: 40.741422
WTG 7	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III SO "Madonna di Picciano"
	Quota media s.l.m.	425 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.495605 Lat.: 40.746415
WTG 8	Riferimento IGM	Foglio 189 - Tav. III NO "Altamura"
	Quota media s.l.m.	425 m
	Coordinate geografiche WGS84 UTM 33N	Long.: 16.500853 Lat.: 40.760653

## 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 Matera (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

- C. Conedera et alii (1971) Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 189, Altamura.
- G. Merla e A. Ercoli (1971) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 189, Altamura.
- RSDI Geoportale Basilicata : Cartografie tematiche : <https://rsdi.regione.basilicata.it/ppr/>;
- Cartografia del PPR Basilicata (approvato con D. Lgs. n. 42/2004)  
webgis: <http://rsdi.regione.basilicata.it/viewGis/?project=5FCEE499-0BEB-FA86-7561-43913D3D1B65>;
- Piano di tutela delle acque della Regione Basilicata - Articolo 121 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Delibera di Giunta 4 agosto 2009, n. 1441)".
- Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale sede Basilicata – cartografia PAI Alluvioni e PAI frane

### 4. Identificazione delle formazioni presenti nel sito

L'area in studio ricade nel Foglio 189 "Altamura", scala 1:100000 (Fig. 3) della Carta Geologica d'Italia. La successione stratigrafica, riferita alle formazioni affioranti nell'area in studio, è la seguente:

- a<sup>2</sup>: depositi alluvionali attuali (Olocene);
- af: depositi alluvionali terrosi e ciottolosi sul fondo dei solchi erosivi (Pleistocene-Olocene);
- fl: depositi alluvionali terrazzati di ambiente fluvio lacustre siltosi sabbiosi (Pleistocene);
- l: depositi alluvionali terrazzati di ambiente fluvio lacustre sabbioso ciottolosi (Pleistocene);
- q<sup>1</sup><sub>cg</sub>: conglomerato di Irsina (Pleistocene);
- q<sup>1</sup><sub>s</sub>: sabbie dello staturo (Pleistocene);
- q<sup>1</sup><sub>a</sub>: argille calcigne (Pleistocene);
- Q<sup>c</sup><sub>s</sub>: sabbie di M. Marano (Pleistocene);
- Q<sup>c</sup><sub>cs</sub>: calcareniti di M. Castiglione (Pleistocene);
- Q<sup>c</sup><sub>a</sub>: argille di Gravina (Pleistocene);
- Q<sup>c</sup>: tufo di Gravina (Pleistocene);
- Q<sup>c</sup><sub>ca</sub>: tufi delle Murge (Pleistocene).

### 5. Storia geologica del territorio

Le caratteristiche geologiche, strutturali e idrogeologiche del territorio di Matera e delle aree immediatamente limitrofe, ricadenti nel Foglio 189 "Matera" della Carta Geologica d'Italia, rispecchiano il contesto stratigrafico e strutturale delle aree di fossa bradanica (Fig. 3).

#### 5.1 Caratteristiche geologiche generali

Nell'area della fossa bradanica affiorano principalmente sedimenti i Plio-Pleistocenici ed Olocenici che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica. Solo proseguendo verso nordest dalla fossa ritroviamo affioranti i calcari mesozoici Apuli.

I sedimenti pleistocenici post-calabrianici di facies marina appaiono in estesi lembi dislocati fra i depositi olocenici, con deboli inclinazioni rilevate che riflettono per lo più l'originale inclinazione del fondo marino su cui i sedimenti stessi si sono depositati. I caratteri ciottoloso-sabbiosi dell'unità Pleistocenica del Conglomerato di Irsina poggiano

sulle Sabbie di Monte Marano Calabriane rappresentano i caratteri fluvio-deltizi di quella che costituivano un'antica area costiera.

## **5.2 Caratteristiche tettoniche e morfologiche generali**

La morfologia piuttosto dolce dell'area è stata caratterizzata dall'azione modellatrice delle forze esogene sulle diverse situazioni geologiche, che, in particolar modo sulle unità argilloso limose più o meno sabbiose grigio-azzurre relative alla Formazione delle Argille Subappennine, a causa della loro alta erodibilità, hanno conferito al paesaggio una morfologia dolce e collinare, intervallata da spianate inclinate debolmente ed interrotte da valli ampie con fianchi talvolta più acclivi. L'area è solcata da due importanti corsi d'acqua: il fiume Bradano ed il suo tributario Bilioso; e secondariamente da una rete di piccoli tributari minori.

La generale pendenza verso oriente della spianata rappresenta, molto probabilmente, l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su essa si sono adagiati. I rilievi tabulari presenti sul territorio invece sono costituiti nella parte sommitale dalla "formazione del Conglomerato di Irsina", conglomerati poligenici spesso immersi in abbondante matrice sabbiosa, poggianti sulle "Sabbie di Monte Marano"; essi rappresentano i caratteri fluvio-deltizio di quella che è stata l'antica area di spiaggia. Tali formazioni sono venute ad emergere in seguito ad un importante sollevamento che ha interessato tutta l'area della Fossa Bradanica a partire da un milione di anni fa.

La Fossa Bradanica, dal punto di vista geologico-strutturale, si sviluppa dopo gli eventi tettonici del Pliocene medio e si estende tra l'Avampaese Apulo ad est e l'Appennino meridionale ad ovest. Essa è stata colmata da sedimenti argillosi e sabbioso-conglomeratici plio-quadernari formati in acque da poco a moderatamente profonde. Nei sedimenti pleistocenici non sono generalmente evidenti segni di deformazione o dislocazione in superficie, e non sono state rilevate faglie. Quindi le dislocazioni per faglia sono assenti oppure antecedenti ai terreni plio-pleistocenici che occupano l'area ed in tal caso risulterebbero sepolte dagli stessi.

## **5.3 Caratteristiche idrogeologiche**

L'idrografia superficiale è rappresentata da due importanti corsi d'acqua: il fiume Bradano ed il suo tributario Bilioso ad andamento torrentizio; e secondariamente da una rete di piccoli tributari minori a carattere più stagionale.

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio in studio sono condizionate dalla natura litologica delle formazioni interessate, dal loro grado di permeabilità e di pendenza. La presenza di terreni superficiali degradati e allentati favorisce, almeno nell'ambito dei primi metri, l'infiltrazione delle acque meteoriche. La permeabilità medio bassa dei termini sottostanti favorisce l'accumulo di modesti quantitativi e l'istaurarsi di falde idriche superficiali di scarsa valenza idrogeologica, a marcato carattere stagionale, e direttamente influenzate dall'andamento delle precipitazioni meteoriche.

Tali acque vengono spesso intercettate con opere di captazione rudimentali o alimentano piccole sorgenti vallive. La presenza di terreni a diversa granulometria e a diverso grado di permeabilità comporta la possibilità di rinvenire falde idriche sospese a varie profondità in quanto, i termini più argillosi fungono da limite impermeabile favorendo l'accumulo delle acque infiltratesi nei litotipi relativamente più permeabili.

La continuità e lo spessore delle falde in tal modo instauratesi, nonché lo schema della circolazione idrica sotterranea, è dipendente dai rapporti stratigrafici e giacitureali tra litotipi a diversa permeabilità. In genere si tratta di orizzonti idrici sovrapposti di modeste entità, incapaci di produrre amplificazioni sismiche locali apprezzabili.

## 6. Caratterizzazione morfologica di dettaglio del sito

L'area designata per la realizzazione dell'impianto eolico è posta a circa 7 km a nord ovest dal centro abitato di Matera, ad una quota media di circa 420 m sul livello del mare a una distanza dalla costa di circa 35 Km.

La morfologia dell'area in studio risulta fortemente condizionata dall'attività tettonica e dall'azione delle acque superficiali, generando una pendenza generale in direzione sudovest e nord est (figg. 2.1, 2.2 e 2.3). Le pendenze sono mediamente inferiori al 10%. In dettaglio:

- Pendenza versante WTG1: 11,90% (fig. 5.1)
- Pendenza versante WTG2: 10,60% (fig. 5.2)
- Pendenza versante WTG3: 1,15% (fig. 5.3)
- Pendenza versante WTG4: 4,60% (fig. 5.4)
- Pendenza versante WTG5: 4,30% (fig. 5.5)
- Pendenza versante WTG6: 4,20% (fig. 5.6)
- Pendenza versante WTG7: 6,95% (fig. 5.7)
- Pendenza versante WTG8: 0,60% (fig. 5.8)

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 aggiornate al 2022 su cartografia ufficiale non ricade in nessuna delle quattro zone a rischio frana (R1, R2, R3 e R4), come definite dal PAI Basilicata (figg. 12.1 e 12.2).

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

In conclusione, il progetto dell'impianto eolico proposto non modificherebbe in maniera sostanziale la situazione geomorfologica delle aree.

Pertanto gli interventi non andranno ad incrementare in alcun modo il livello di pericolosità geomorfologica per le aree adiacenti e per l'area stessa.

## 7. Caratteristiche idrologiche di dettaglio

L'idrografia superficiale è rappresentata principalmente dal Can.le dei Vignoli che costeggia, ad est, l'intero parco eolico e poi da una rete di piccoli tributari minori a carattere più stagionale. Il Can.le Vignoli, dirigendosi verso sud-ovest, convoglia le proprie acque nel Canale di Bonifica e, più a sud quest'ultimo si congiunge con il Torrente Gravina di Matera.

Nelle aree di progetto risultano assenti forme perenni di scorrimento superficiale, soprattutto nelle immediate vicinanze dei siti di intervento (Figg. 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 e 2.3).

Tuttavia, dal rilevamento in campo e dal confronto dell'ortofoto con la carta dei reticoli idrografici della regione Basilicata (Fig. 4.1, ..., 4.2) è stata evidenziata la presenza di diversi piccoli impluvi incisi nei terreni argillosi a

carattere prettamente stagionale, caratterizzati da alvei stretti e molto profondi. Questi intersecano il cavidotto nell'area perimetrata dal parco eolico in 3 punti in prossimità della WTG8.

Le aree succitate, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni sulla cartografia ufficiale del PAI (Figg. 11.1 e 11.2) aggiornate al 2021, non ricadono nelle tre zone classificate come esondabili per tempi di ritorno di 500, 200 e 30 anni, come definite dal Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Basilicata.

Pertanto, queste evidenze hanno consentito di ritenere l'area destinata alle opere in progetto in sicurezza idraulica.

## **8. Caratterizzazione stratigrafica e strutturale di dettaglio del sito**

Su tutta l'area destinata all'impianto eolico affiorano delle unità argilloso limose grigio-azzurastre più o meno sabbiose relative alla Formazione delle Argille calcigne ( $q^1_a$ , Villafranchiano) con sottili inclusioni delle sabbie dello staturo ( $q^1_s$ , Villafranchiano) dei conglomerati di Irsina ( $q^1_{cg}$ , Villafranchiano) (cfr. figura 3 - Carta Geologica d'Italia 189 "Altamura" e figure 10.1, ..., 10.8 - carta geolitologica di dettaglio scala 1:2000).

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

## **9. Campagna geognostica**

Nell'ambito dello studio geologico per la progettazione in fase definitiva di un impianto eolico in agro del comune di Matera sono state eseguite n. 8 indagini sismiche con la tecnica sia della rifrazione che della MASW (allegato 1).

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito, come detto in premessa, sono state eseguite indagini 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.

## **10. Risultati indagini geofisiche**

### **10.1 Acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW**

Le indagini in loco sono consistite nelle seguenti acquisizioni:

- realizzazione di n. 8 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S8, Figg. 6.1, ..., 6.8 e allegato 1) con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P;
- esecuzione di n. 8 prospezioni sismiche con metodo M.A.S.W. (Multi-channelAnalysis of SurfaceWaves) sulla stessa traccia dei rilievi sismici a rifrazione (sigle: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S8, Figg. 6.1, ..., 6.8 e allegato 1), al fine di ottenere i profili verticali delle onde S ( $V_s$ ) nella posizione baricentrica degli allineamenti.

### **10.2 Indagine sismica a rifrazione**

Con le n. 8 sismiche a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nei terreni esaminati, individuando i tempi dei primi arrivi delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega

d'alluminio. L'elaborazione tomografica dei segnali rifratti ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c.

### 10.2.1 Modello sismico S1 (fig. 6.1)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. con un rifrattore regolare e piano; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. con un rifrattore alquanto irregolare; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s-1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

### 10.2.2 Modello sismico S2 (fig. 6.2)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. con punte fino a 1,5 m e con un rifrattore regolare; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova a una profondità pari a valori massimi di circa 5-6 m dal p.c. e a valori minimi di 3 m dal p.c. tra le progressive 12-36 m circa; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s-1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

### 10.2.3 Modello sismico S3 (fig. 6.3)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore compreso tra qualche decimetro e 0,5 m circa con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1-1,5 m dal p.c. e con un rifrattore regolare; le  $V_p$  sono comprese tra 500 m/s e 600 m/s ed è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova a una profondità variabile tra 5-6 m verso l'andata e 2 m verso il ritorno con una evidente superficializzazione dalla progressiva 5 m circa; con  $V_p$  tra 700 m/s e 800 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1000 m/s-1100 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

#### 10.2.4 Modello sismico S4 (fig. 6.4)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. e con un rifrattore circa regolare; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità di circa 3-4 m dal p.c. e mostra un rifrattore alquanto irregolare con approfondimenti e superficializzazioni; con  $V_p$  tra 700 m/s e 800 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s-1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

#### 10.2.5 Modello sismico S5 (fig. 6.5)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1-1,5 m dal p.c. e con un rifrattore circa regolare; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova a una profondità di 2 m dal p.c. tra le progressive 0 m e 7-8 m con un approfondimento a circa 4-5 m dal p.c. fino alla progressiva 50 m; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s-1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

#### 10.2.6 Modello sismico S6 (fig. 6.6)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore compreso tra 0,5 m e poco meno di 1 m e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità compresa all'incirca tra 2 m dal p.c. e 3 m dal p.c. e con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità compresa all'incirca tra 5 m dal p.c. e 6 m dal p.c. e con  $V_p$  tra 700 m/s e 800 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1000 m/s-1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

### 10.2.7 Modello sismico S7 (fig. 6.7)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore medio di 0,5 m con punte fino a poco meno di 1 m e con Vp minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità mediamente pari a 2 m dal p.c. o poco meno e con Vp tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità compresa all'incirca tra 4 m dal p.c. e 5 m dal p.c. e con Vp tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con Vp pari a 1100 m/s-1300 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

### 10.2.8 Modello sismico S8 (fig. 6.8)

Il modello geofisico del terreno ottenuto è di seguito riportato:

- R1: il primo rifrattore ha uno spessore mediamente pari a 0,5 m e con Vp minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2: il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità mediamente pari a 1 m dal p.c. o poco più e con Vp tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3: il terzo rifrattore si ritrova a una profondità di 2 m dal p.c. tra le progressive 0 m e 10-12 m con un approfondimento a circa 4,5 m dal p.c. nella porzione centrale dello stendimento e una successiva superficializzazione a circa 3 m dal p.c. fino alla progressiva 50 m; con Vp tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4: è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con Vp pari a 1100 m/s-1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

## 10.3 Indagine sismica M.A.S.W.

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{s_{eq}}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s_{30}}$  quando il bedrock (substrato rigido con Vs maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

### 10.3.1 Misura S1

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S1 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (Vs) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m la Vs è di 120 m/s;
- da 0,5 m a 1,5 m la Vs è di 170 m/s;
- da 1,5 m a 3,7 m la Vs è di 190 m/s;
- da 3,7 m a 9,8 m la Vs è di 260 m/s;
- da 9,8 m a 13 m la Vs è di 280 m/s;

- da 13 m a 17 m la  $V_s$  è di 310;
- da 17 m ai 24 la  $V_s$  è di 370 m/s;
- fino ai 30 m la  $V_s$  è di 400 m/s.

### 10.3.2 Misura S2

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S2 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 120 m/s;
- da 0,5 m a 1,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 160 m/s;
- da 1,5 m a 3,6 m dal p.c. la  $V_s$  è di 300 m/s;
- da 3,6 m a 11,4 m dal p.c. la  $V_s$  è di 320 m/s;
- infine, dagli 11,4 m dal p.c. ai 30 m dal p.c. la  $V_s$  è di 350 m/s.

### 10.3.3 Misura S3;

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S3 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m la  $V_s$  è di 150 m/s;
- fino a 1,5 m di profondità la  $V_s$  è 200 m/s;
- fino a 4,3 m la  $V_s$  è di 210 m/s;
- fino a 10,2 m la  $V_s$  è di 230 m/s;
- fino a 12 m/s la  $V_s$  arriva a valori di 260 m/s;
- infine, ai 18 m di profondità la  $V_s$  è di 320 m/s;
- dai 18 m ai 23 m è di 330 m/s e ai 30 m è 340 m/s.

### 10.3.4 Misura S4

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S4 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 150 m/s;
- da 10,5 m a 1 m dal p.c. la  $V_s$  è di 220 m/s;
- da 1 m a 3 m dal p.c. la  $V_s$  è di 260 m/s;
- da 3 m a 19,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 290 m/s;
- infine, dai 19,5 m dal p.c. fino ai 30 m di profondità la  $V_s$  è di 310 m/s.

### 10.3.5 Misura S5

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S5 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 100 m/s;
- da 0,5 m a 1 m dal p.c. la  $V_s$  è di 160 m/s;
- da 1 m a 3 m dal p.c. la  $V_s$  è di 240 m/s;
- da 3 m a 23 m dal p.c. la  $V_s$  è di 340 m/s;

- infine, dai 23 m dal p.c. ai 30 m di profondità dal p.c. la  $V_s$  è di 360 m/s.

#### **10.3.6 Misura S6**

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S6 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 1 m dal p.c. la  $V_s$  è di 110 m/s;
- da 1 m a 3 m dal p.c. la  $V_s$  è di 220 m/s;
- da 3 m a 6,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 270 m/s;
- da 6,5 m a 27 m dal p.c. la  $V_s$  è di 290 m/s;
- infine, dai 27 m dal p.c. ai 30 m dal p.c. la  $V_s$  è di 340 m/s.

#### **10.3.7 Misura S7**

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S7 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 120 m/s;
- da 0,5 m a 1,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 200 m/s;
- da 1,5 m a 4,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 220 m/s;
- infine, dai 4,5 m e fino ai 30 m la  $V_s$  è di 310 m/s.

#### **10.3.8 Misura S8**

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo S8 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

- dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 170 m/s;
- da 0,5 m a 1,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 260 m/s;
- da 1,5 m a 12 m dal p.c. la  $V_s$  è di 280 m/s;
- da 12 m a 16 m dal p.c. la  $V_s$  è di 300 m/s;
- da 16 m dal p.c. a 22 m dal p.c. la  $V_s$  è di 350 m/s;
- infine, dai 22 m e fino ai 30 m di profondità la  $V_s$  è di 370 m/s.

### **11. Caratterizzazione fisica e meccanica del sottosuolo**

L'interpretazione dei dati dell'indagine ha portato alla compilazione della tabella 2 nella quale si riportano i parametri elasto-dinamici del sottosuolo, mentre, i parametri geologico-tecnici fondamentali ricavati dalla bibliografia o estrapolati da relazioni empiriche sono riportati nella successiva tabella 3.

È doveroso far notare che, se pur attendibili per la progettazione preliminare, i dati riportati in Tab. 2 sono comunque affetti da un certo errore e che per ottenere parametri geologico-tecnici precisi e idonei per la progettazione esecutiva è indispensabile effettuare idonee prove di laboratorio su campioni di terreno prelevati in loco; ovvero, i parametri riportati in tabella 2 non possono in nessun caso essere considerati sostitutivi dei valori ottenuti con idonee prove di laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica, geotecnica e geologico-tecnica dei terreni.

n.	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Mod. di Poisson	Mod. di Bulk [MPa]	Mod. di Young [MPa]	Mod. di shear [MPa]
R1	< 400	100-170	0,46	200	40	15
R2	500-600	160-260	0,44	450	200	70
R3	700-900	210-300	0,45	900	300	100
R4	1000-1300	230-340	0,45	2000	550 1	90

n.	Peso unità di volume [m]	Angolo di attrito (°)	Coesione (KPa)
R1	1500	20	---
R2	1600	37	15
R3	1650	29	30
R4	1700	32	40

## 12. Categorie di sottosuolo

Sulla base delle risultanze delle indagini MASW condotte nelle aree 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 e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005, DM 17/01/2018).

Le indagini M.A.S.W. hanno consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della  $V_{seq}$  risultante.

Stendimento sismico	$V_{seq}$	Categoria di sottosuolo
WTG1	290 m/s	C
WTG2	310 m/s	C
WTG3	275 m/s	C
WTG4	290 m/s	C
WTG5	310 m/s	C
WTG6	270 m/s	C
WTG7	285 m/s	C
WTG8	310 m/s	C

Sulla base della  $V_{seq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alle Categorie:

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

## 13. 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.

#### 14. Interpretazione stratigrafica schematica dei terreni di fondazione (figg. 7.1, ..., 7.8)

Si riportano di seguito le stratigrafie dei terreni in studio ricavate dall'interpolazione dei dati ottenuti sia dalla campagna geognostica, sia dalla cartografia ufficiale che dal rilevamento geologico di dettaglio eseguito in una fase preliminare alla campagna geologica.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG1 (fig. 8.1):

- da 0,00 m a -0,30 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,30 m a oltre -1,00 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -1,00 m a -3,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -3,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG2 (fig. 8.2):

- da 0,00 m a -0,30 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,30 m a oltre -1,50 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -1,50 m a -3,00/-6,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -3,00/-6,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG3 (fig. 8.3):

- da 0,00 m a -0,50 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,30 m a oltre -1,50 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -1,50 m a -2,00/-6,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -2,00/-6,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG4 (fig. 8.4):

- da 0,00 m a -0,30 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,30 m a oltre -1,00 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -1,00 m a -3,00/-4,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -3,00/-4,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG5 (fig. 8.5):

- da 0,00 m a -0,30 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,30 m a oltre -1,00/-1,50 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -1,00/-1,50 m a -4,00/-5,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -4,00/-5,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG6 (fig. 8.6):

- da 0,00 m a -0,50/-1,00 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,50/-1,00 m a oltre -2,00/-3,00 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -2,00/-3,00 m a -5,00/-6,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -5,00/-6,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG7 (fig. 8.7):

- da 0,00 m a -0,50 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,50 m a oltre -2,00 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -2,00 m a -4,00/-5,00 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -4,00/-5,00 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG8 (fig. 8.8):

- da 0,00 m a -0,50 m dal p.c.: Terreno vegetale;
- da -0,50 m a oltre -1,00 m dal p.c.: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- da -1,00 m a -4,50 m dal p.c.: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate;
- da -4,50 m dal p.c. in poi: argille molto compatte e ben addensate.

### 15. Classificazione sismica dell'area

La zonazione sismica nazionale è stata definita con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3274/2003 primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003). In questa, il territorio italiano è stato classificato in quattro zone di rischio.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 2 marzo 2004, n. 153 la Regione Puglia ha recepito l'O.P.C.M. n. 3274/2003, attribuendo ai singoli comuni una propria categoria sismica.

L'O.P.C.M. n. 3274/2003 è stata a sua volta aggiornata con l'O.P.C.M. n. 3519/2006 che ha classificato la zonazione sismica sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni (Tab. 4).

Da questa si evince che il territorio di Matera ricade in zona sismica 3:

Località	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni ( $a_g$ )	Accelerazione massima orizzontale convenzionale
Matera	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 < a_g < 0,15$	0,15 g

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ $a_0$ ]
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25$ g	0,35 g
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g

Tab. 4 - Classificazione sismica elaborata ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3519/2006

## 16. 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 della cartografia P.A.I. della Basilicata redatte dall'Autorità di Bacino della Basilicata è possibile supporre che i siti sui quali si intende realizzare i singoli aerogeneratori 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 che potrebbe, con eventuali variazioni del livello piezometrico, interferire con le fondazioni in progetto;
- Sono presenti, nel sito o in prossimità di esso, corsi d'acqua permanenti e/o stagionali che possano far supporre un rischio inondazione;
- I terreni argillosi e argillo-sabbiosi presentano una buona permeabilità d'insieme che consentirà alle acque meteoriche di defluire in tempi relativamente rapidi evitando la formazione di ristagni d'acqua nocivi per le strutture che si intende realizzare.

## 17. Stabilità nei confronti della liquefazione

I parametri caratterizzanti l'azione sismica da assumere per l'applicazione dei metodi "semplificati" all'analisi di liquefazione sono l'accelerazione massima e la magnitudo attese al sito in un dato periodo di riferimento  $V_R$ , con una data probabilità di superamento  $P_{V_R}$ .

Il periodo di riferimento  $V_R$  e la probabilità di superamento  $P_{V_R}$  sono legati al tipo di struttura e alla condizione di stato limite da verificare.

Di seguito si elencano i dati attinenti alla struttura forniti dal progettista:

- Classe Edificio: I – Presenza occasionale di persone [...];
- $V_N$  (vita nominale): 50 anni (Tabella 2.4.I delle NTC-18);
- $C_U$  (Coefficiente d'uso corrispondente): 0,7;
- $V_R$  (Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \cdot C_U$ ): 35 anni (NTC-18 §2.4.3);
- Stato Limite considerato: SLD.

Stato limite		P <sub>VR</sub> : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V <sub>R</sub>
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

- P<sub>VR</sub>, (probabilità di superamento dell'evento sismico, f V<sub>R</sub>): 10% (Tabella 3.2.I delle NTC-18);

Fissati quindi V<sub>R</sub> e P<sub>VR</sub> è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica, T<sub>R</sub> espresso in anni, mediante la relazione (NTC-18 §3.2.1):

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR})$$

Stato limite		Valori in anni del periodo di ritorno T <sub>R</sub> al variare del periodo di riferimento V <sub>R</sub>
Stati limite di esercizio	SLO	T <sub>R</sub> = 0,60xV <sub>R</sub>
	SLD	T <sub>R</sub> = V <sub>R</sub>
Stati limite ultimi	SLV	T <sub>R</sub> = 9,50xV <sub>R</sub>
	SLC	T <sub>R</sub> = 19,50xV <sub>R</sub>

Nel caso in oggetto, T<sub>R</sub> = 35 anni.

In relazione alle verifiche di stabilità del sito (NTC18) lo stato limite di riferimento è SLD, pertanto ai fini della suscettibilità alla liquefazione sono condotte solo verifiche nei confronti di quest'ultimo stato limite e di conseguenza si ricavano i valori dei parametri necessari per la definizione dell'azione sismica contenuti nelle NTC18:

- l'accelerazione orizzontale massima su terreno rigido orizzontale a<sub>g</sub>, espressa in g;
- il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, F<sub>0</sub>, adimensionale;
- il valore del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale, TC\*, espresso in secondi.
- A<sub>g</sub> = 0,040
- F<sub>0</sub> = 2,493
- TC\* = 0,287
- A<sub>max</sub> [m/s<sup>2</sup>] = 0,588

L'accelerazione massima al suolo a<sub>gmax</sub> (A<sub>max</sub>/9.81 m/s<sup>2</sup>- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.059. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo a<sub>gmax</sub> < 0.1, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione può essere omessa:

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)<sub>60</sub> > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)<sub>60</sub> 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  $U_c > 3,5...$ ”.

### 18. Modello geologico del sottosuolo (fig. 9)

Lo studio geologico deve pervenire alla definizione, preciso riferimento al progetto, di un modello geologico tridimensionale, comprendente il volume significativo, basato sulla conoscenza dei caratteri litostratigrafici, strutturali, geomorfologici, idrogeologici e sismici del sito d'interesse, acquisiti attraverso specifici rilevamenti di superficie e sulla scorta di indagini dirette e indirette. Dovranno essere definite le eventuali condizioni di instabilità, in atto e/o potenziali, e la loro tendenza evolutiva.

Saranno definite:

- le Unità Litologiche di riferimento;
- l'assetto stratigrafico locale;
- l'assetto idrogeologico locale e schema di circolazione idrica sotterranea e superficiale;
- il grado di affidabilità del modello geologico di riferimento.

Modello geologico di riferimento per il parco eolico		
Profondità (dal p.c.)		Litologia
da 0,00 m	a -0,50 m	terreno vegetale
da -0,50 m	a -2,00 m	argille debolmente alterate, addensate e compatte
da -2,00 m	a -5,00 m	argille poco alterate, molto compatte e ben addensate
da -5,00 m	in poi	argille molto compatte e ben addensate

### 19. Vincoli

#### 19.1 Vincoli “P.A.I.” redatti dall’Autorità di Bacino della Basilicata (figg. 11.1, 11.2, 12.1 e 12.2)

L'osservazione della cartografia “P.A.I.” redatta dall’Autorità di Bacino della Basilicata mostra che:

Descrizione	Livello	Vincolo
Pericolosità Geomorfologica	R1	NO
	R2	NO
	R3	NO
	R4	NO
Pericolosità Idraulica	Alluvioni Tr 500 anni	NO
	Alluvioni Tr 200 anni	NO
	Alluvioni Tr 30 anni	NO

#### 19.2 Vincoli del D.Lgs. 152/06 - Art. 121 del PRTA “Piano Regionale di Tutela delle Acque”

Dalla consultazione della documentazione relativa al Piano Regionale di Tutela delle Acque della Regione Basilicata è possibile evincere che:

Descrizione	Vincolo
Zone a rischio desertificazione	Media
Zone vulnerabili da nitrati	Zone agricole non vulnerabili
Aree di salvaguardia: Aree Naturali Protette e Siti Natura 2000	NO
Vincolo Idrogeologico	SI

in particolare in merito:

- alla Deliberazione di Giunta Regionale n. 412/2015;
- alle Figure 14.1 e 14.2 "Vincolo idrogeologico";

È stato possibile evincere che:

- l'area in studio non è gravata da misure di tutela e di salvaguardia legate alle aree naturali protette ed ai siti Natura2000;
- Gli aerogeneratori WTG 1 e 2 ricadono nella perimetrazione del vincolo idrogeologico redatta ai sensi del R.D. 3267/1923.

Si rimanda alla relazione idrogeologica per maggiori chiarimenti in merito.

### 19.3 Vincoli imposti dal P.P.R. della Regione Basilicata (figg. 13.1 e 13.2)

La Legge regionale 11 agosto 1999, n. 23 Tutela, governo ed uso del territorio stabilisce all'art. 12 bis che "la Regione, ai fini dell'art. 145 del D. Lgs. n. 42/2004, redige il Piano Paesaggistico Regionale quale unico strumento di tutela, governo ed uso del territorio della Basilicata sulla base di quanto stabilito nell'Intesa sottoscritta da Regione, Ministero dei Beni e delle attività Culturali e del Turismo e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare". Il Piano Paesaggistico Regionale (PPR) 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 PPR persegue le finalità di tutela e valorizzazione, nonché di recupero e riqualificazione dei paesaggi della Basilicata. Il PPR 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.

#### 19.3.1 Quadro Conoscitivo

Componenti storiche e culturali	Presenza del vincolo nell'area in studio
Impianti eolici di grande generazione – in esercizio	NO
Impianti eolici di grande generazione – autorizzati	NO
Impianti idroelettrici – in esercizio ed in corso di autorizzazione	NO
Inventario dei fenomeni franosi	NO

#### 19.3.2 Beni Culturali

Componenti storiche e culturali	Presenza del vincolo nell'area in studio
Monumentali	NO
Archeologici - Aree	NO
Archeologici - Tratturi	NO

#### 19.3.3 Beni Paesaggistici

Componenti geomorfologiche	Presenza del vincolo nell'area in studio
Montagne eccedenti i 1200 m s.l.m.	NO
Territori Costieri	NO
Vulcani	NO
Geositi	NO

Componenti idrologiche	Presenza del vincolo nell'area in studio
Fiumi, torrenti e corsi d'acqua	NO
Laghi ed invasi artificiali	NO
Ghiacciai	NO

Componenti botanico-vegetazionali	Presenza del vincolo nell'area in studio
Zone umide	NO
Foreste e boschi	NO
Parchi e riserve	NO
Alberi monumentali	NO

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

## 20. Prescrizioni

Su tutta l'area destinata all'impianto eolico prossima all'abitato di Matera affiorano delle unità argilloso limose grigio-azzurrastrare più o meno sabbiose relative alla Formazione delle Argille calcigne ( $q^1_a$ , Villafranchiano) con sottili inclusioni delle sabbie dello staturo ( $q^1_s$ , Villafranchiano) dei conglomerati di Irsina ( $q^1_{cg}$ , Villafranchiano).

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

Non è stata individuata alcuna falda freatica superficiale.

Dalla consultazione della documentazione relativa al Piano Regionale di Tutela delle Acque della Regione Basilicata è possibile evincere che gli aerogeneratori WTG1 e 2 ricadono nella perimetrazione del vincolo idrogeologico redatta ai sensi del R.D. 3267/1923.

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

In conclusione, il progetto dell'impianto eolico proposto non modificherebbe in maniera sostanziale la situazione geomorfologica delle aree.

Pertanto gli interventi non andranno ad incrementare in alcun modo il livello di pericolosità geomorfologica per le aree adiacenti e per l'area stessa.

Dal rilevamento in campo e dal confronto dell'ortofoto con la carta dei reticoli idrografici della regione Basilicata è stata evidenziata la presenza di diversi piccoli impluvi incisi nei terreni argillosi a carattere prettamente stagionale, caratterizzati da alvei stretti e molto profondi. Questi intersecano il cavidotto nell'area perimetrata dal parco fotovoltaico in 3 punti in prossimità della WTG8.

Le aree succitate, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni sulla cartografia ufficiale del PAI non ricadono nelle tre zone classificate come esondabili per tempi di ritorno di 500, 200 e 30 anni, come definite dal Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Basilicata.

Pertanto, queste evidenze hanno consentito di ritenere l'area destinata alle opere in progetto in sicurezza idraulica.

L'area di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI aggiornate al 2022 su cartografia ufficiale non ricade in nessuna delle quattro zone a rischio frana (R1, R2, R3 e R4), come definite dal PAI Basilicata (figg. 12.1 e 12.2).

Sulla base della  $V_{s_{eq}}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alle Categorie:

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

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. è possibile supporre che i siti sui quali si intende realizzare l'impianto eolico 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 alcuna falda superficiale nell'area;
- I terreni argillosi, intercettati dalle opere in progetto, presentano una permeabilità d'insieme bassa che consente alle acque meteoriche di idrefluire superficialmente in impluvi canalizzati a carattere torrentizio e prettamente stagionale.

Il territorio di Matera ricade in zona sismica 3:

Località	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni ( $a_g$ )	Accelerazione massima orizzontale convenzionale
Matera	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 < a_g < 0,15$	0,15 g

Modello geologico di riferimento per il parco eolico		
Profondità (dal p.c.)		Litologia
da -0,00 m	a -0,50 m	terreno vegetale
da -0,50 m	a -2,00 m	argille debolmente alterate, addensate e compatte
da -2,00 m	a -5,00 m	argille poco alterate, molto compatte e ben addensate
da -5,00 m	In poi	argille molto compatte e ben addensate

L'accelerazione massima al suolo  $a_{gmax}$  ( $A_{max}/9.81$  m/s<sup>2</sup>- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.059. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo  $a_{gmax} < 0.1$ , la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione può essere omessa.

Si consiglia di incastrare le fondazioni nei terreni analizzati.

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, agosto 2022

il Geologo

Dott. Raffaele SASSONE



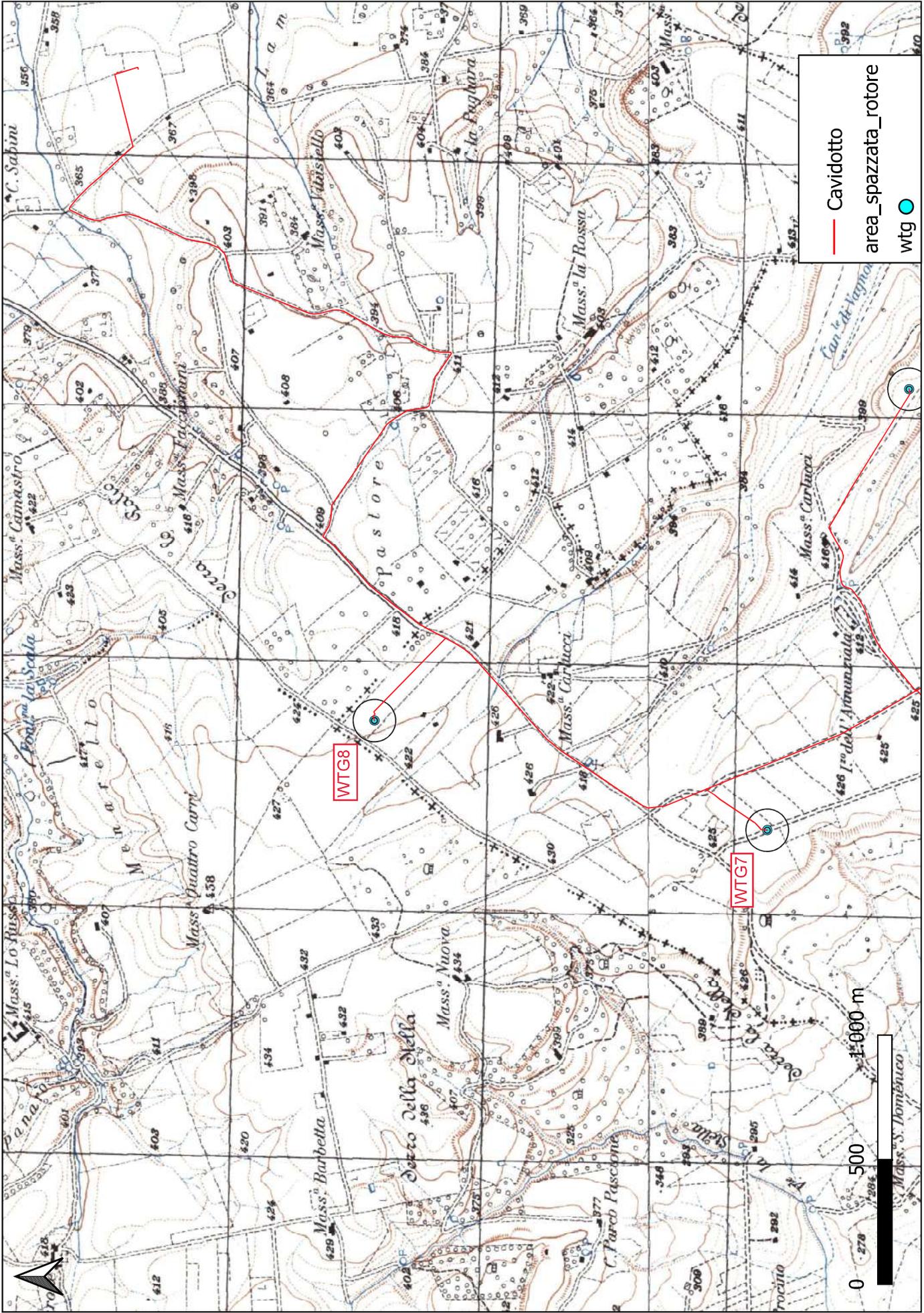


Figura 1.1: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su base cartografica IGM scala 1:25000

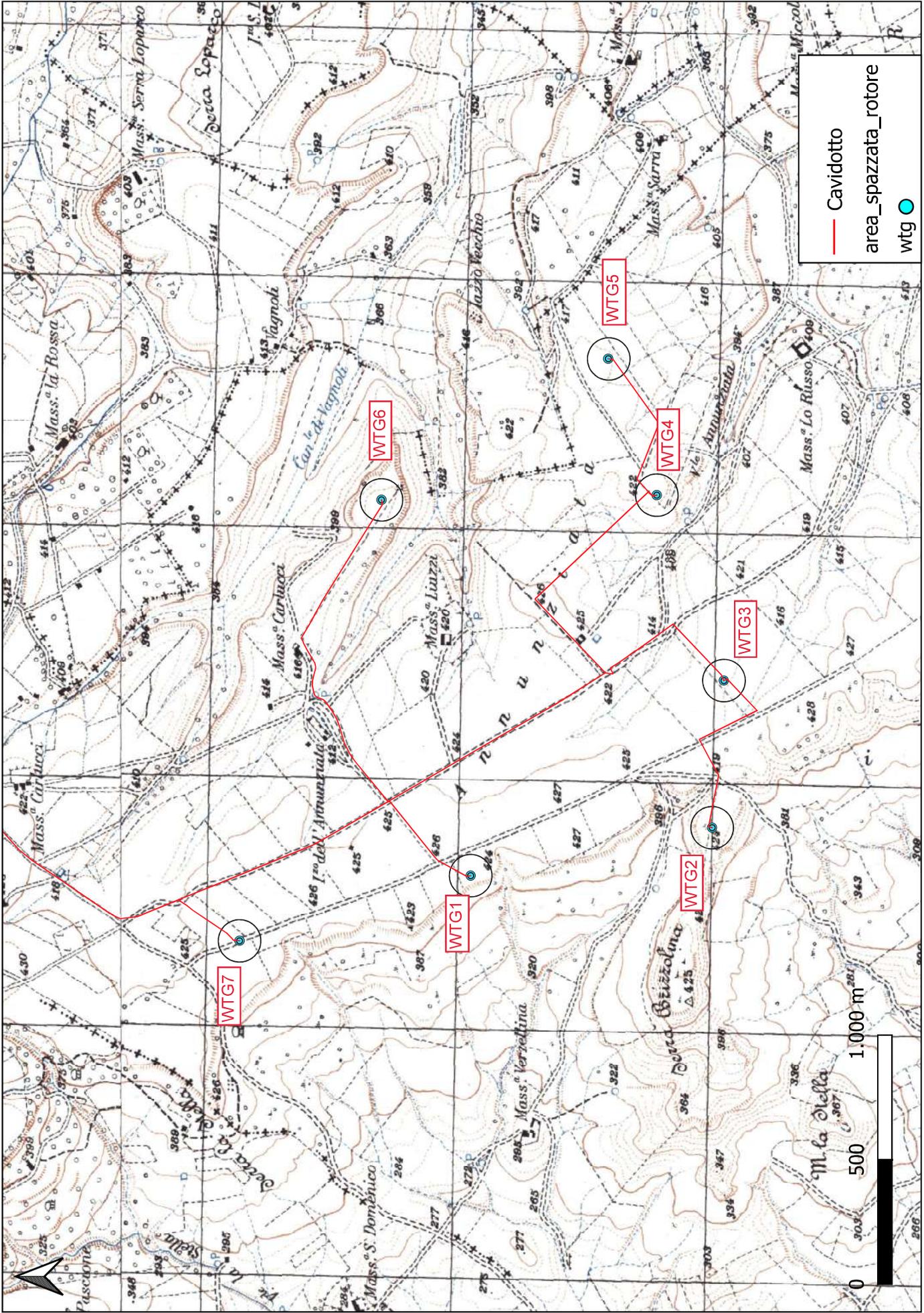


Figura 1.2: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su base cartografica IGM scala 1:25000

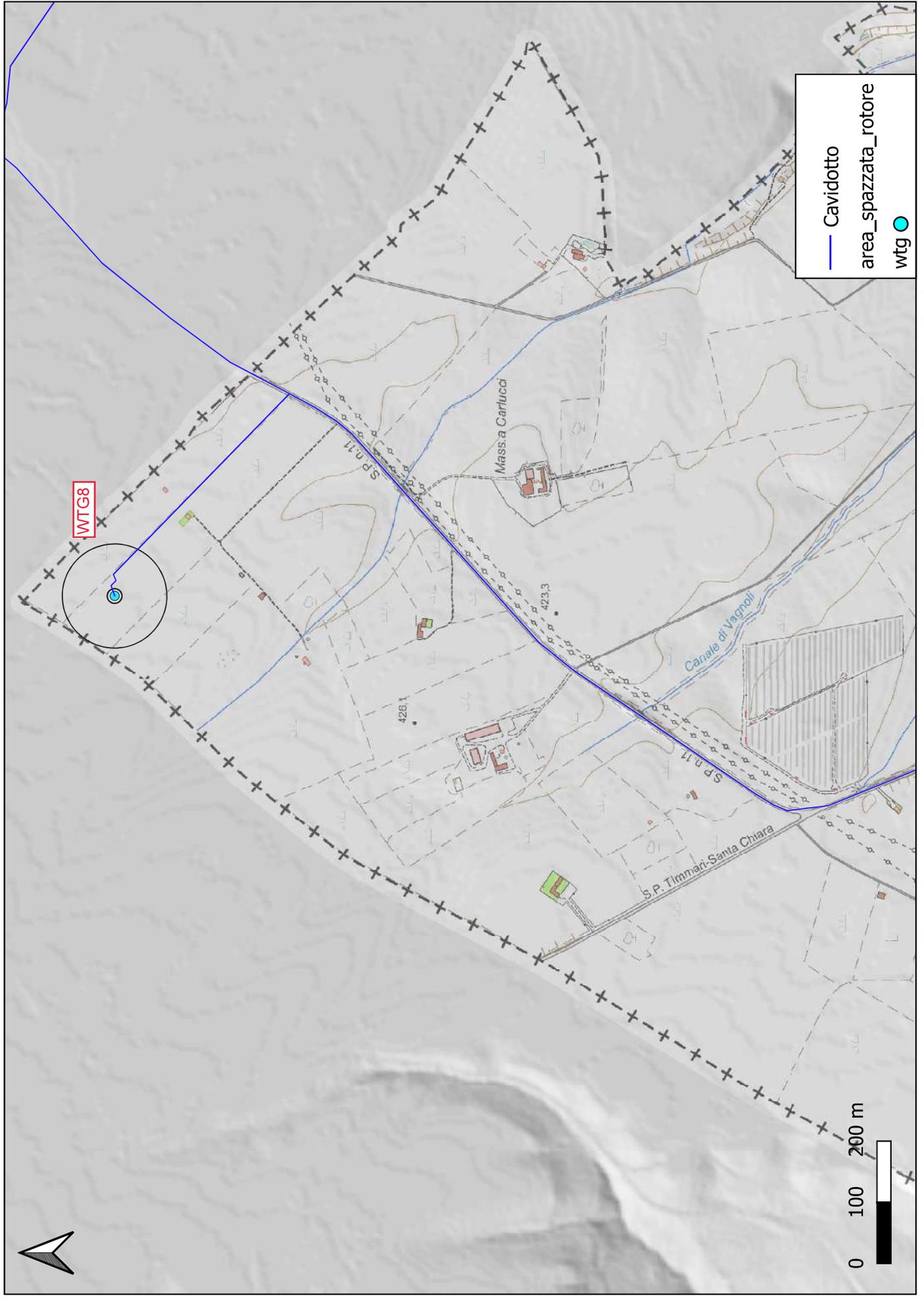


Figura 2.1: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su base cartografica CTR scala 1:10000

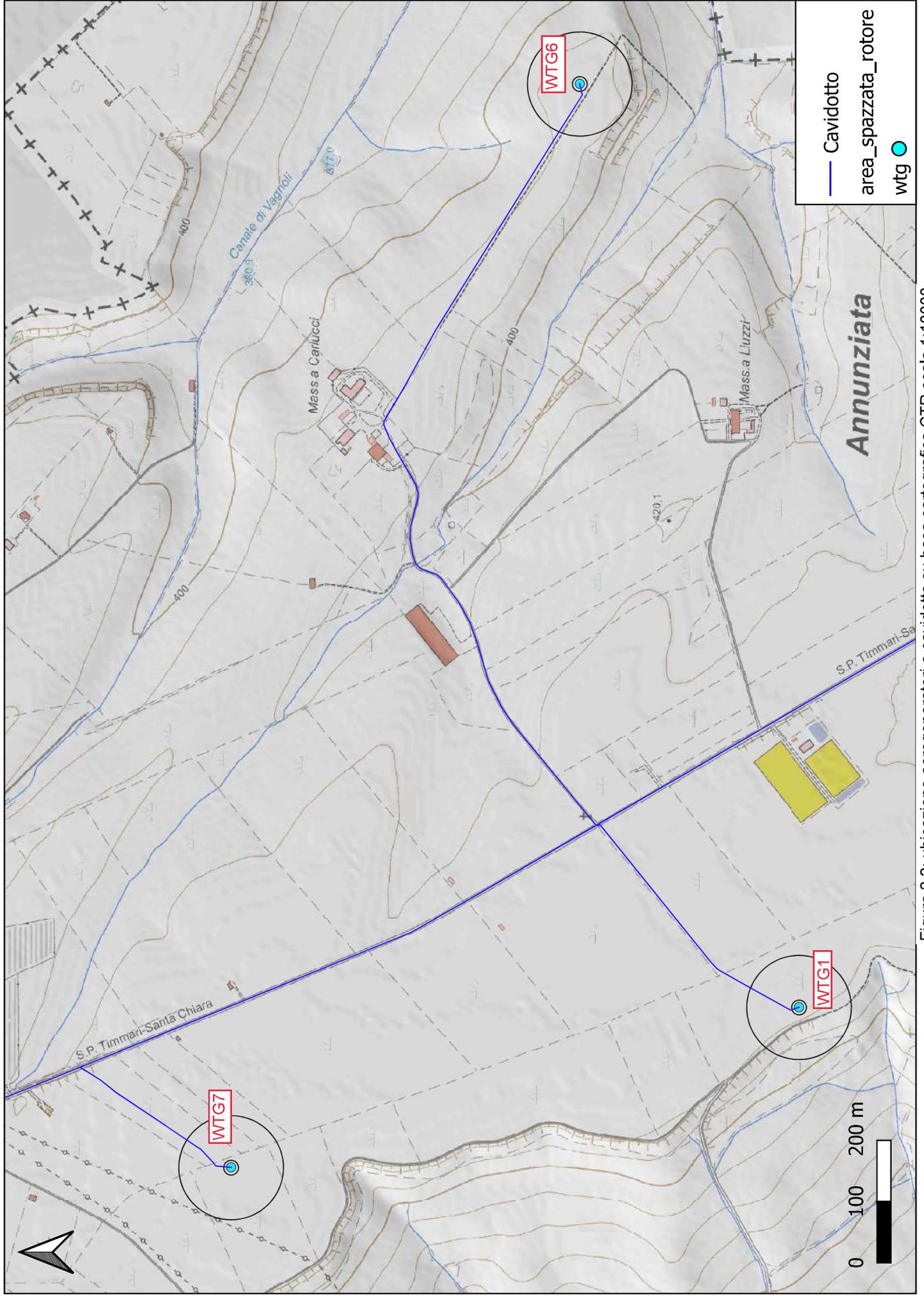


Figura 2.2: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su base cartografica CTR scala 1:10000

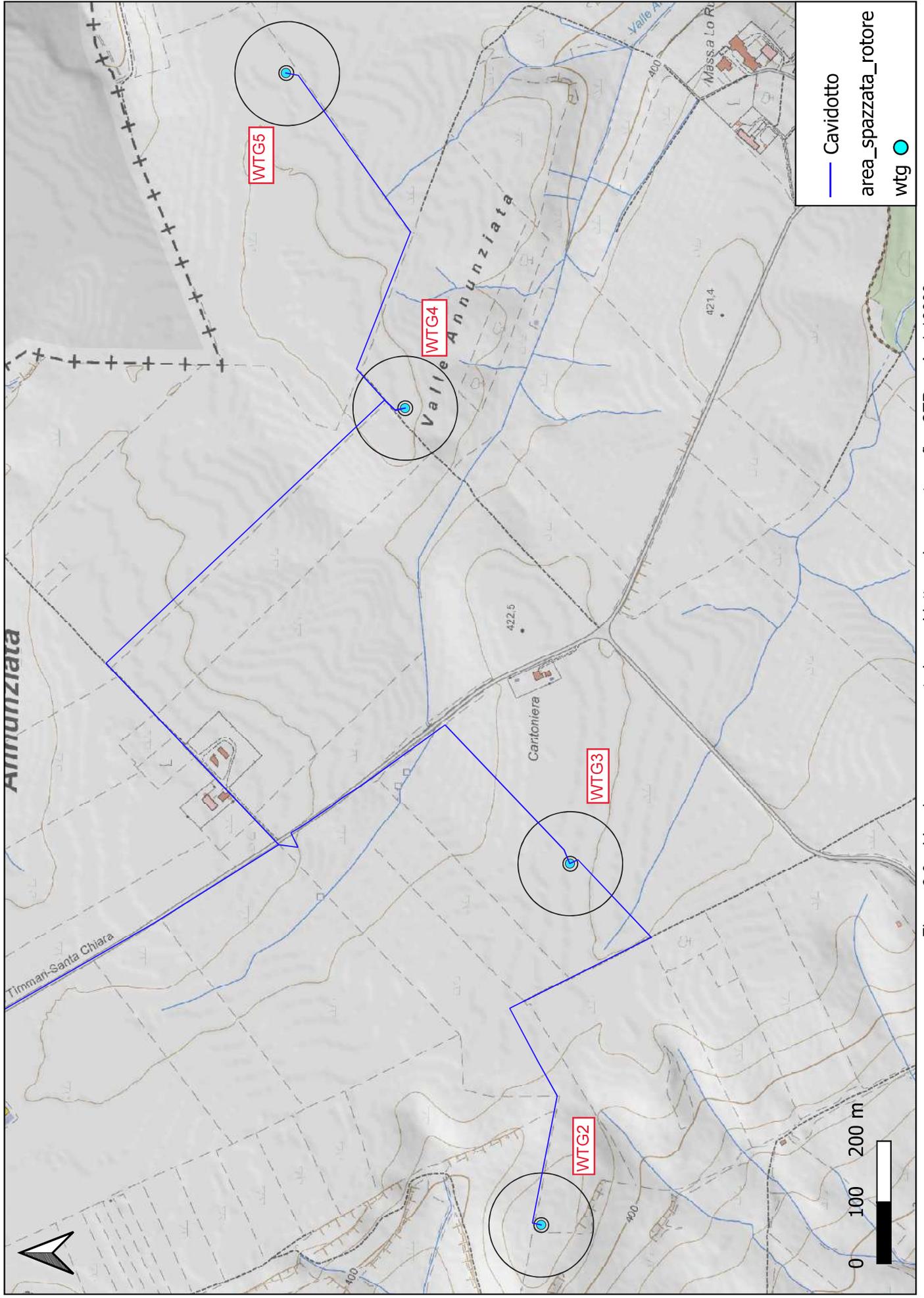


Figura 2.3: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su base cartografica CTR scala 1:10000



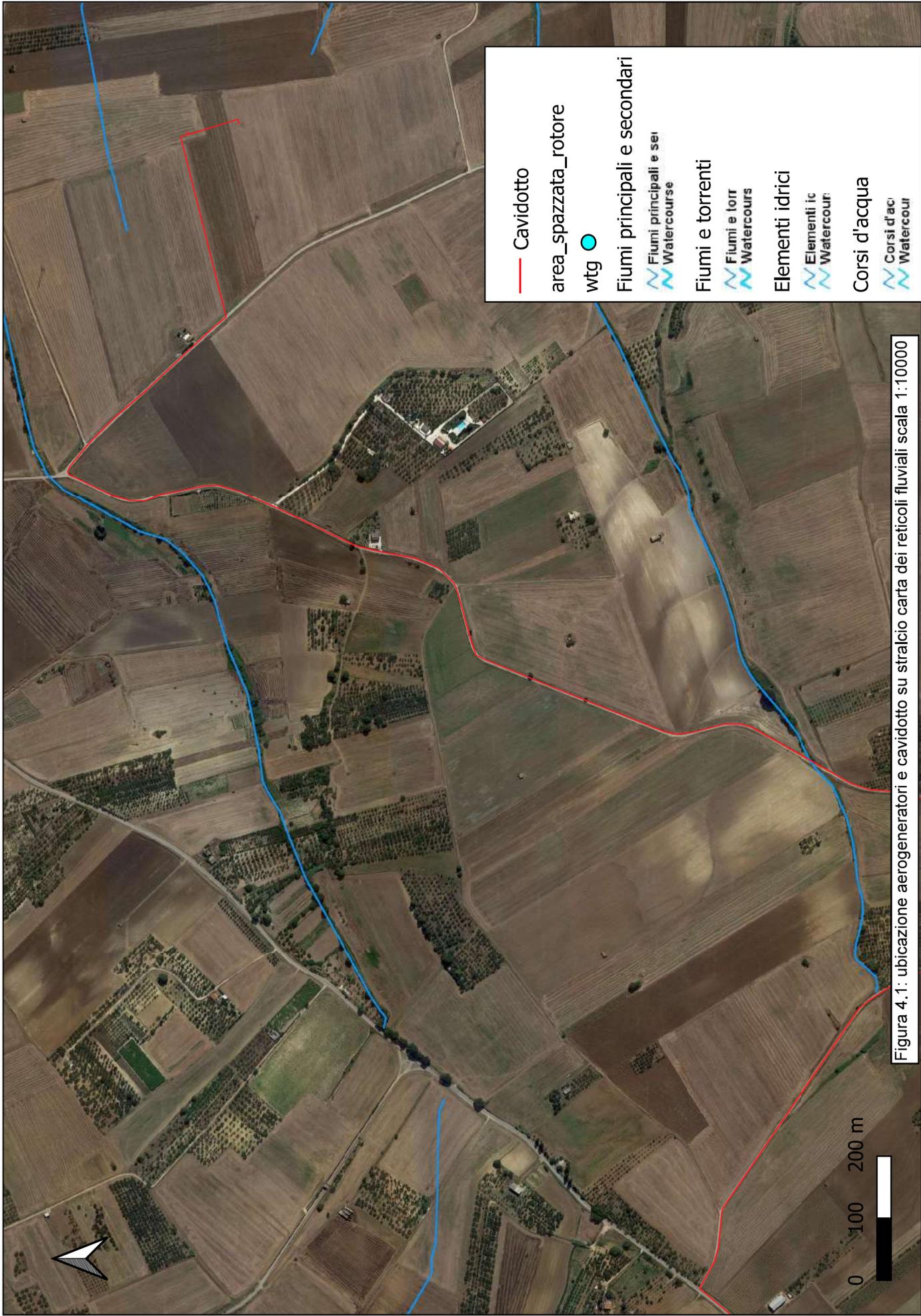
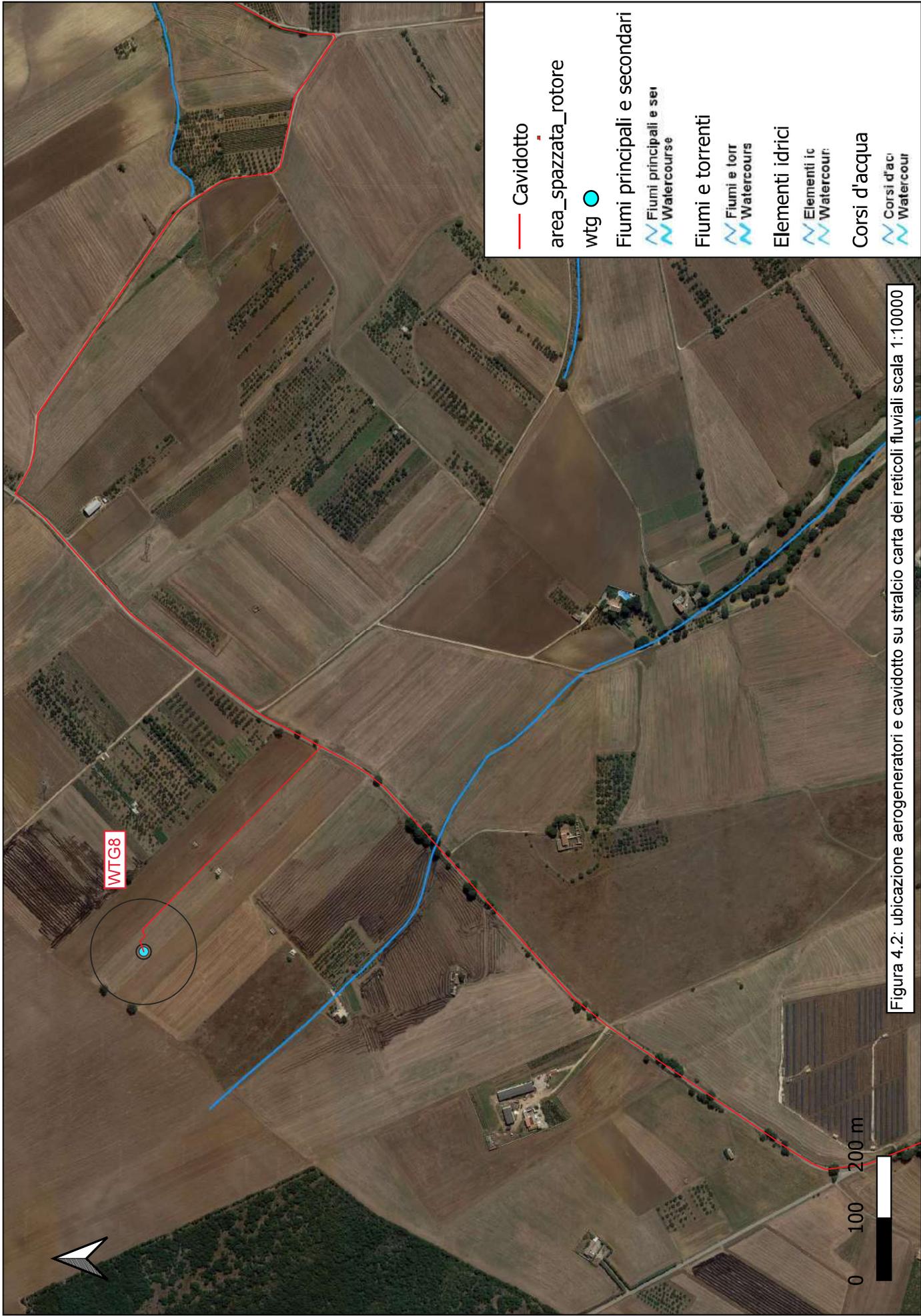


Figura 4.1: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su stralcio carta dei reticoli fluviali scala 1:10000



- Cavido
- area\_spazata\_rotore
- wtg
- Fiumi principali e secondari
- Fiumi principali e sei
- Watercourse
- Fiumi e torrenti
- Fiumi e torr
- Watercours
- Elementi idrici
- Elementi ic
- Watercour
- Corsi d'acqua
- Corsi d'ac
- Watercour

Figura 4.2: ubicazione aerogeneratori e cavido su stralcio carta dei reticoli fluviali scala 1:10000

Figura 4.3: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su stralcio carta dei reticoli fluviali scala 1:10000



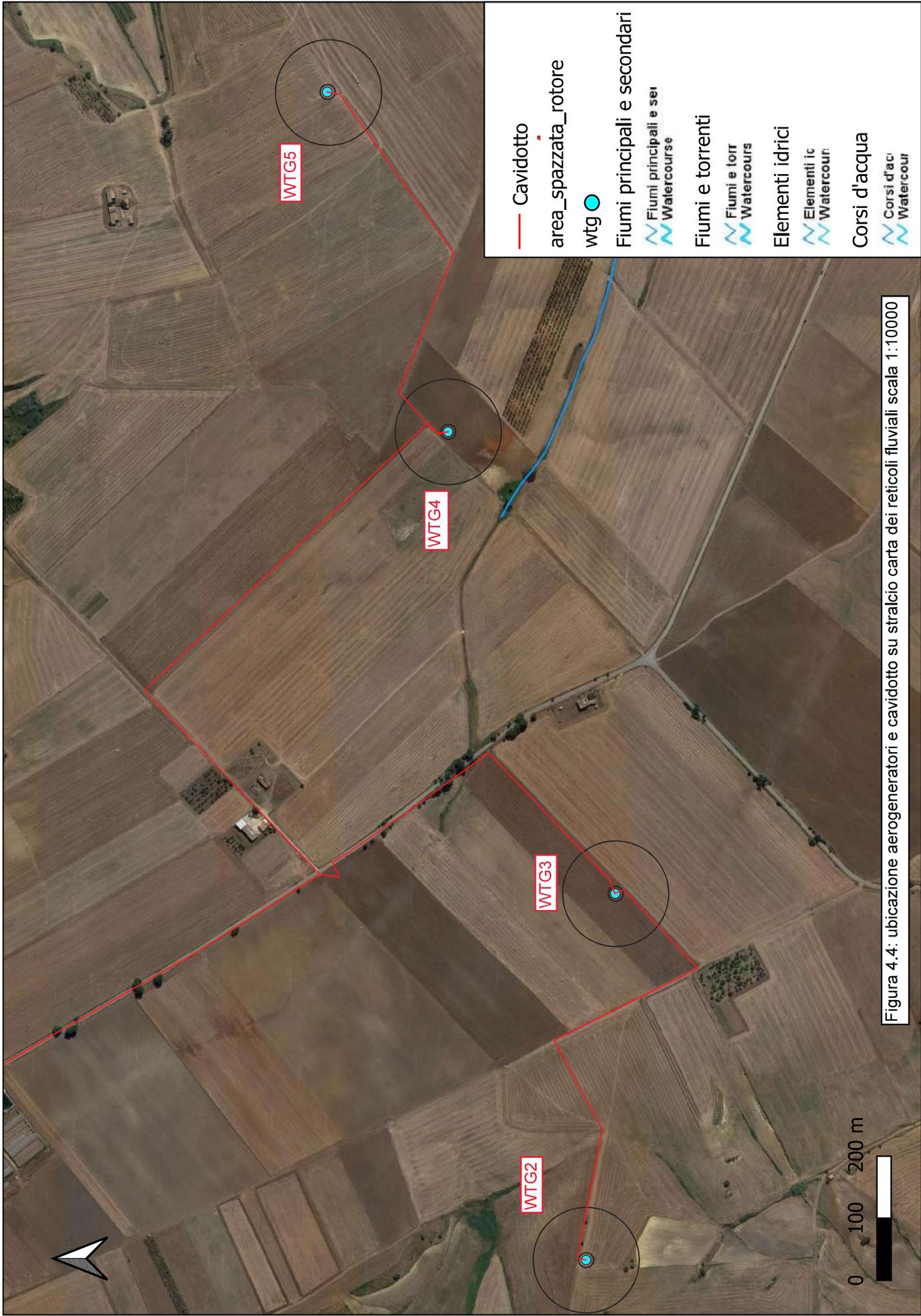


Figura 4.4: ubicazione aerogeneratori e cavidotto su stralcio carta dei reticoli fluviali scala 1:10000

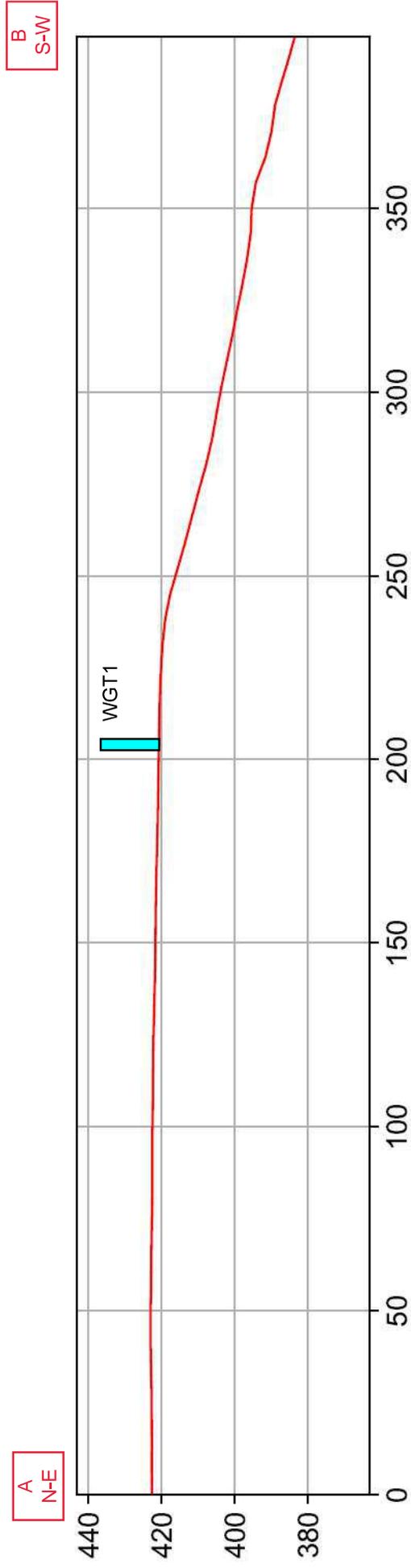
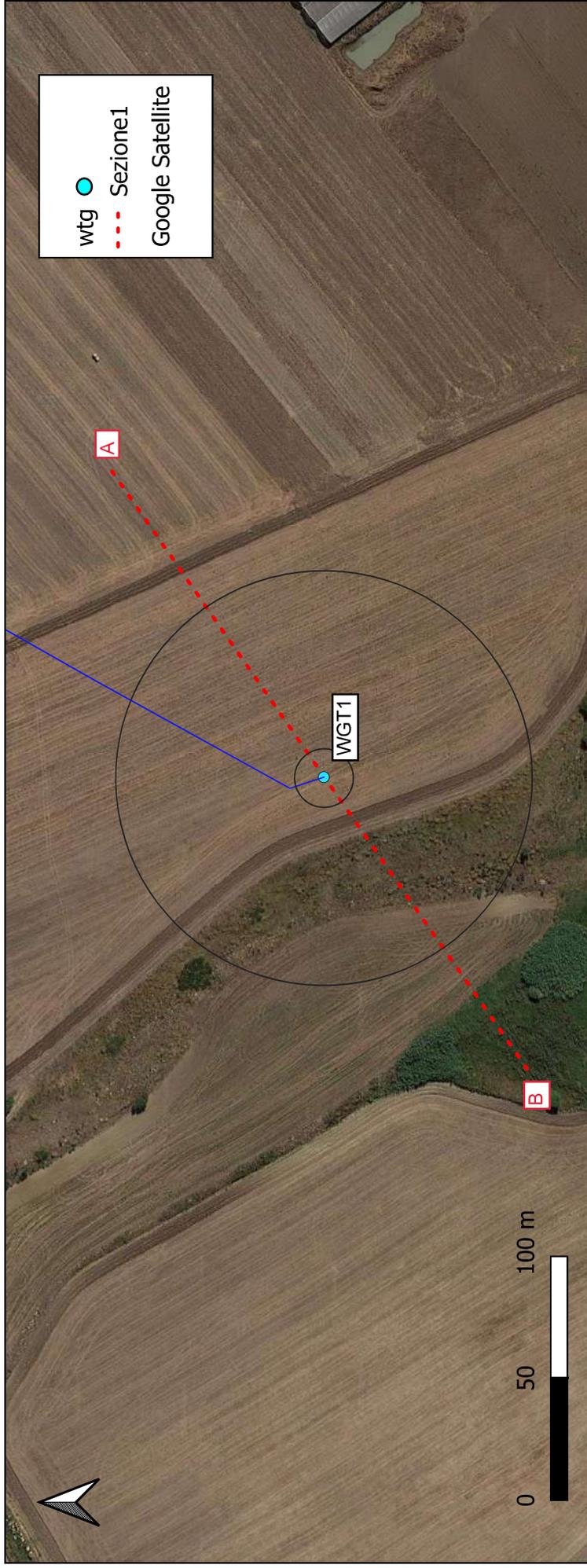


Figura 5.1: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:3000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WGT1

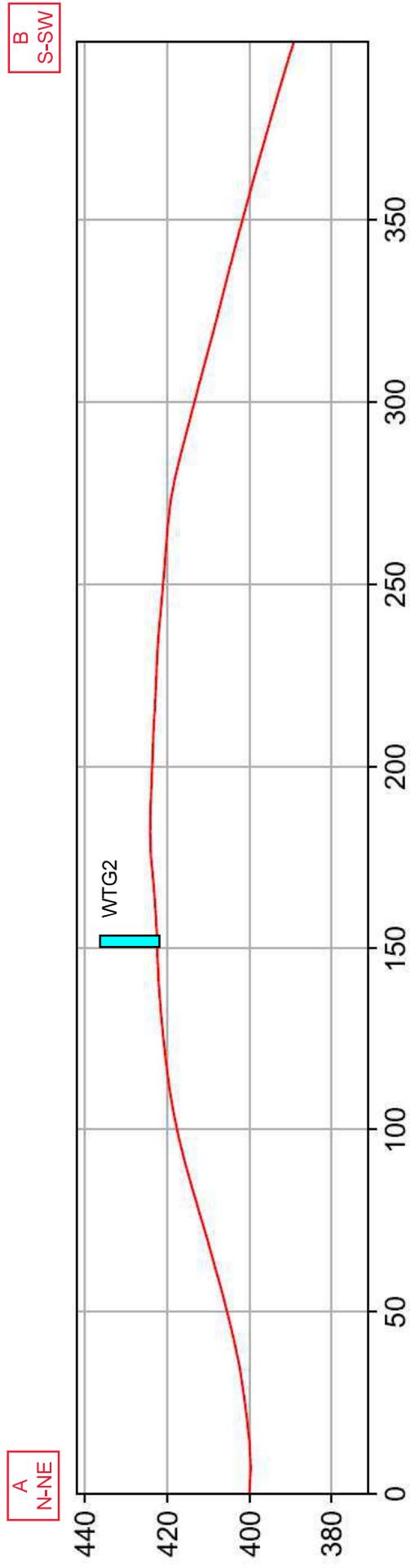
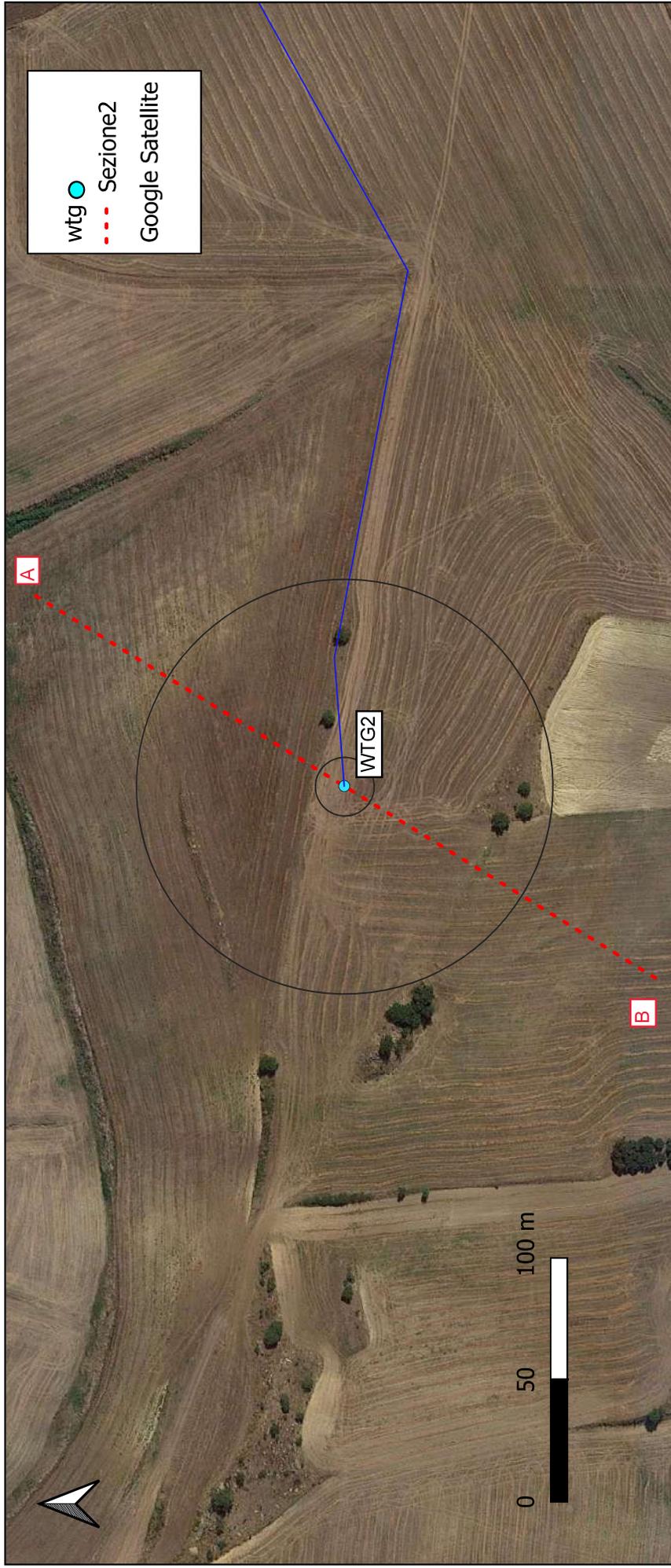


Figura 5.2: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:3000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG2

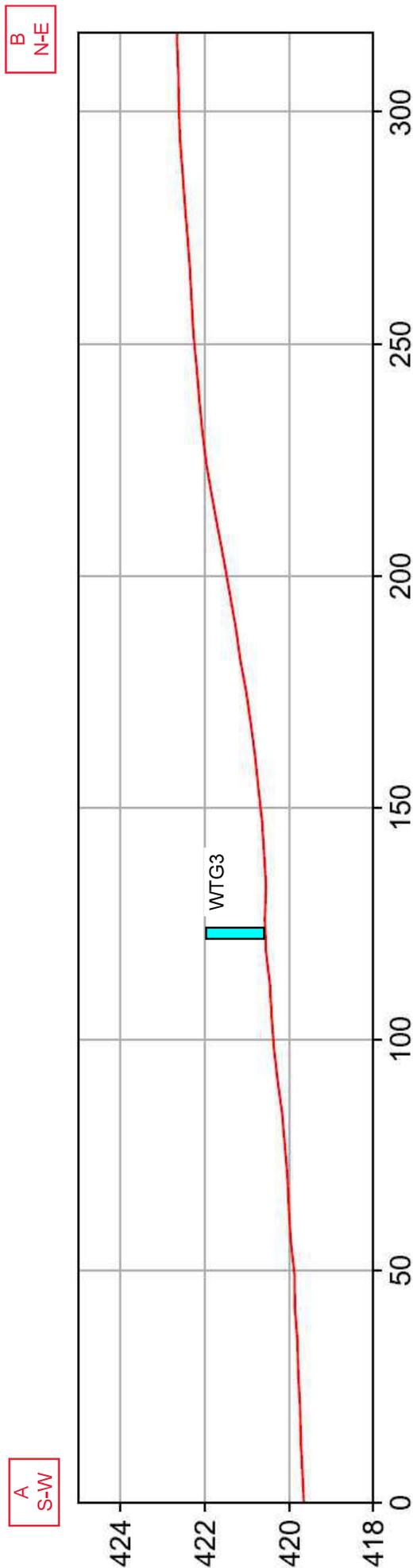
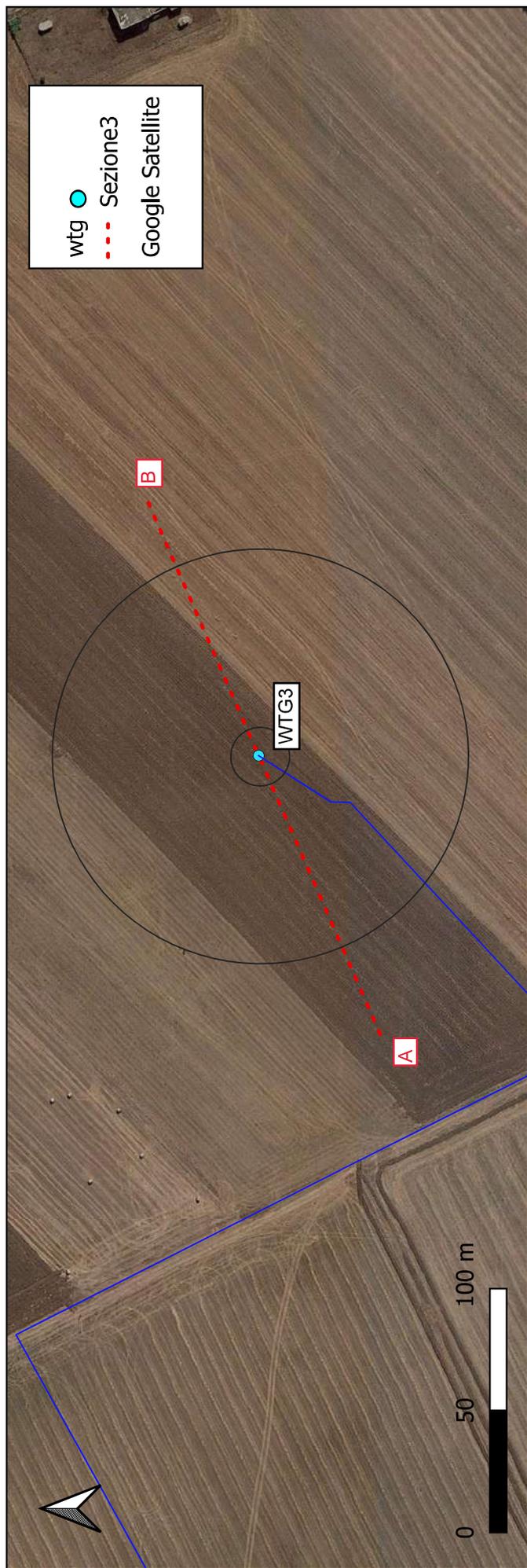


Figura 5.3: ubicazione traccia "A-B" su stralco ortofoto scala 1:3000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG3

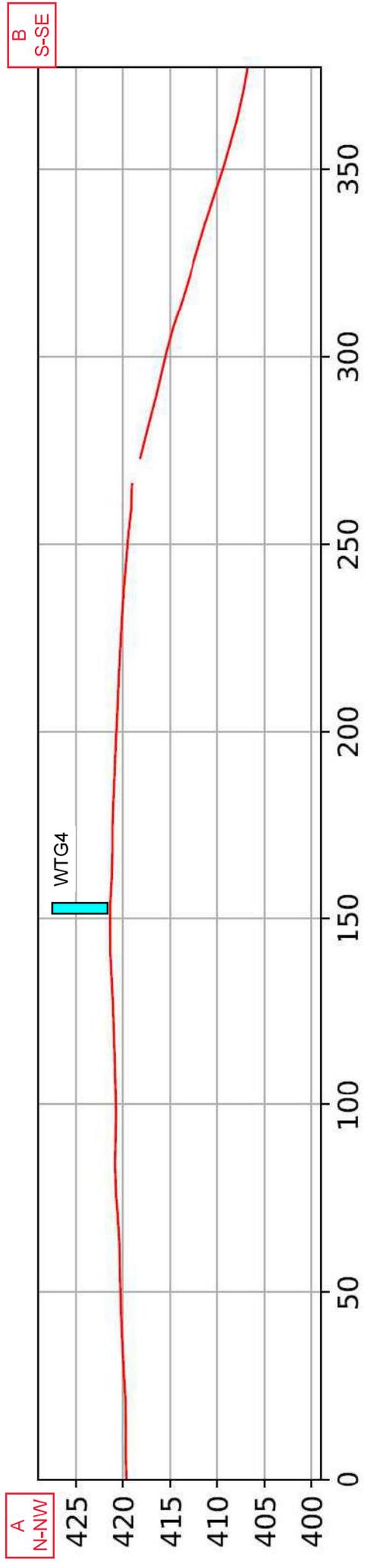
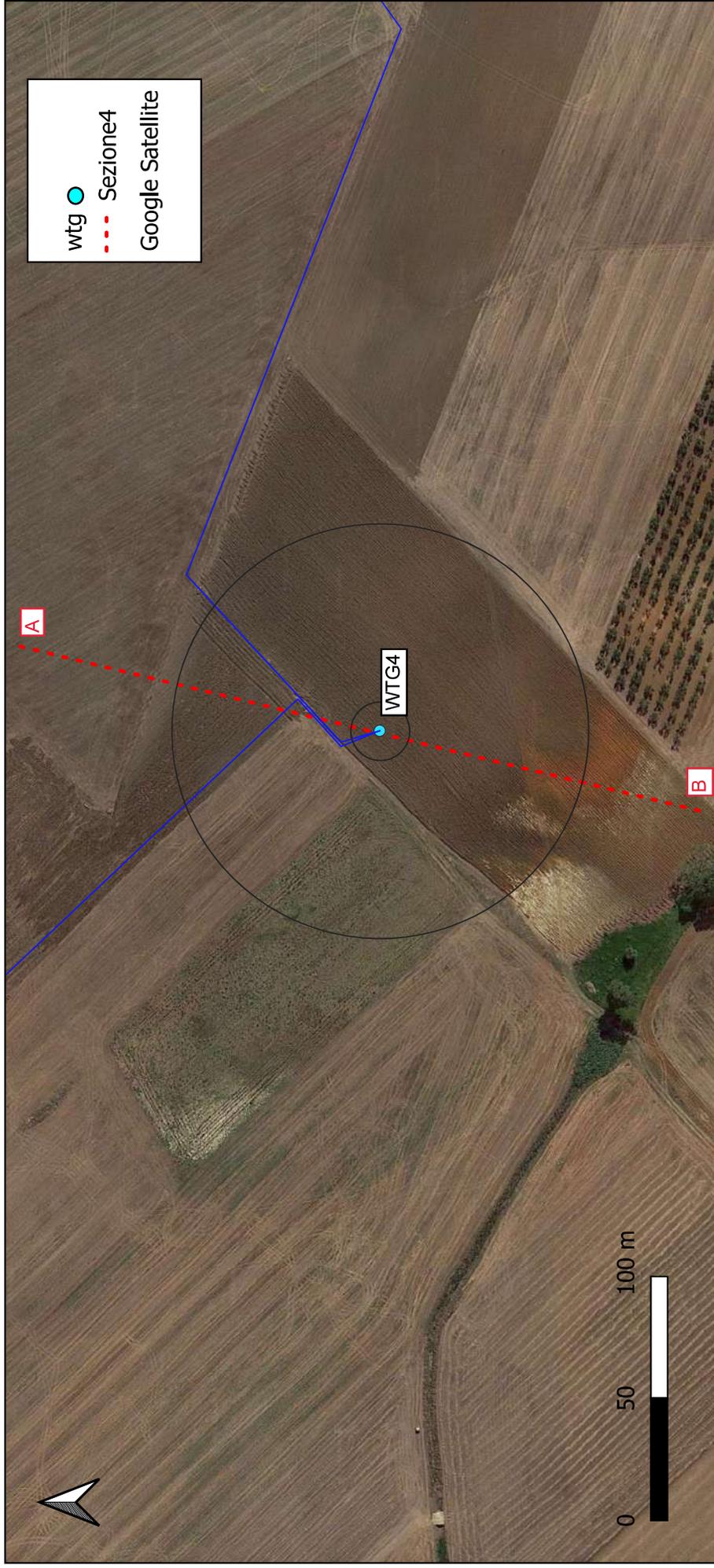


Figura 5.4: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:3000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG4

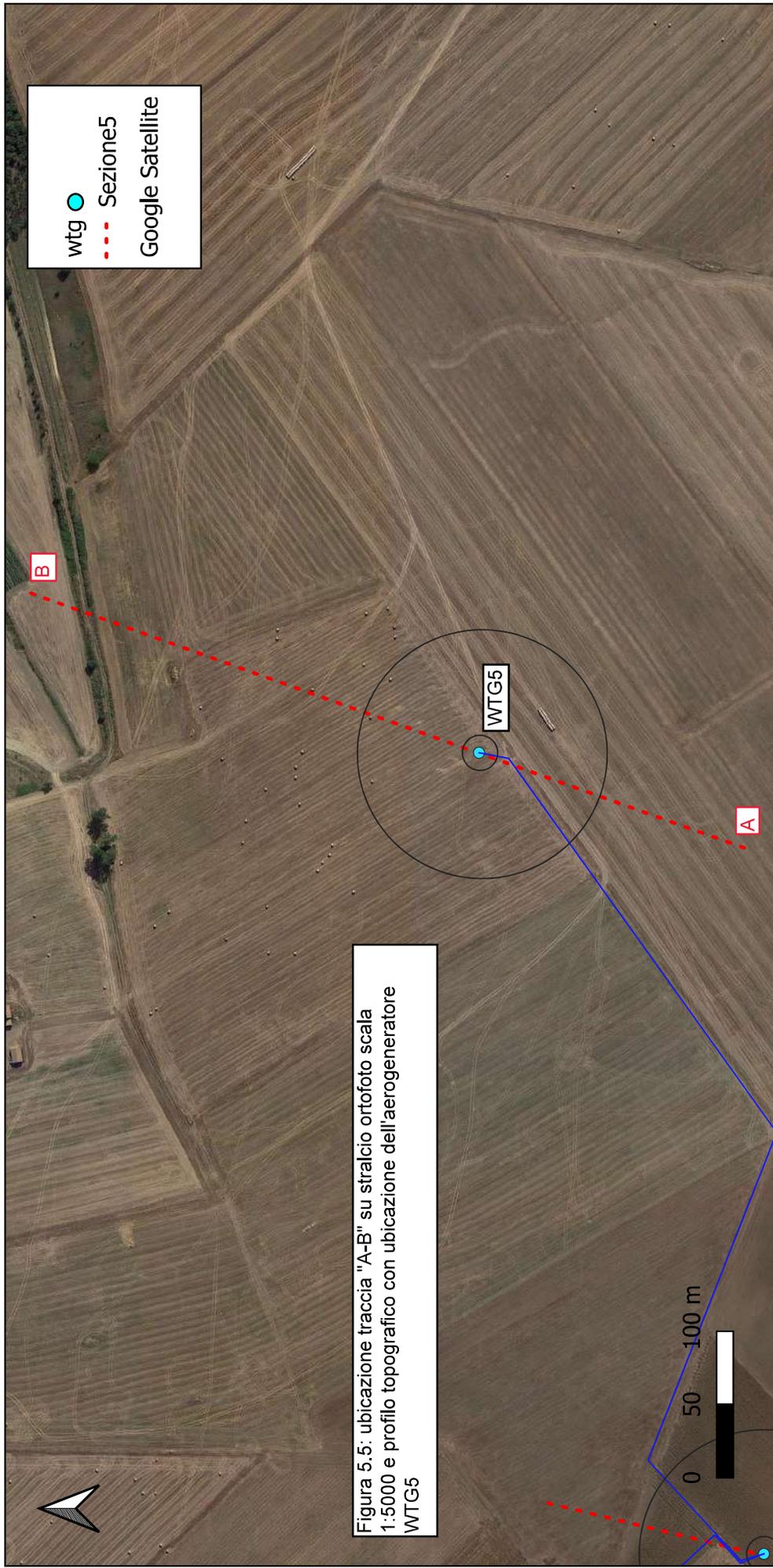
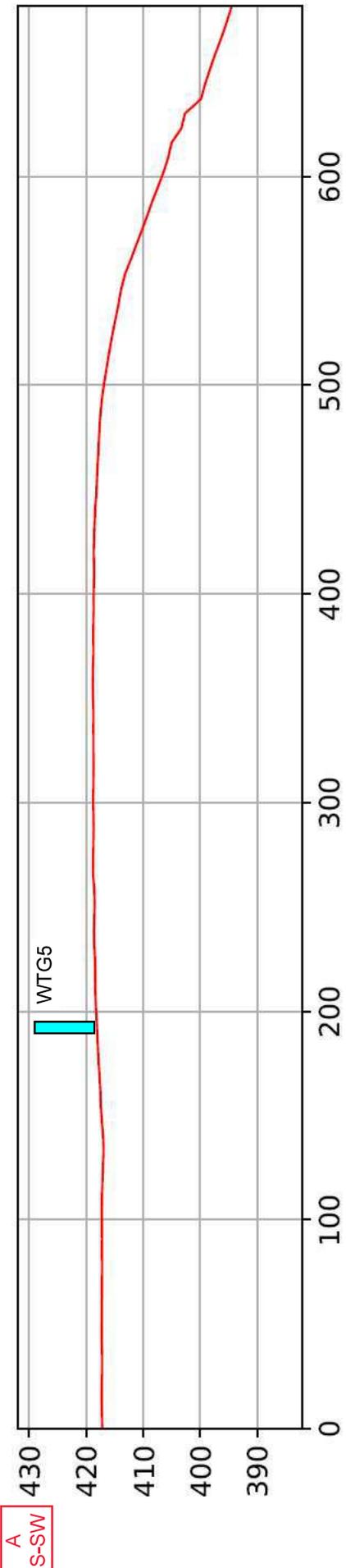


Figura 5.5: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:5000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG5

B  
N-NE



A  
S-SW

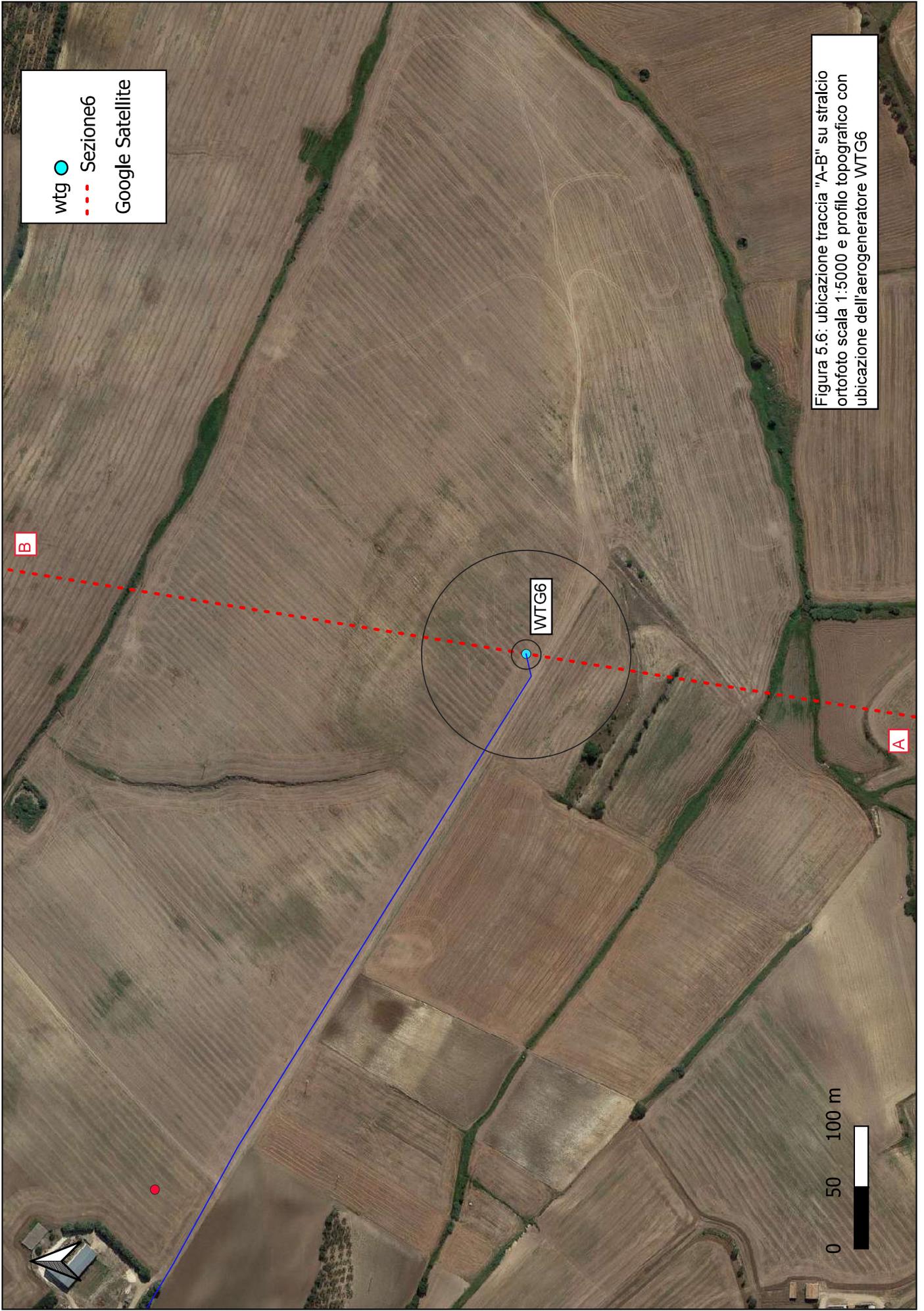
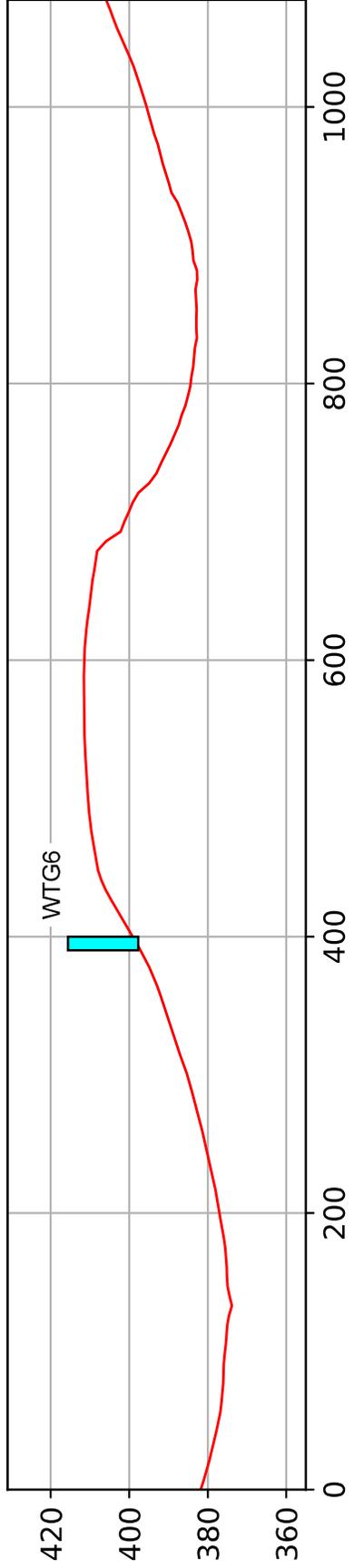
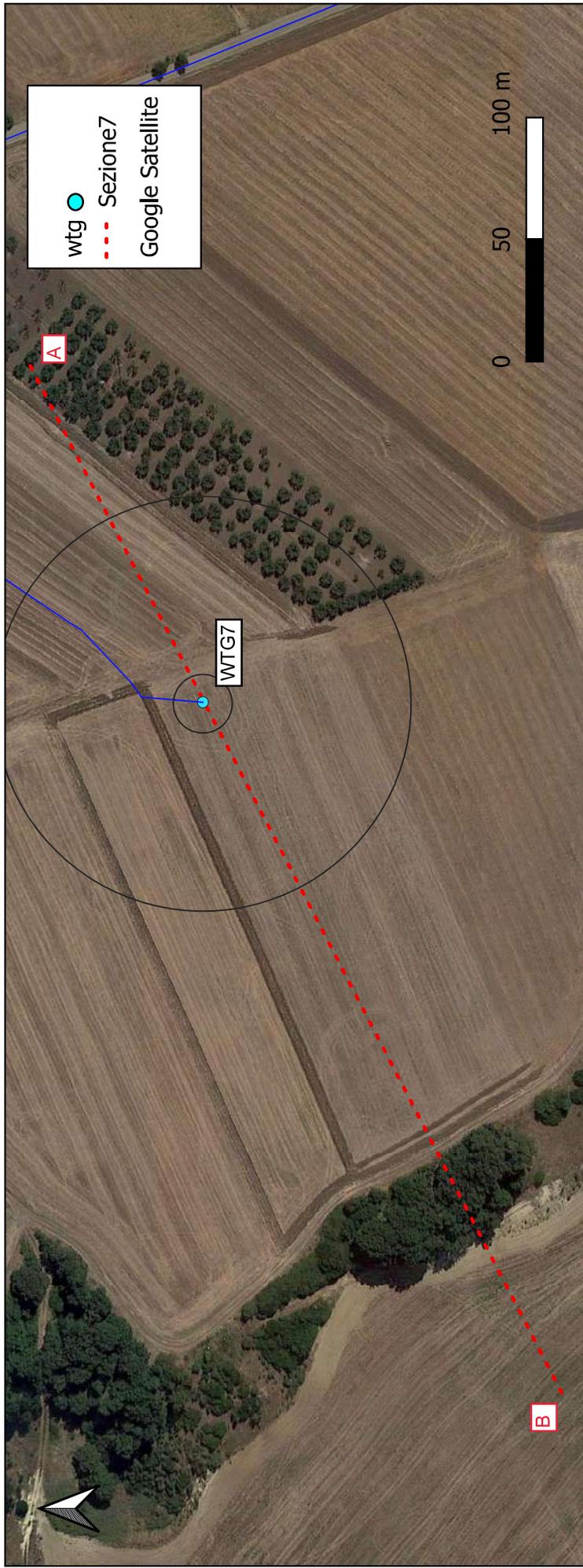


Figura 5.6: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:5000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG6

B  
N-NE

A  
S-SW





B  
S-W

A  
N-E

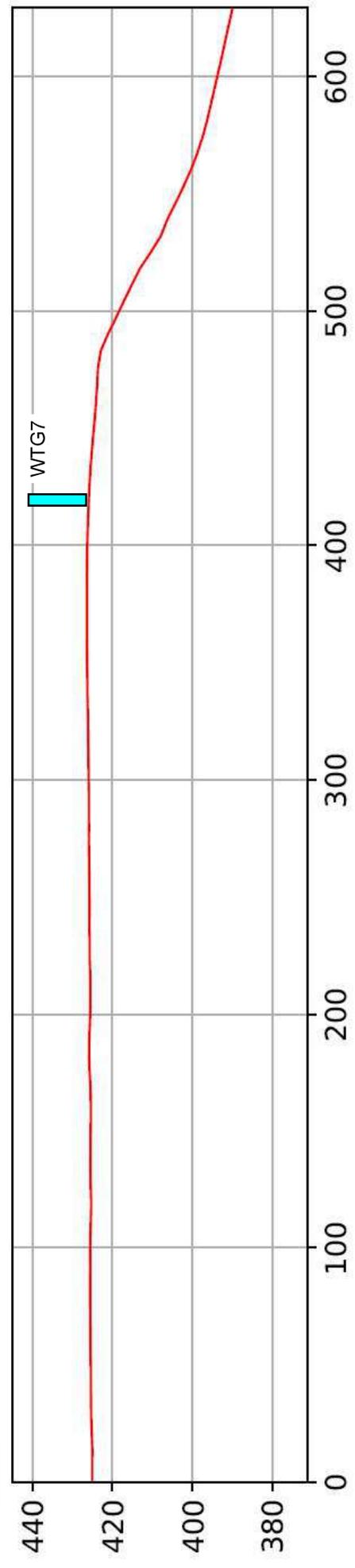


Figura 5.7: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:3000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG7

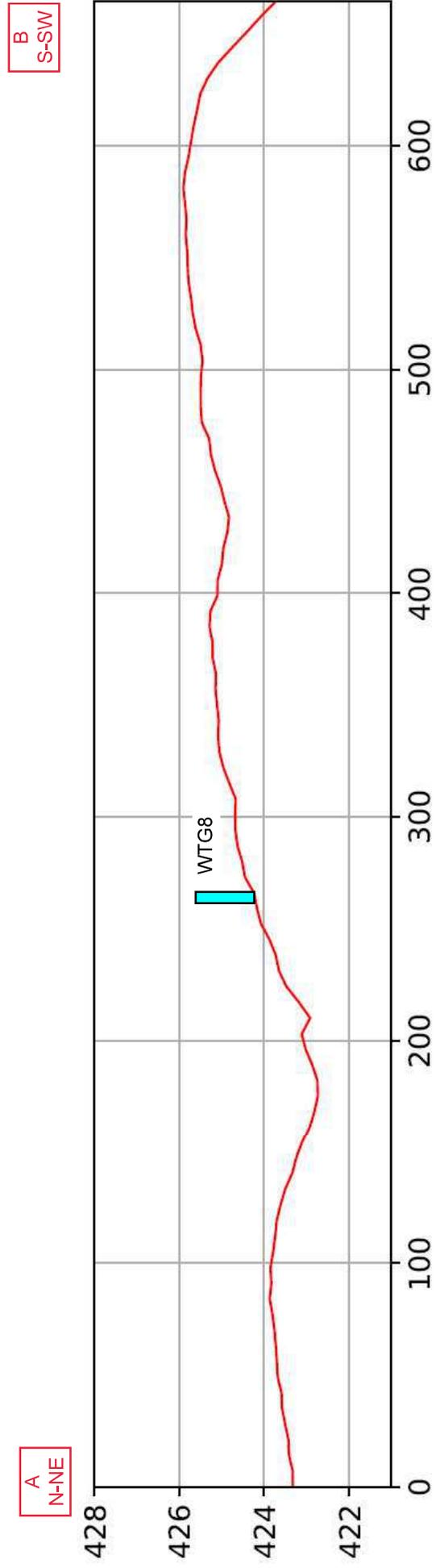
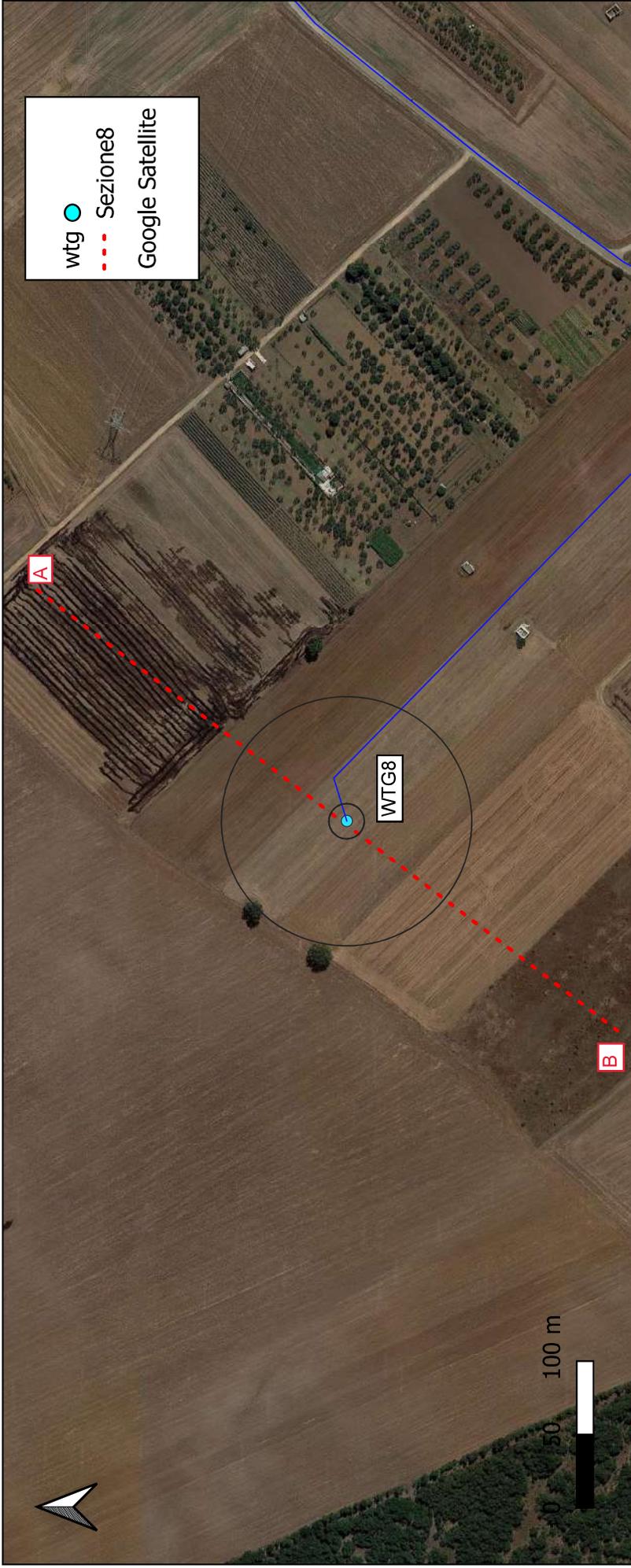


Figura 5.8: ubicazione traccia "A-B" su stralcio ortofoto scala 1:5000 e profilo topografico con ubicazione dell'aerogeneratore WTG8

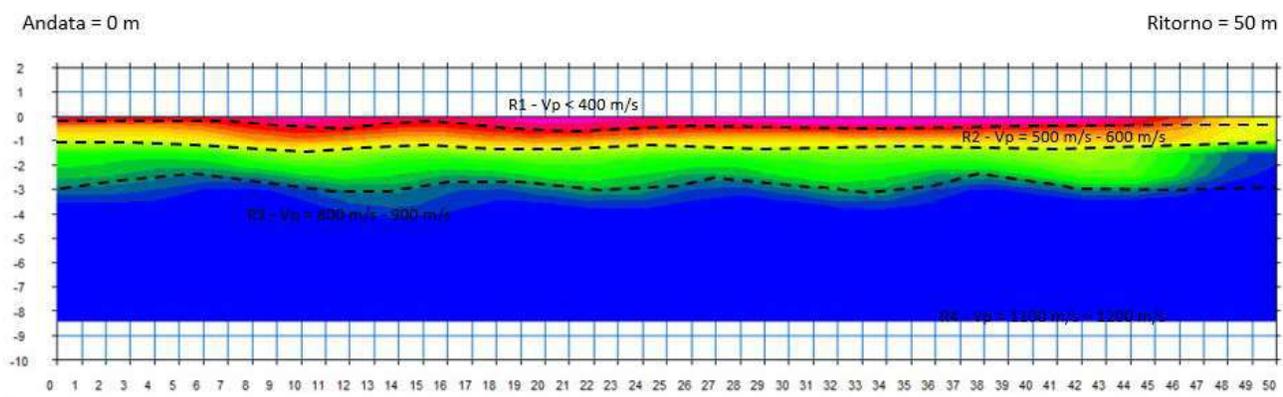


Figura 6.1: ubicazione dell'indagine sismica S1 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione



Andata = 0 m

Ritorno = 50 m

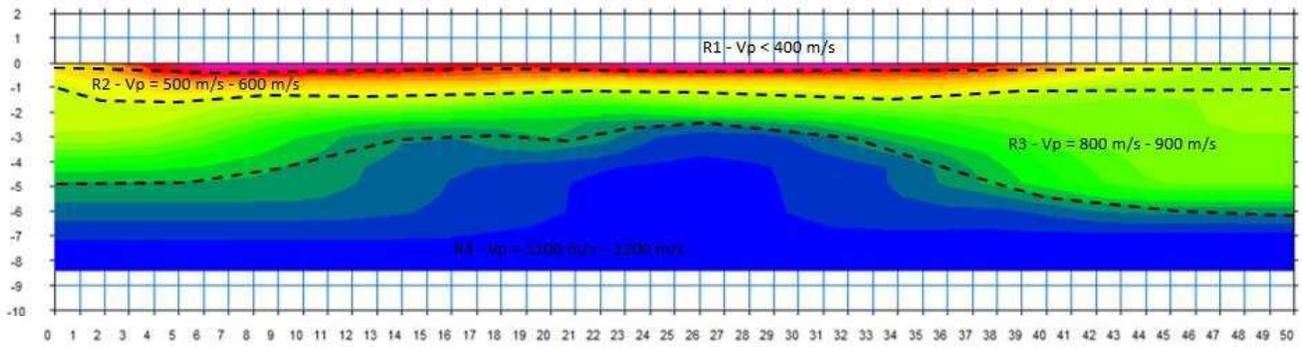


Figura 6.2: ubicazione dell'indagine sismica S2 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione



Andata = 0 m

Ritorno = 50 m

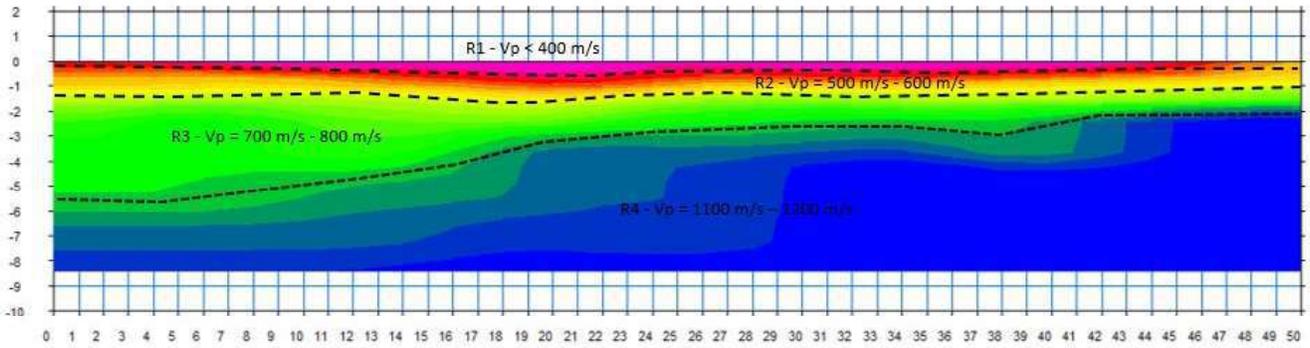


Figura 6.3: ubicazione dell'indagine sismica S3 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione



Andata = 0 m

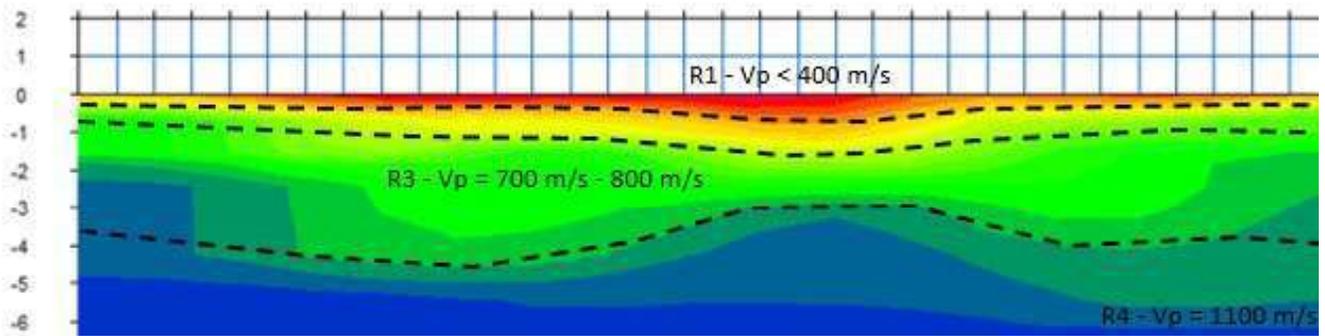


Figura 6.4: ubicazione dell'indagine sismica S4 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione



Andata = 0 m

Ritorno = 50 m

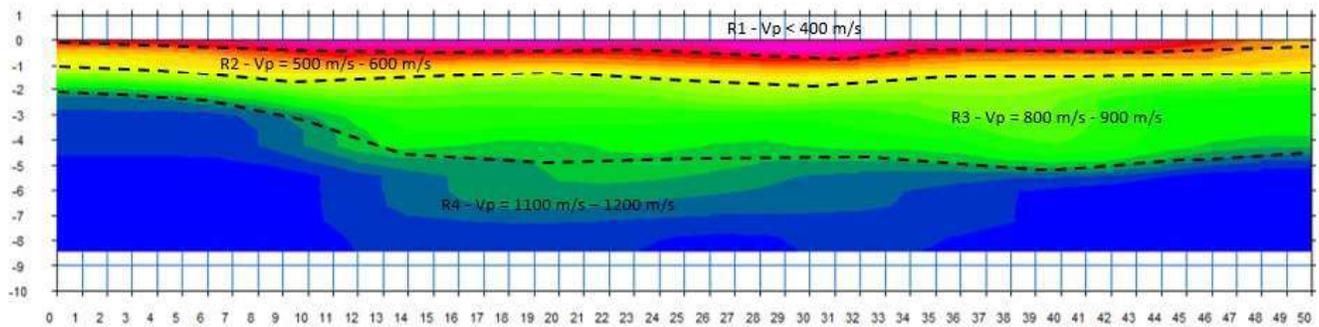


Figura 6.5: ubicazione dell'indagine sismica S5 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione

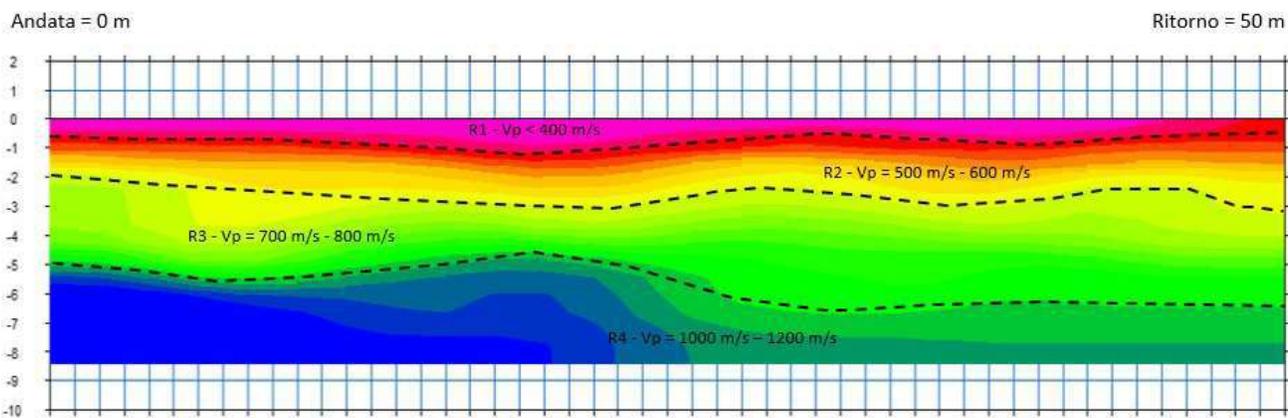


Figura 6.6: ubicazione dell'indagine sismica S6 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione



Andata = 0 m

Ritorno = 50 m

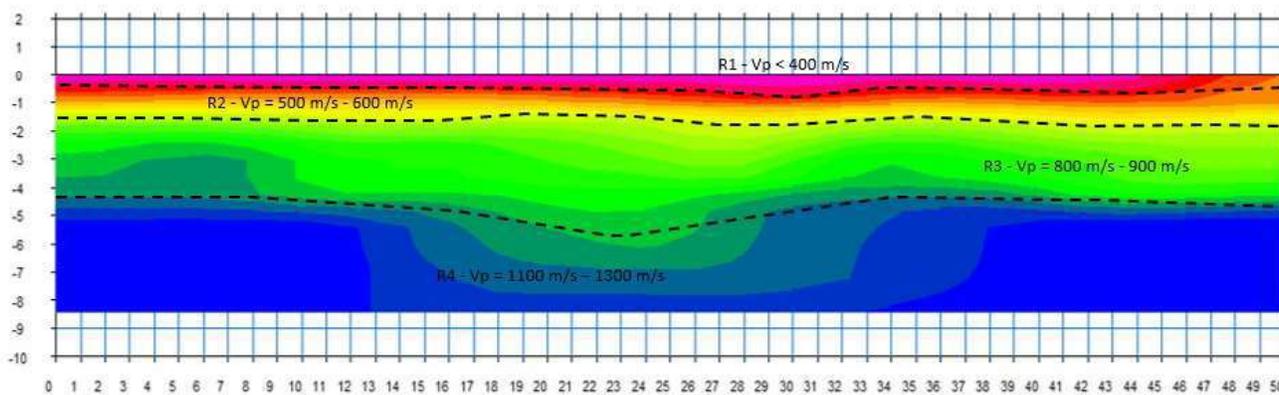


Figura 6.7: ubicazione dell'indagine sismica S7 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione

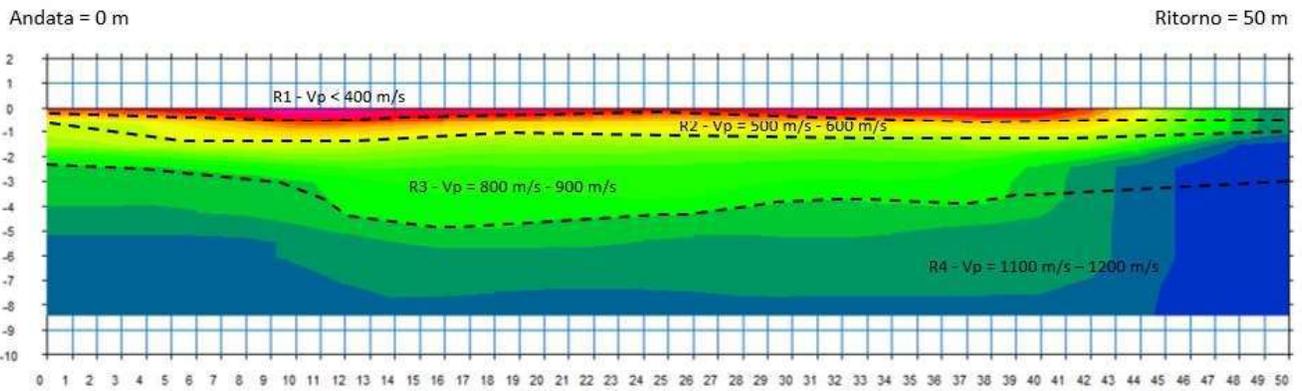


Figura 6.8: ubicazione dell'indagine sismica S8 e modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione

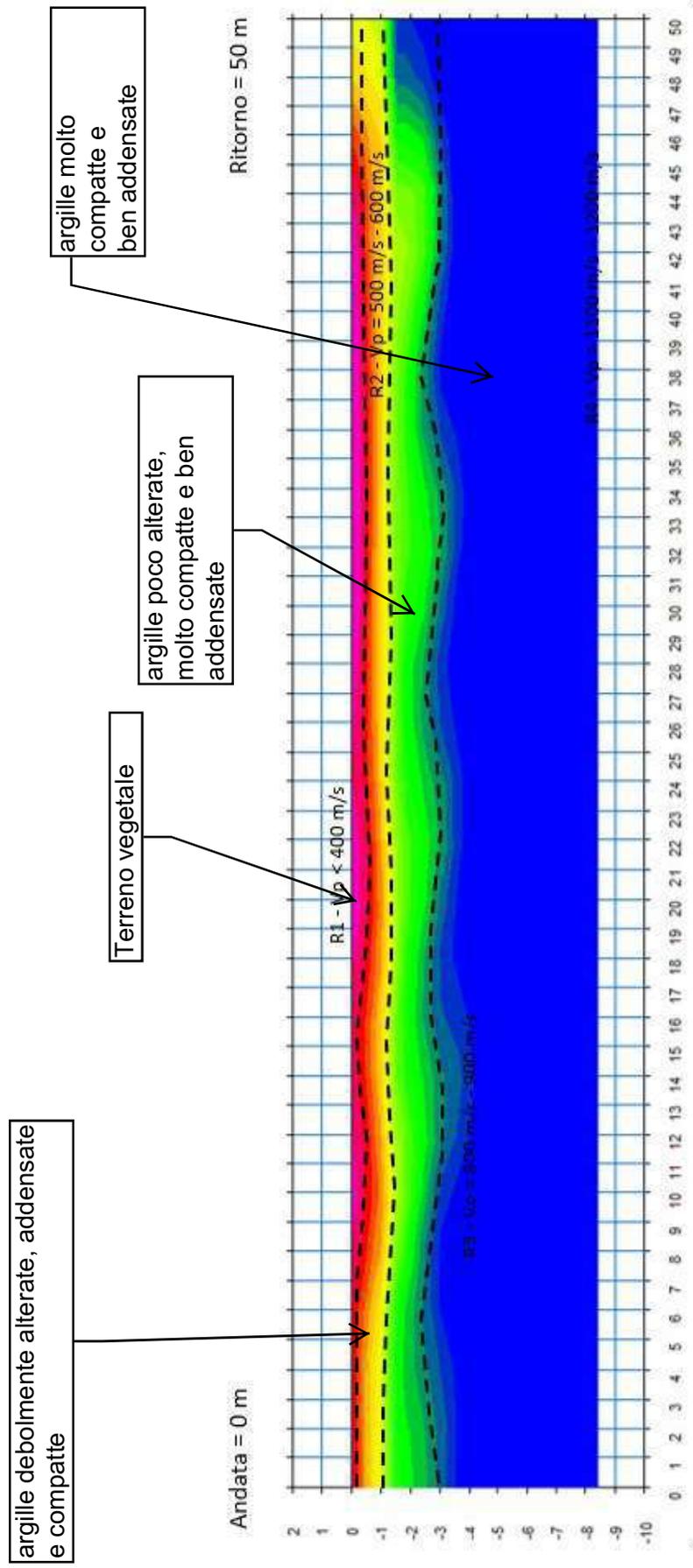


Figura 7.1: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

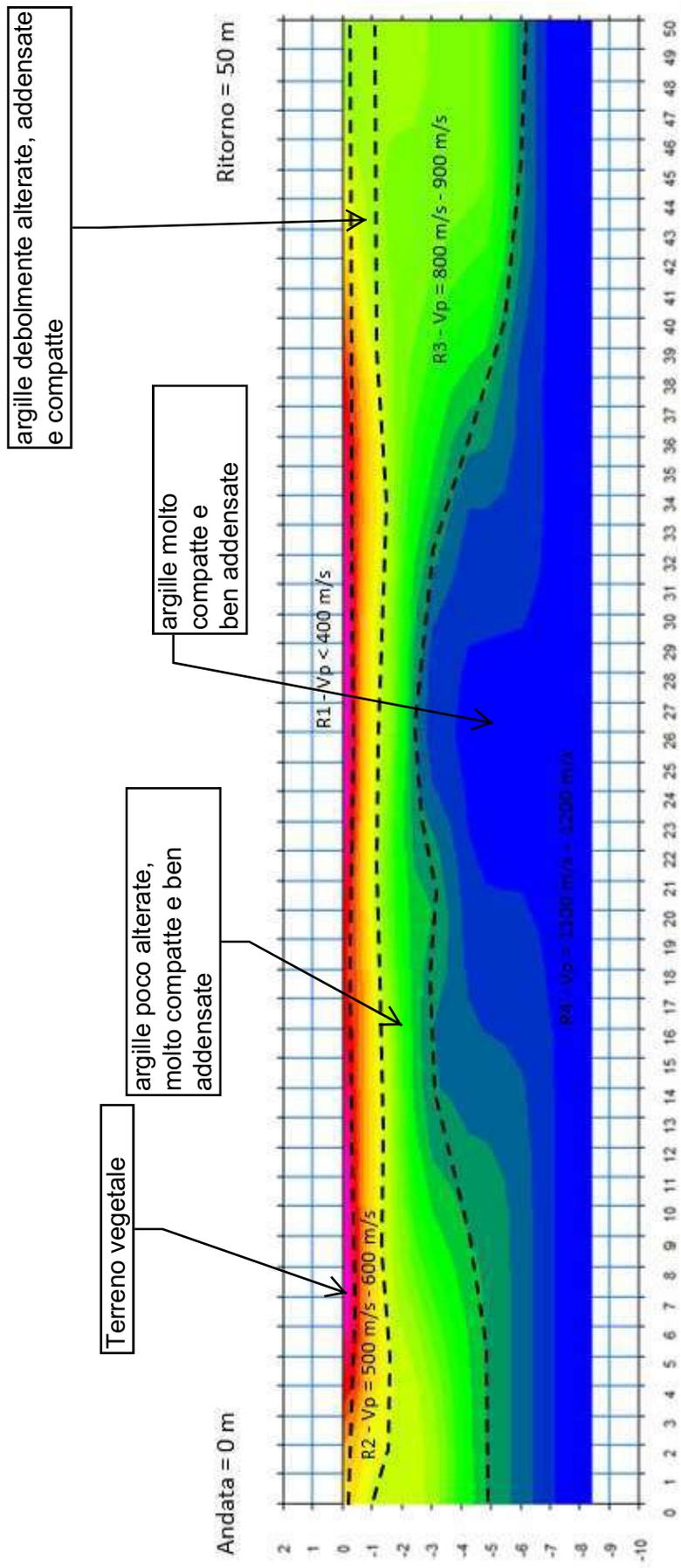


Figura 7.2: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

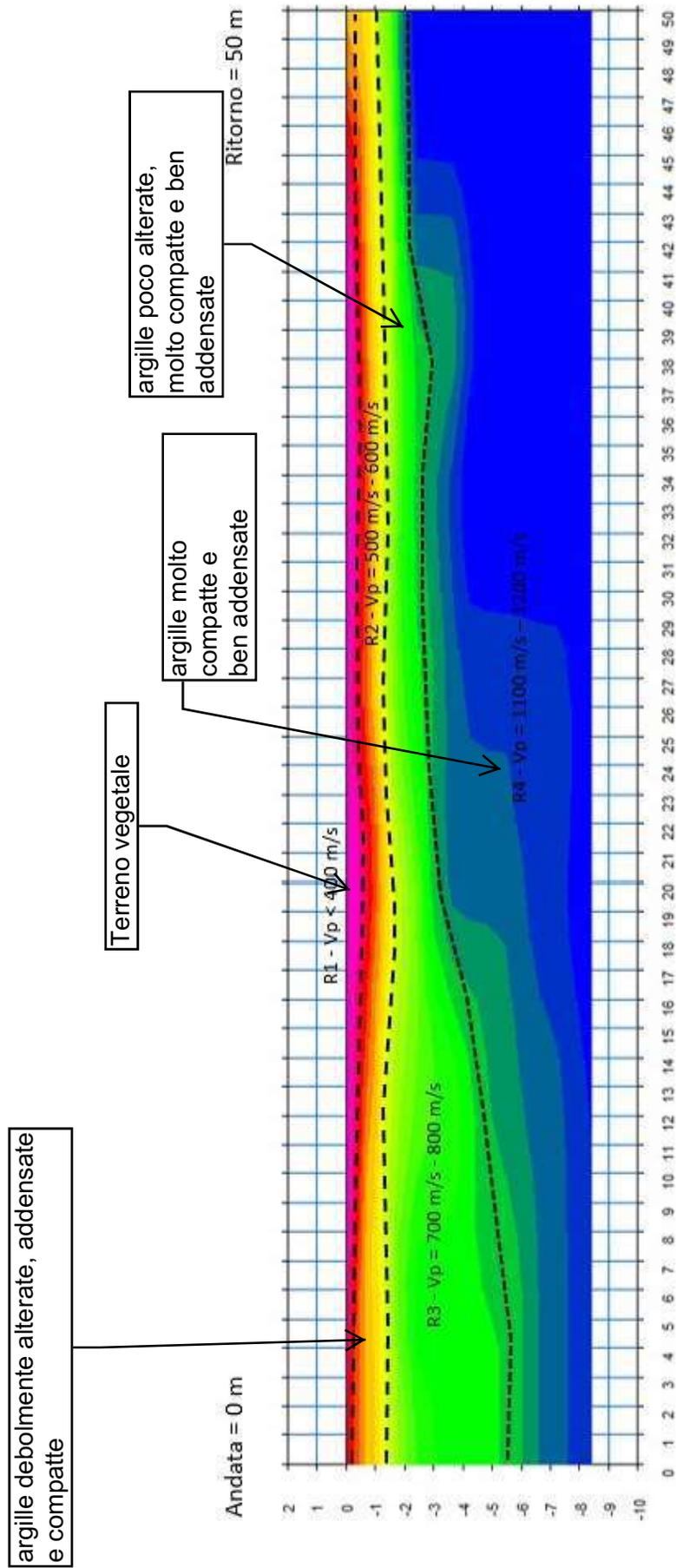


Figura 7.3: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

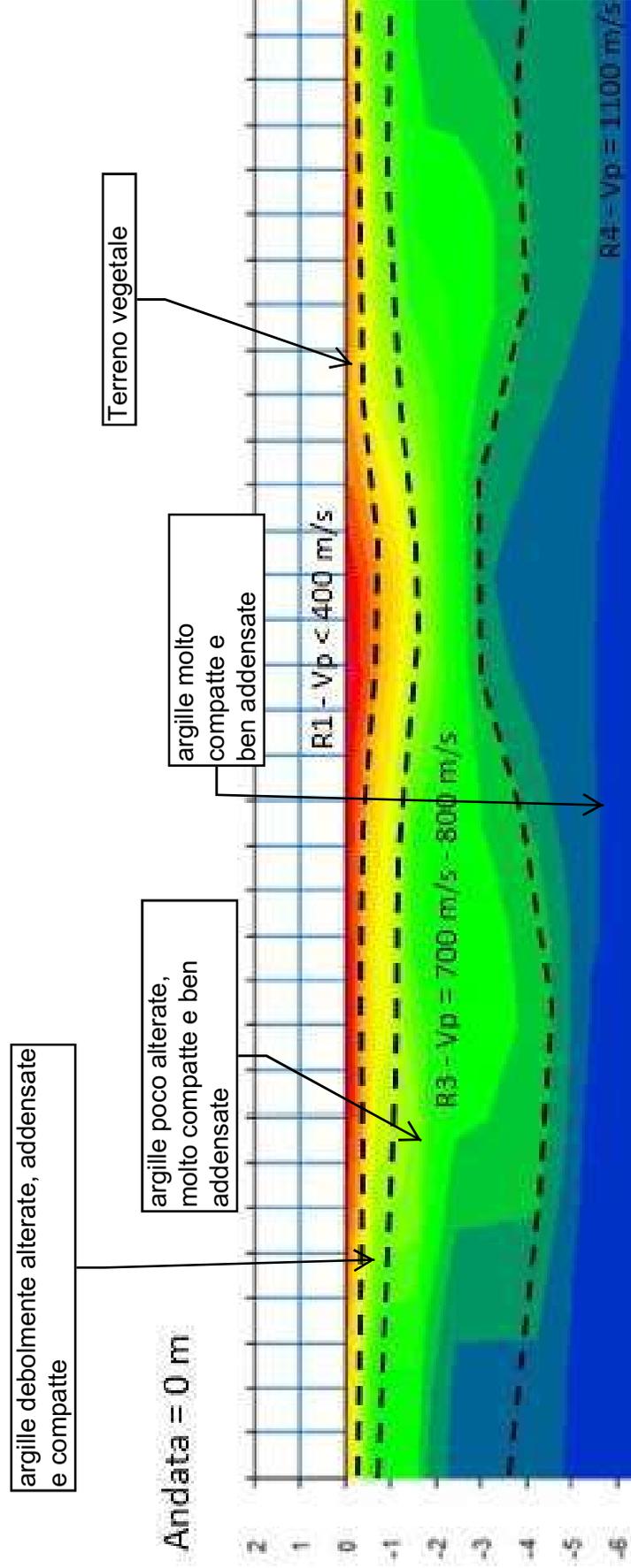


Figura 7.4: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

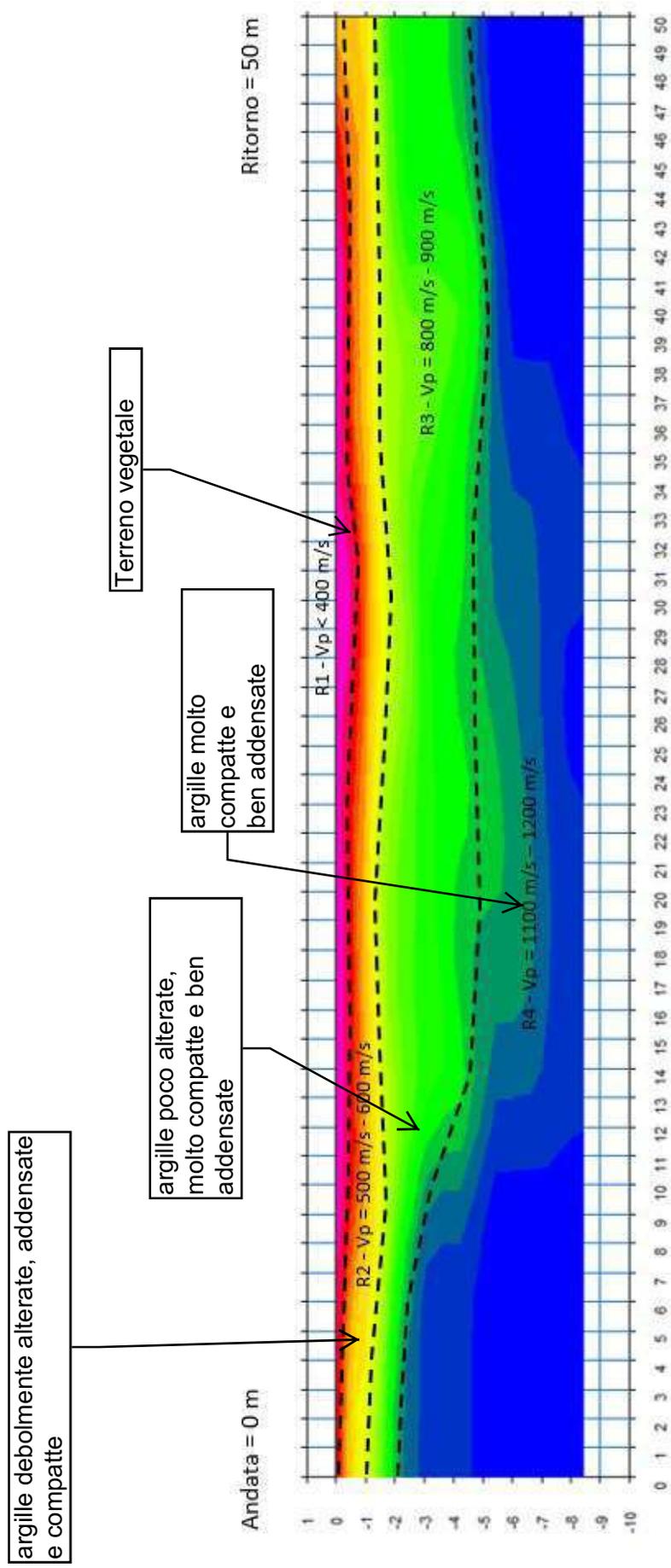


Figura 7.5: interpretazione del modello sismotomografico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

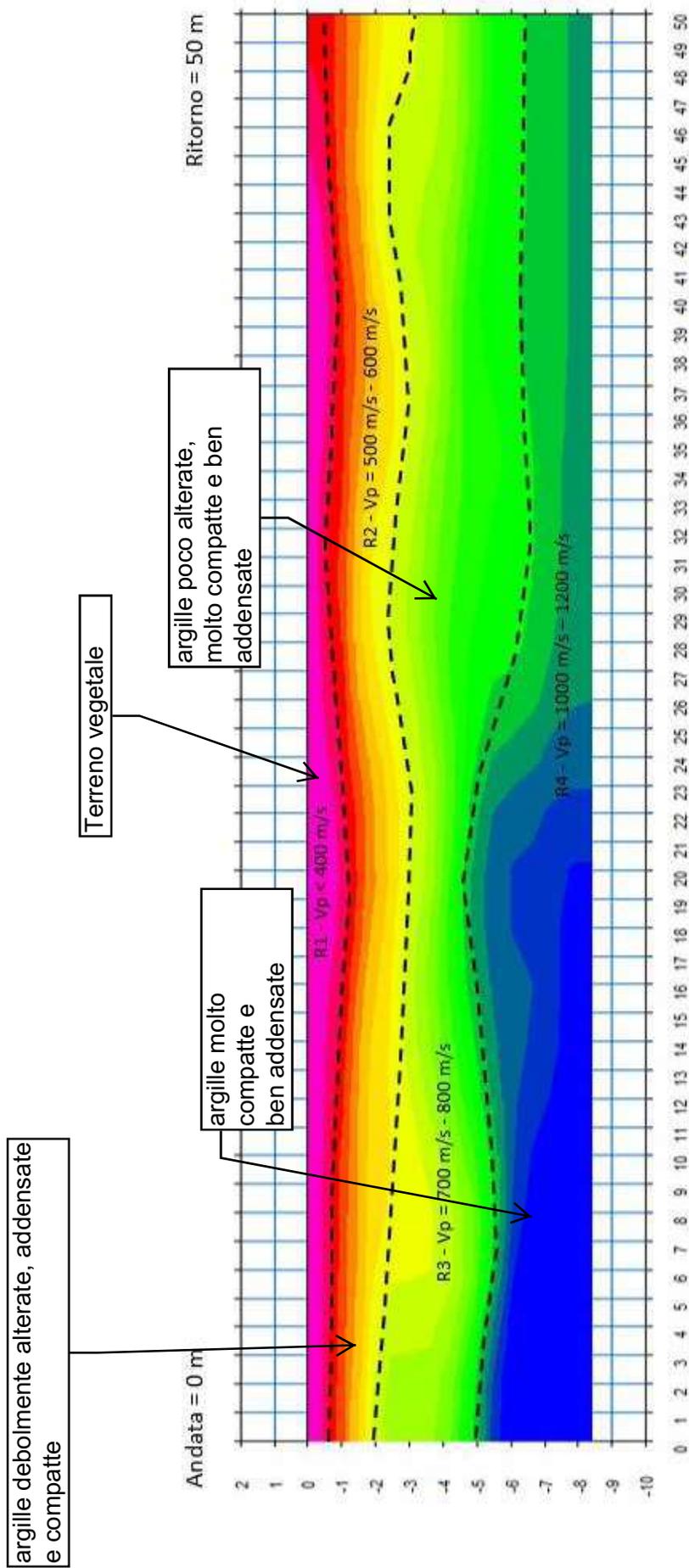


Figura 7.6: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

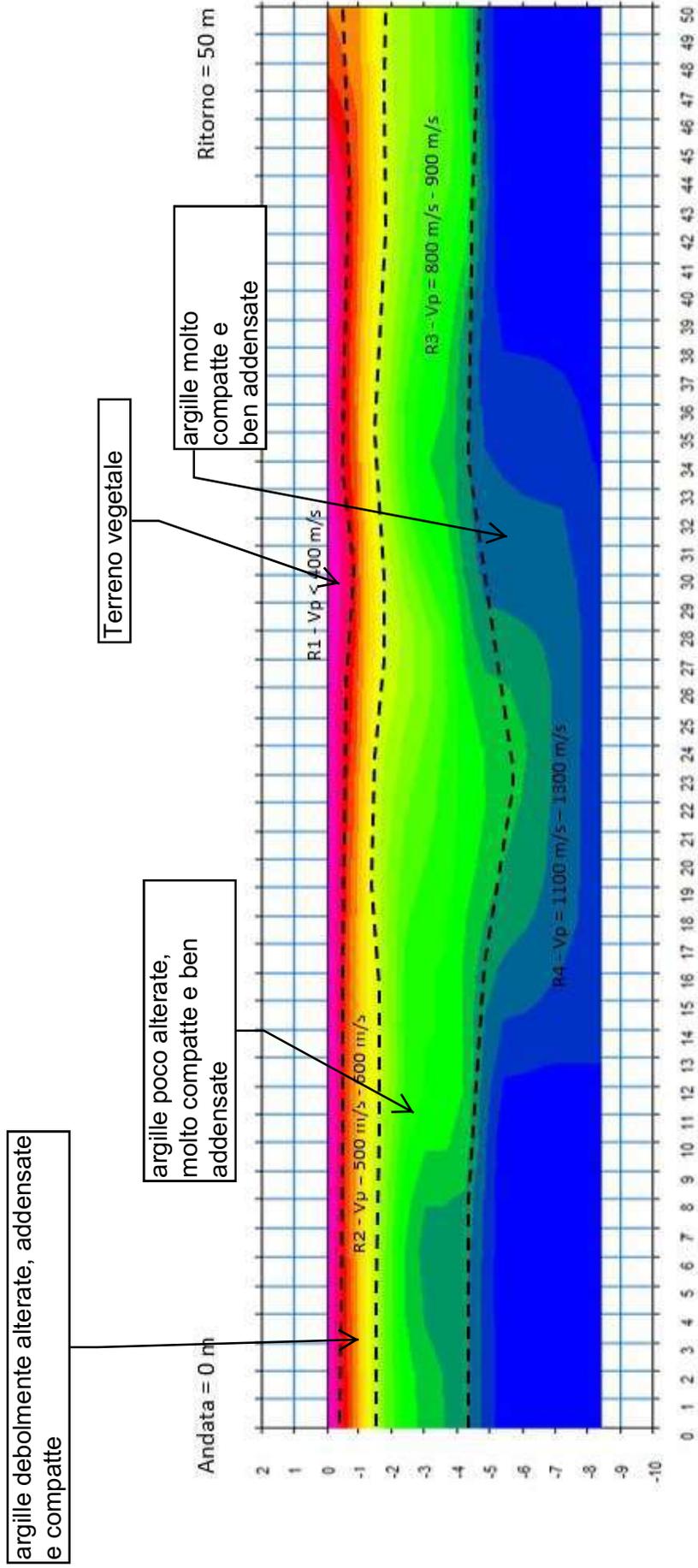


Figura 7.7: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

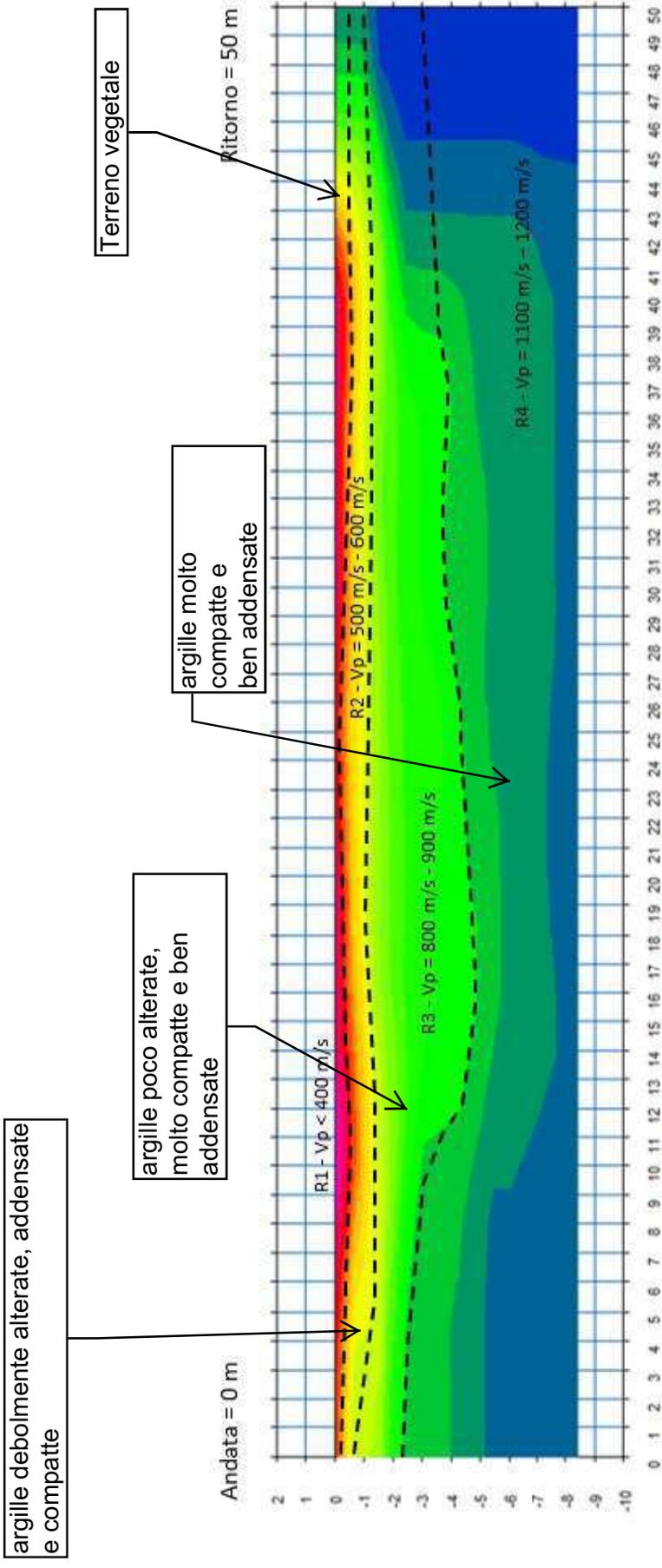


Figura 7.8: interpretazione del modello sismostratigrafico ottenuto dalla tomografia a rifrazione

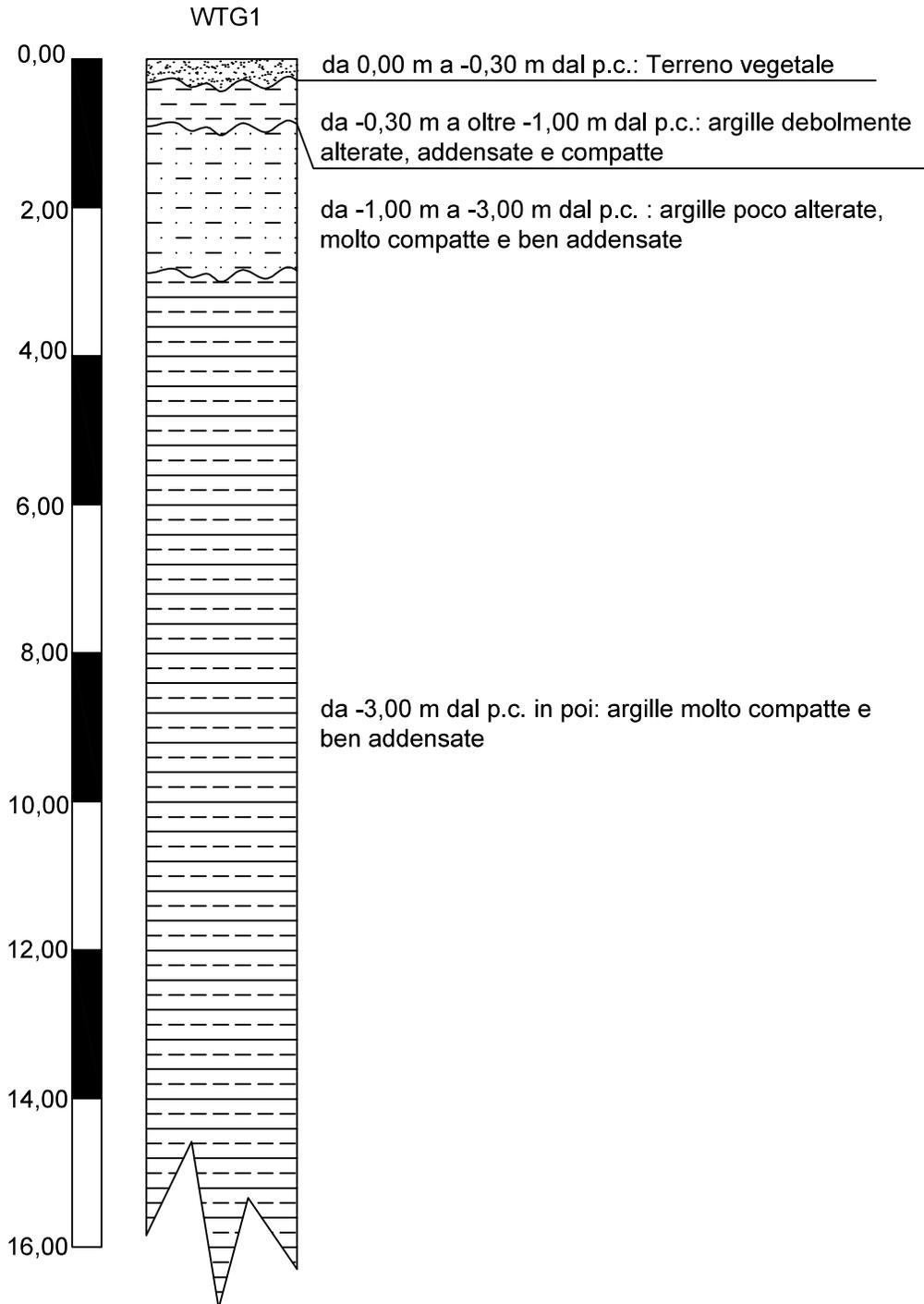


Figura 8.1: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG1

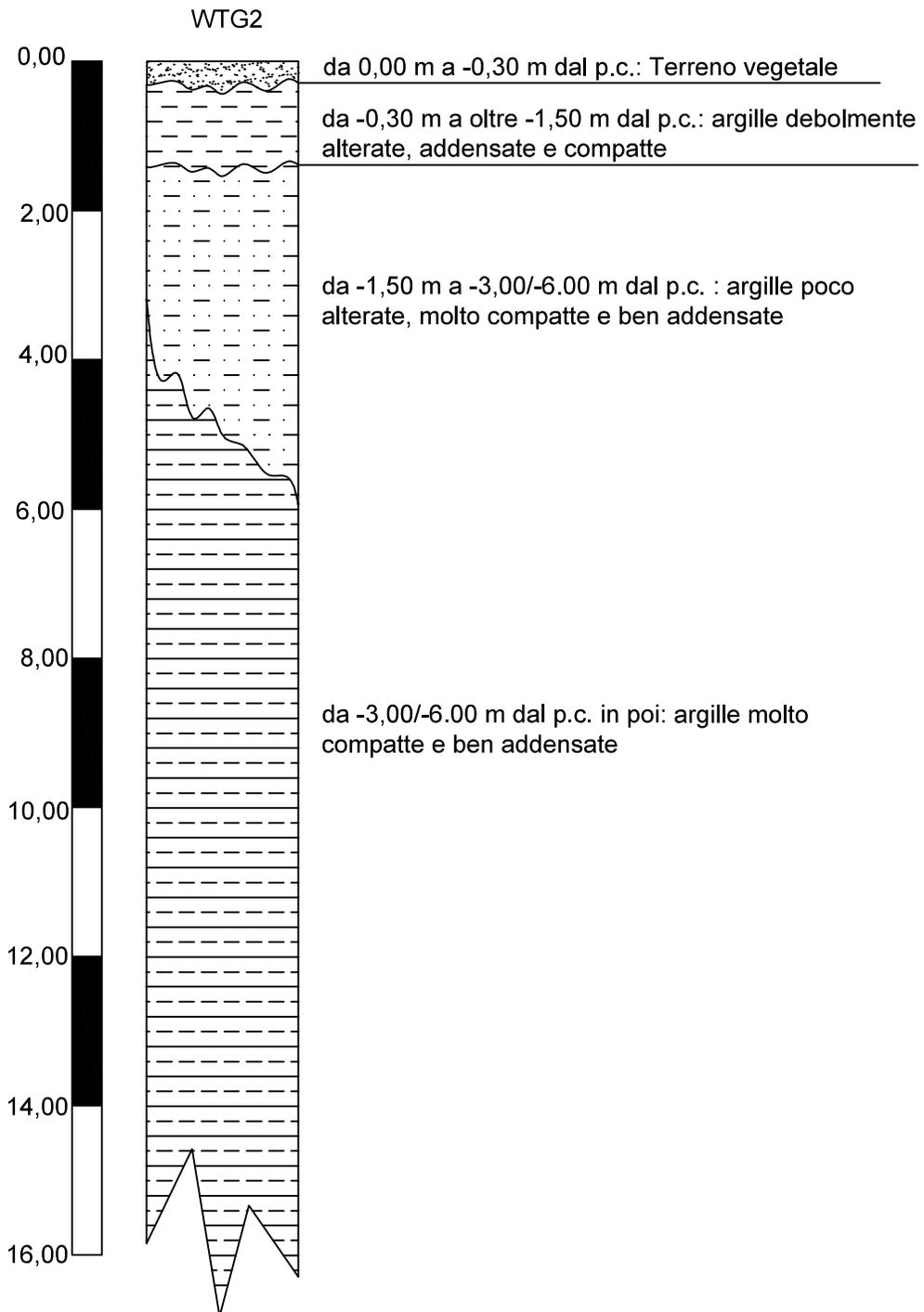


Figura 8.2: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG2

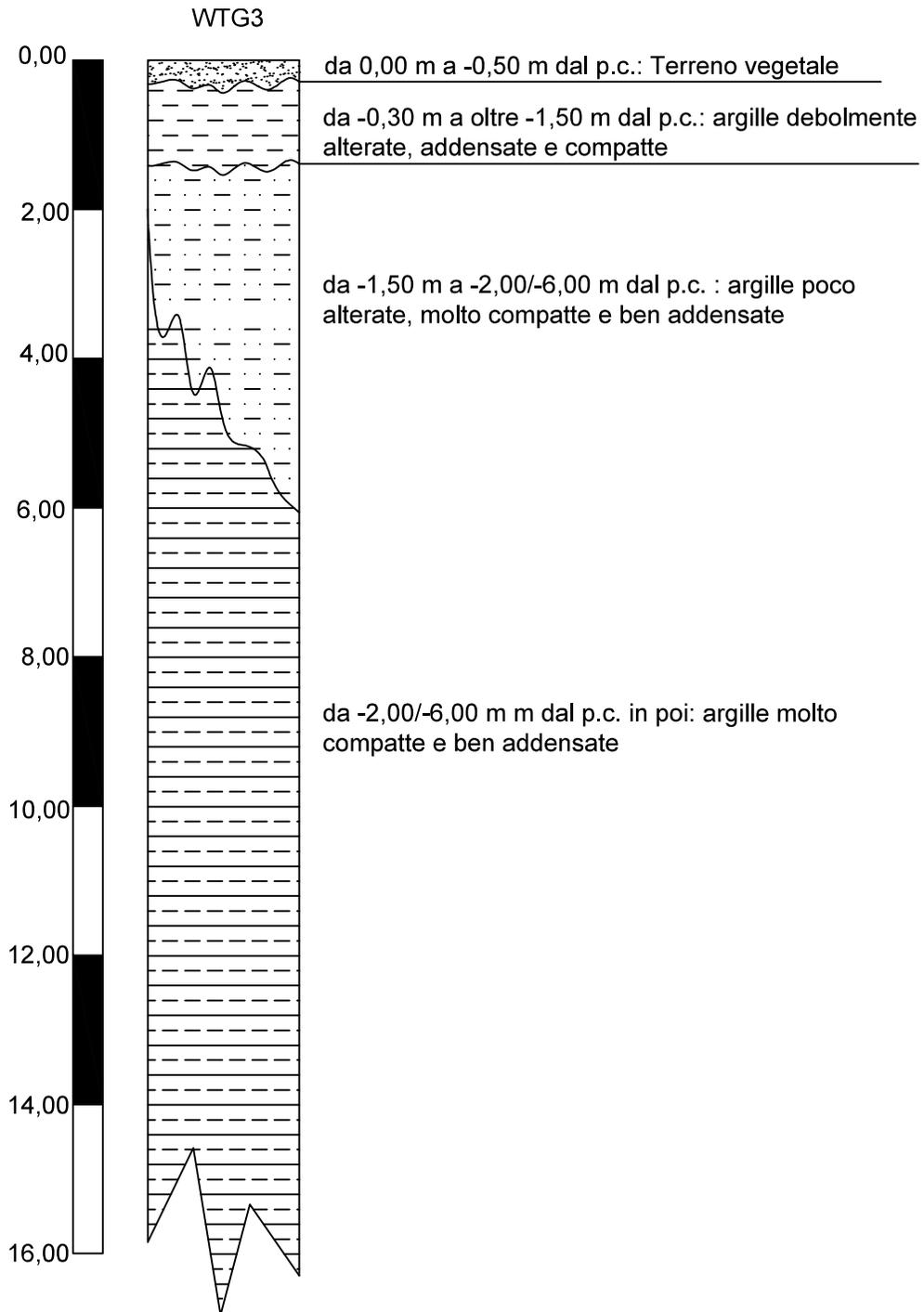


Figura 8.3: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG3

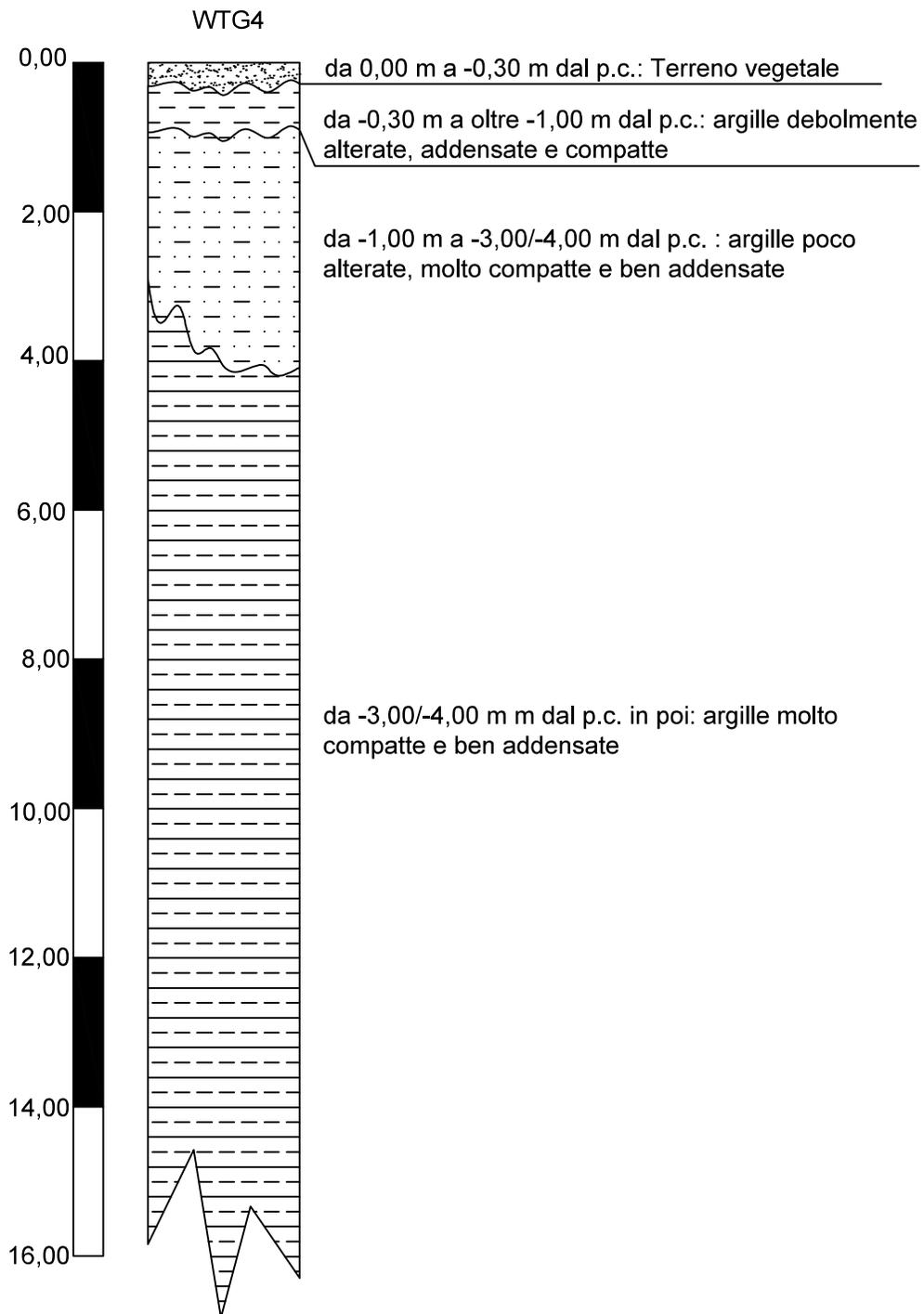


Figura 8.4: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG4

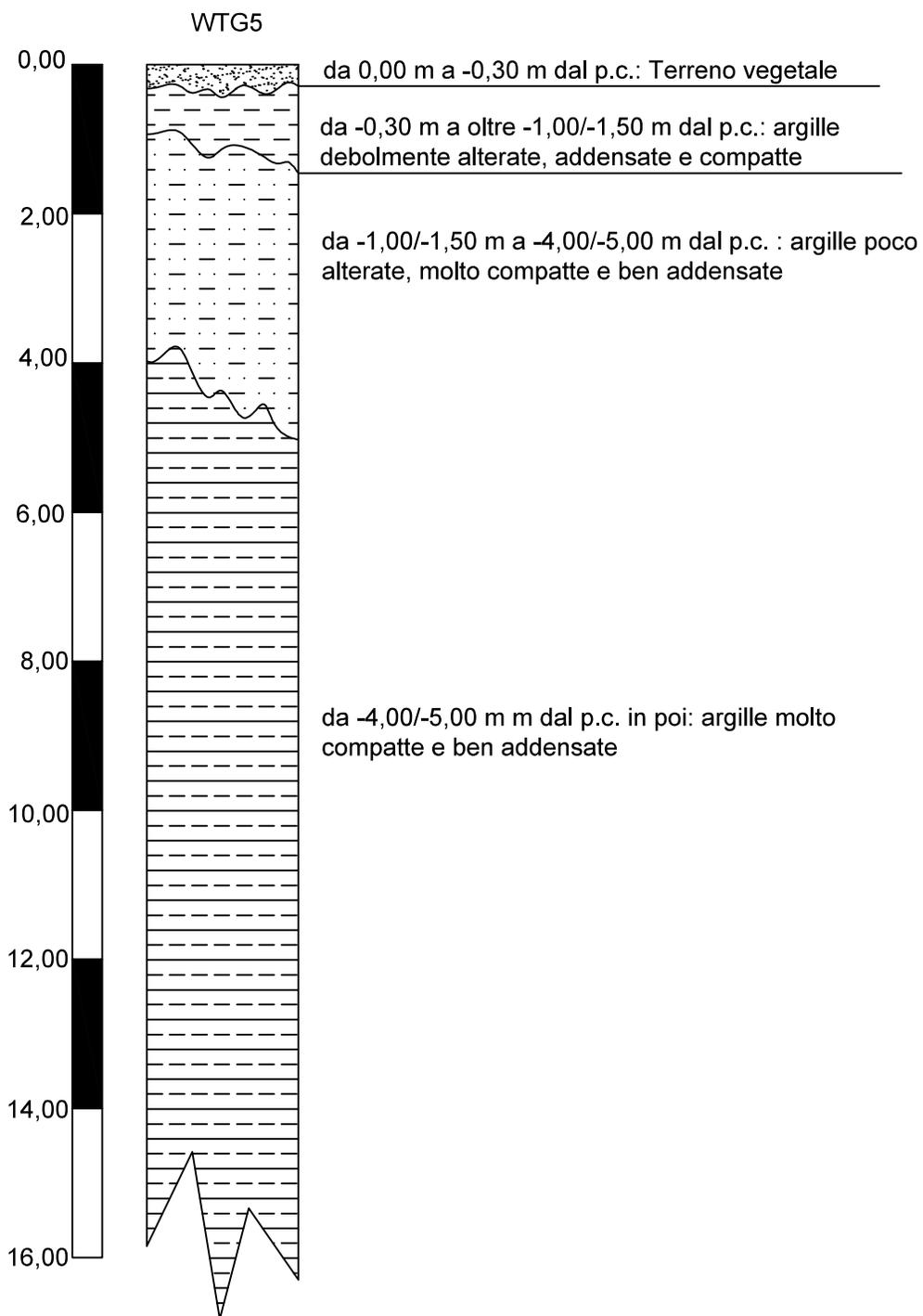


Figura 8.5: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG5

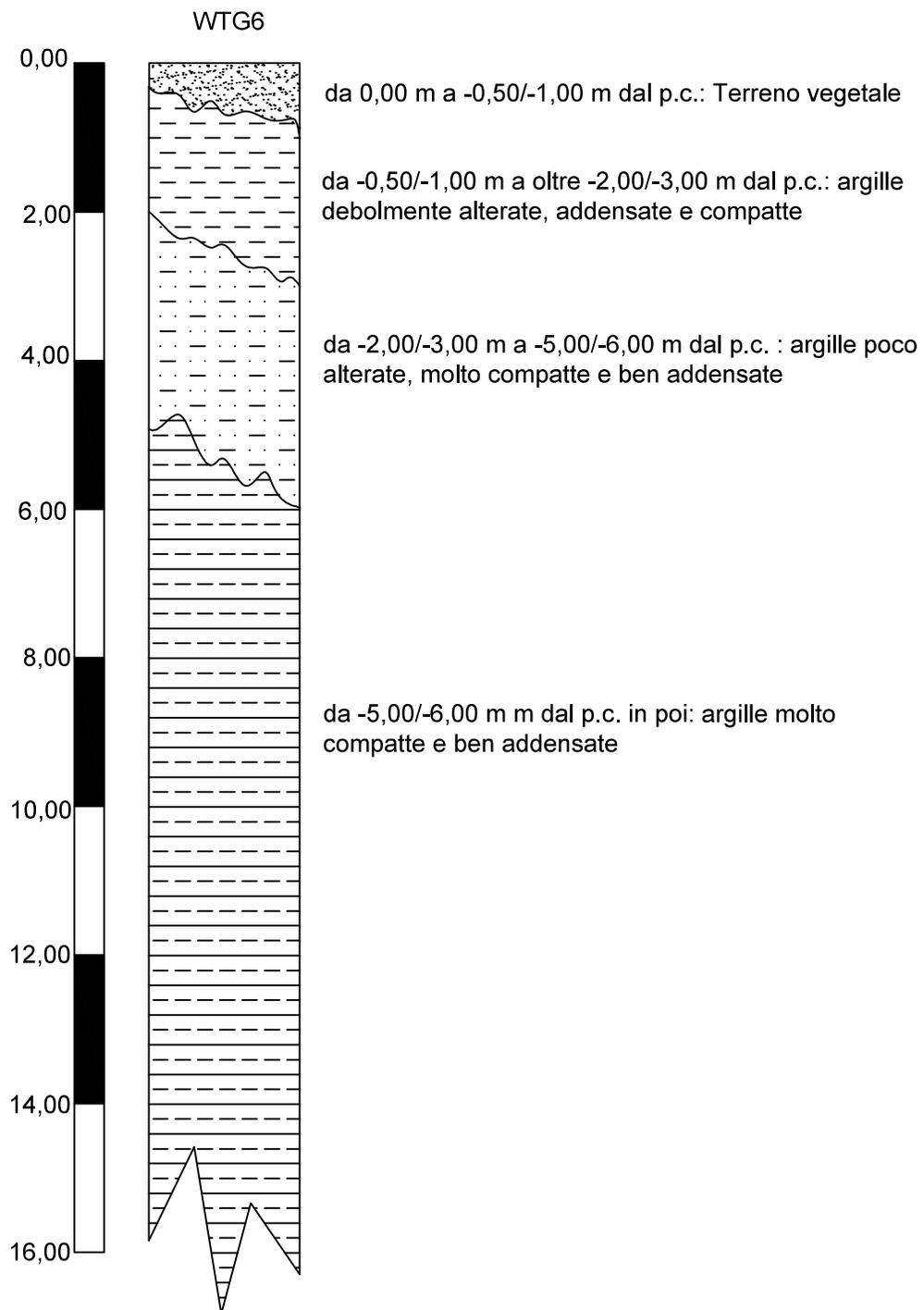


Figura 8.6: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG6

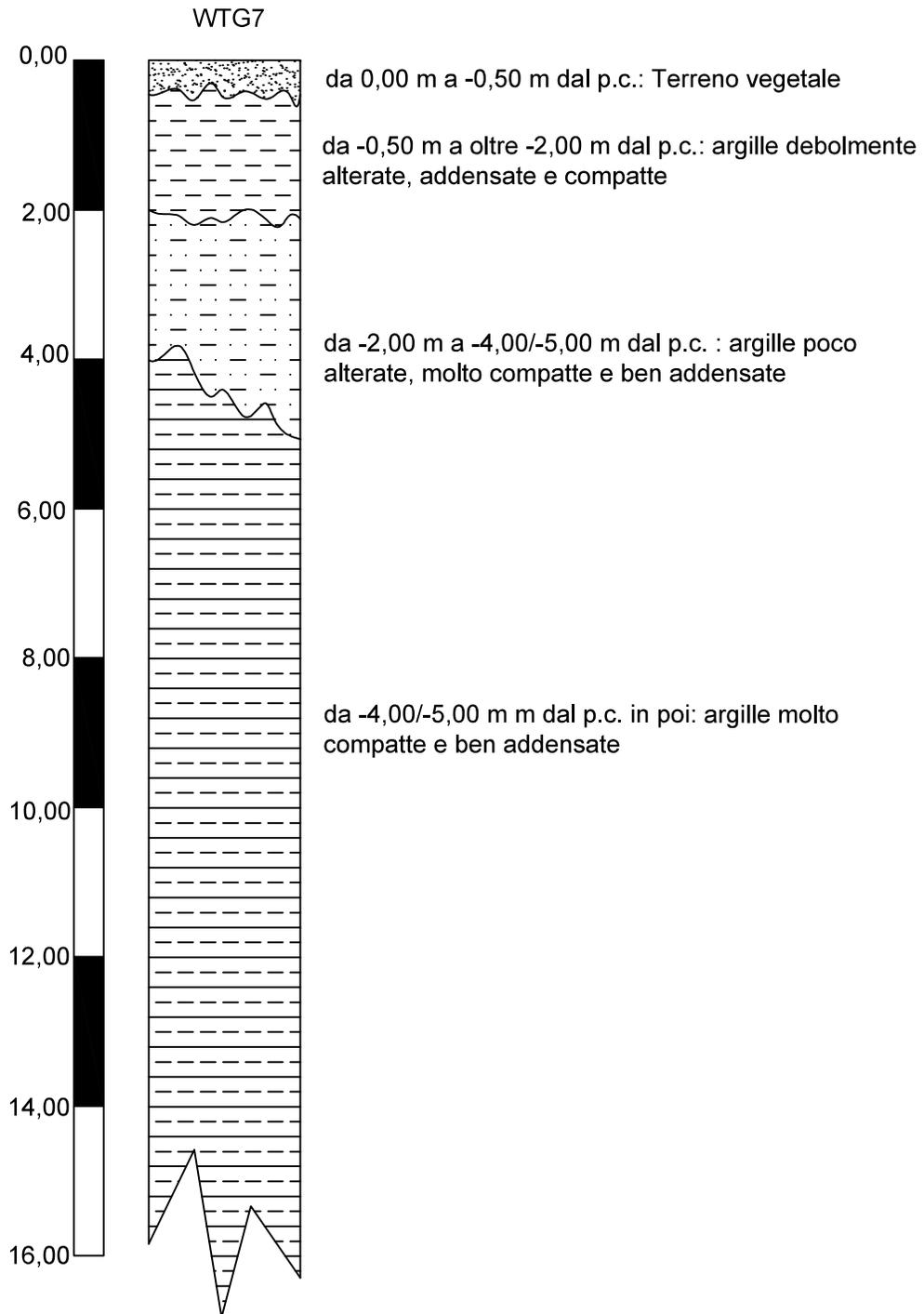


Figura 8.7: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG7

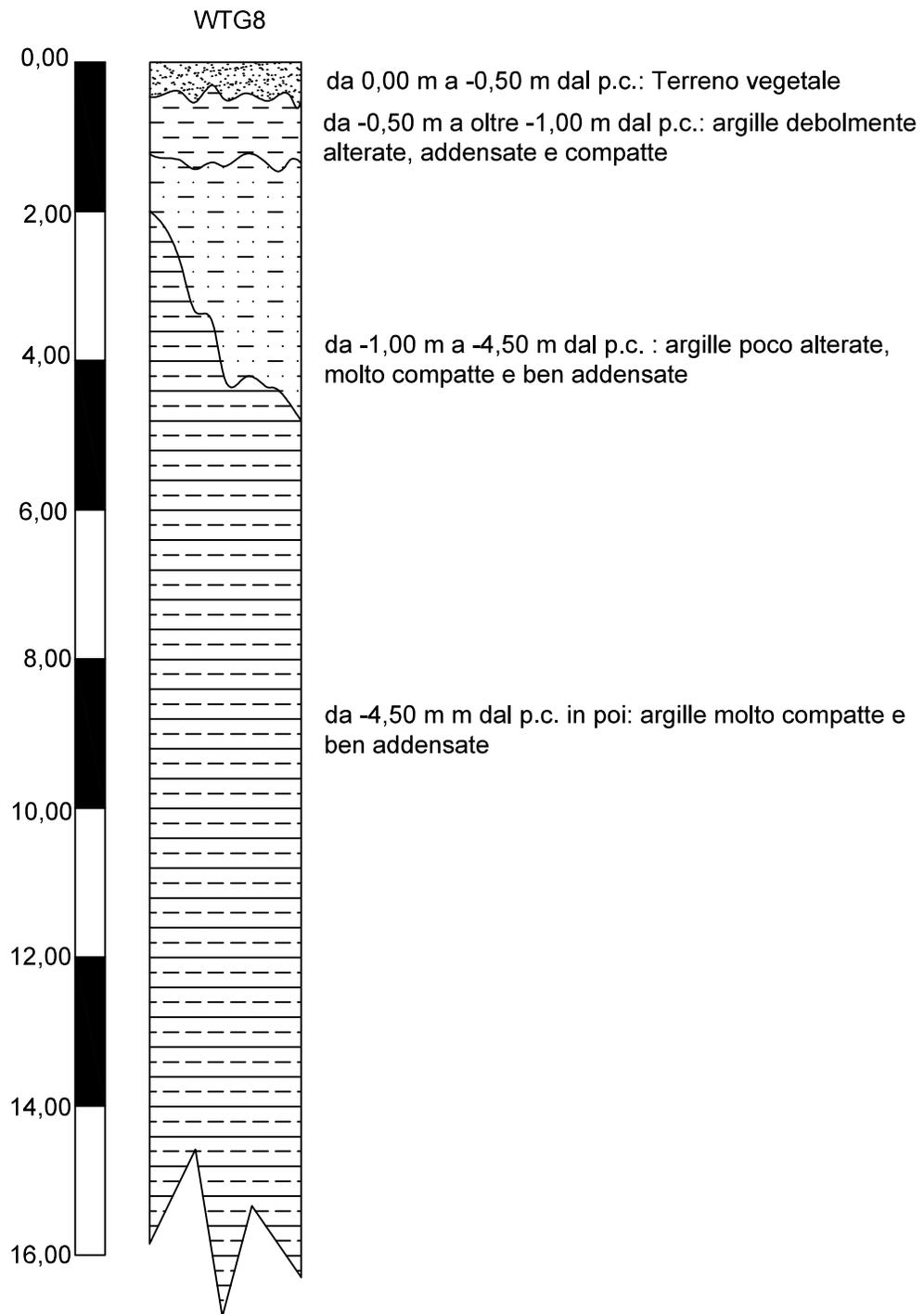


Figura 8.8: Colonna stratigrafica schematica relativa al WTG8

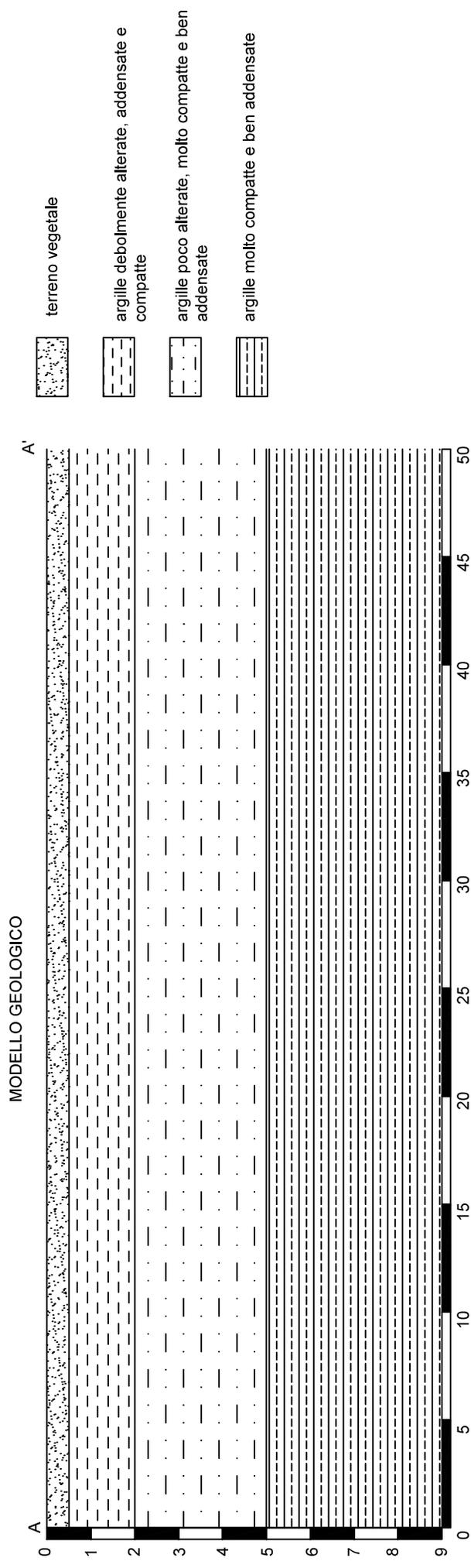
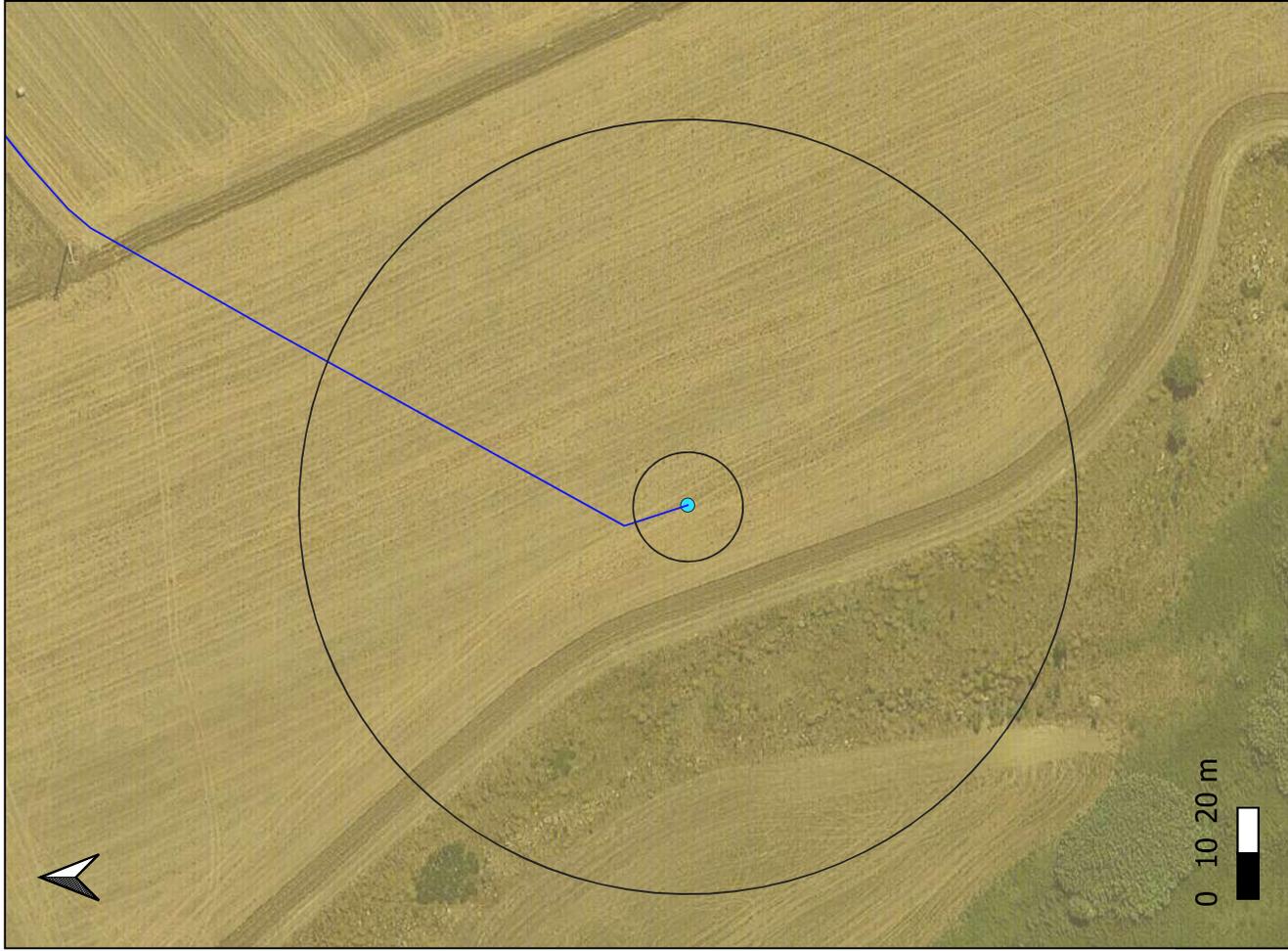


Figura 9: modello geologico di riferimento



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone



Figura 10.1: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone



Figura 10.2: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone

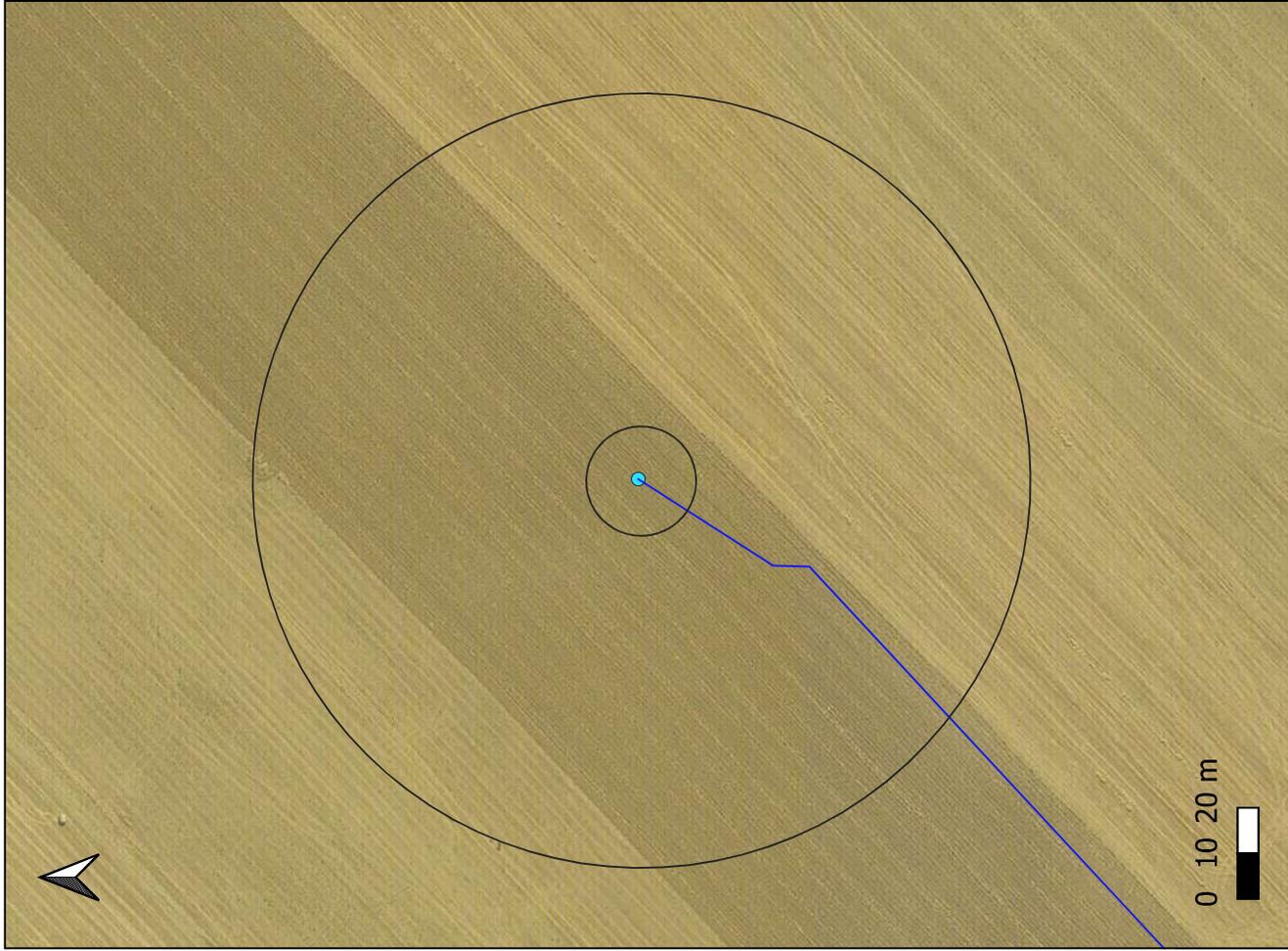
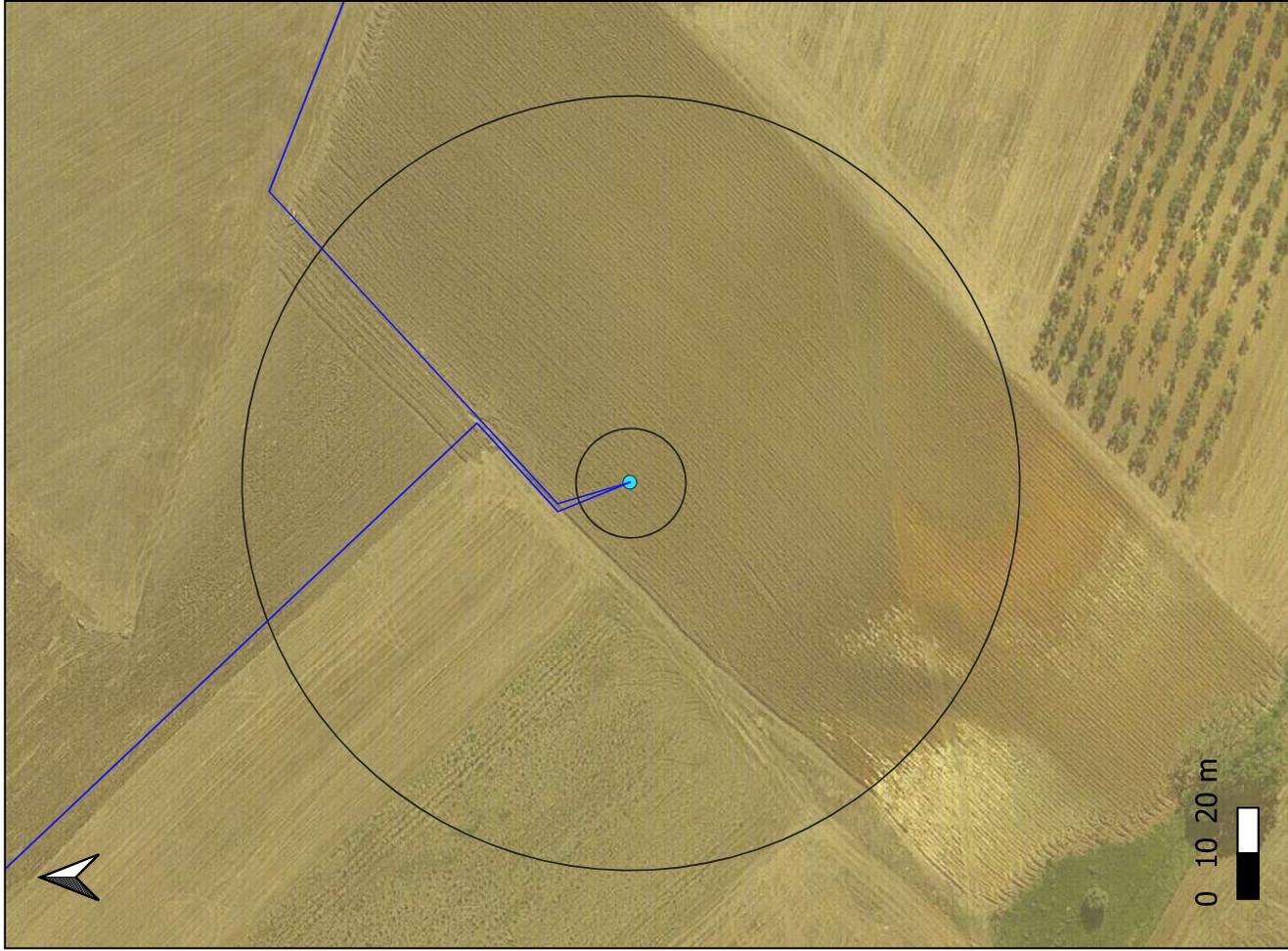


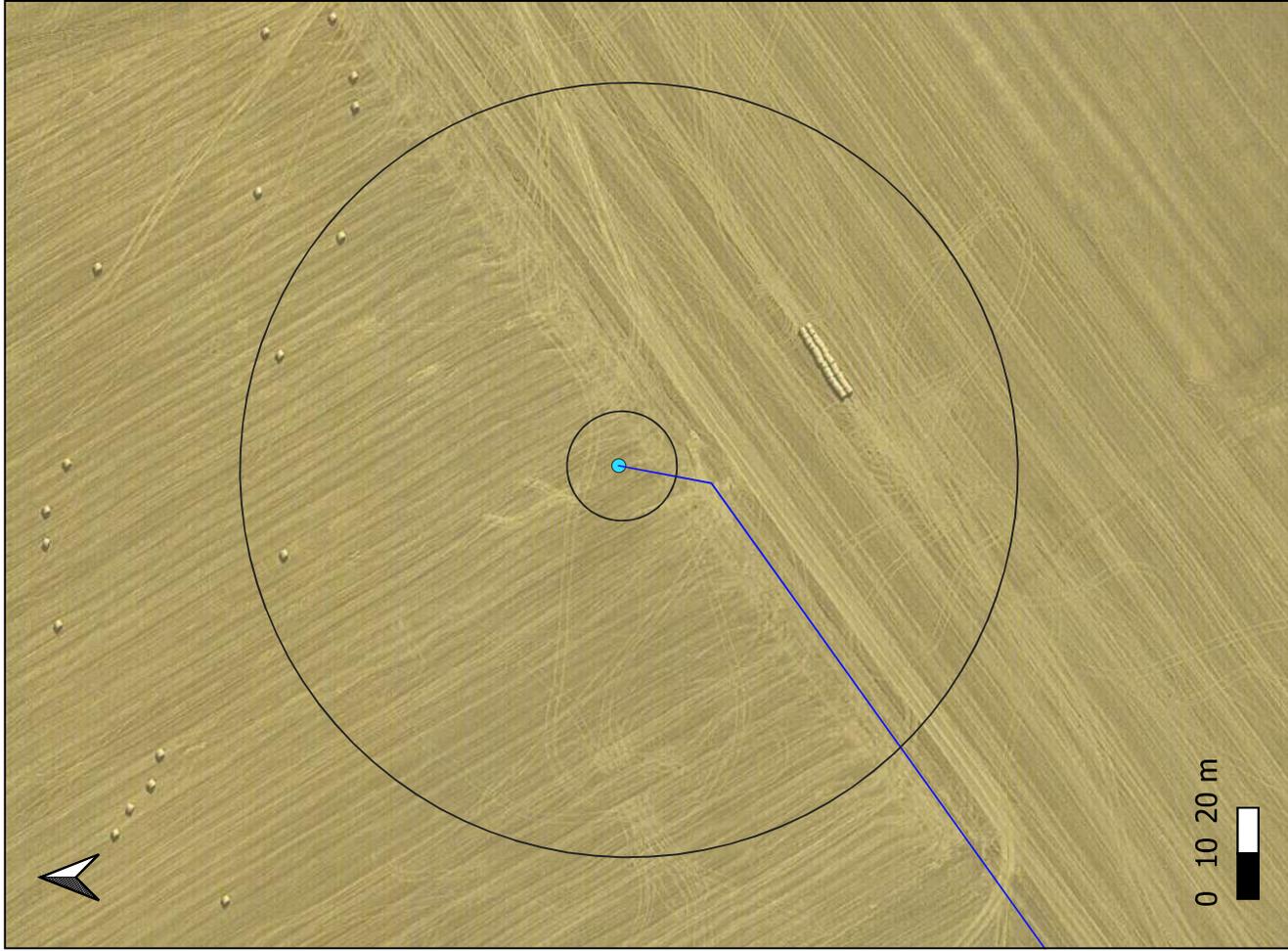
Figura 10.3: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone



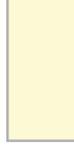
Figura 10.4: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone

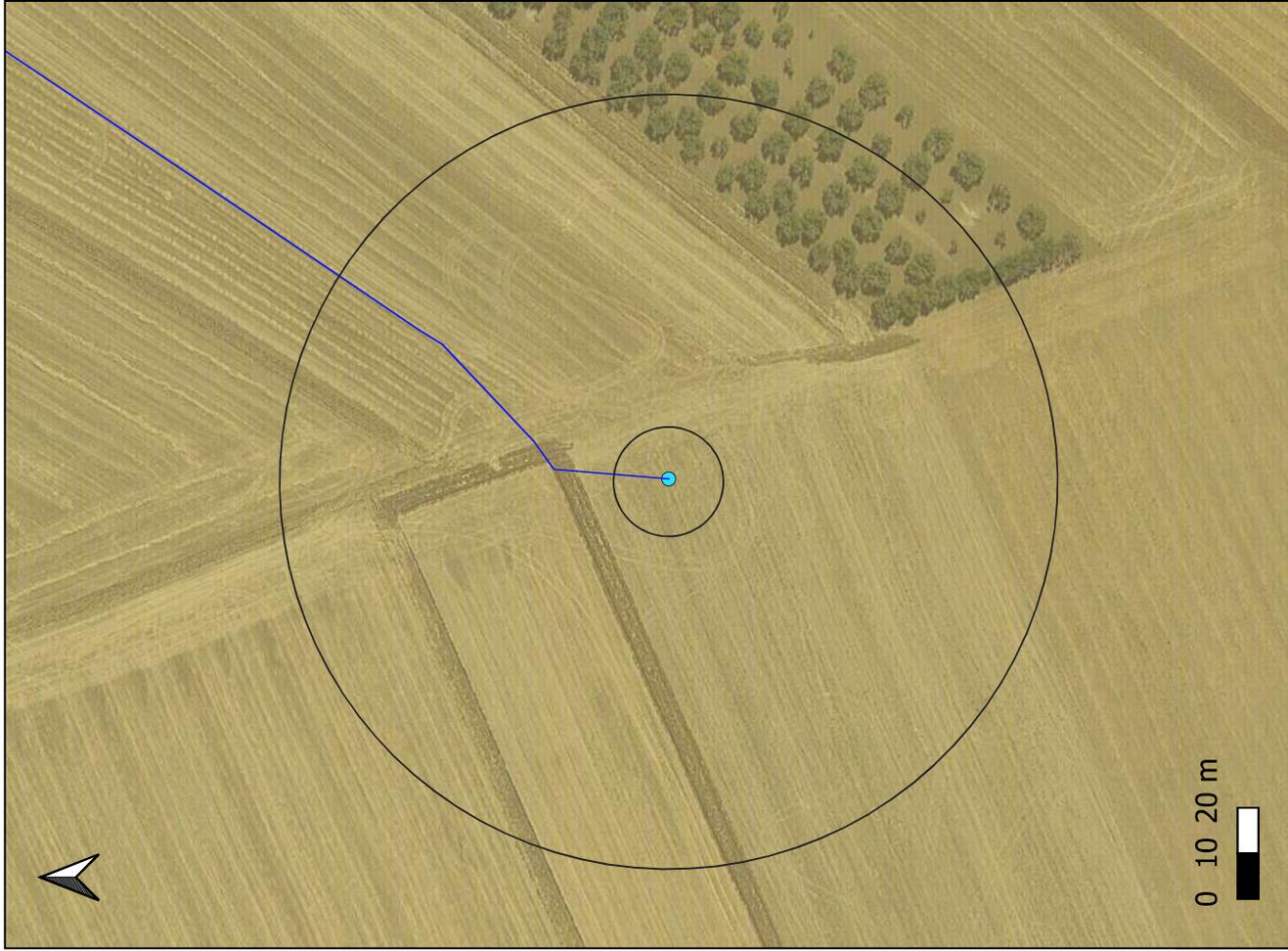


Figura 10.5: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone

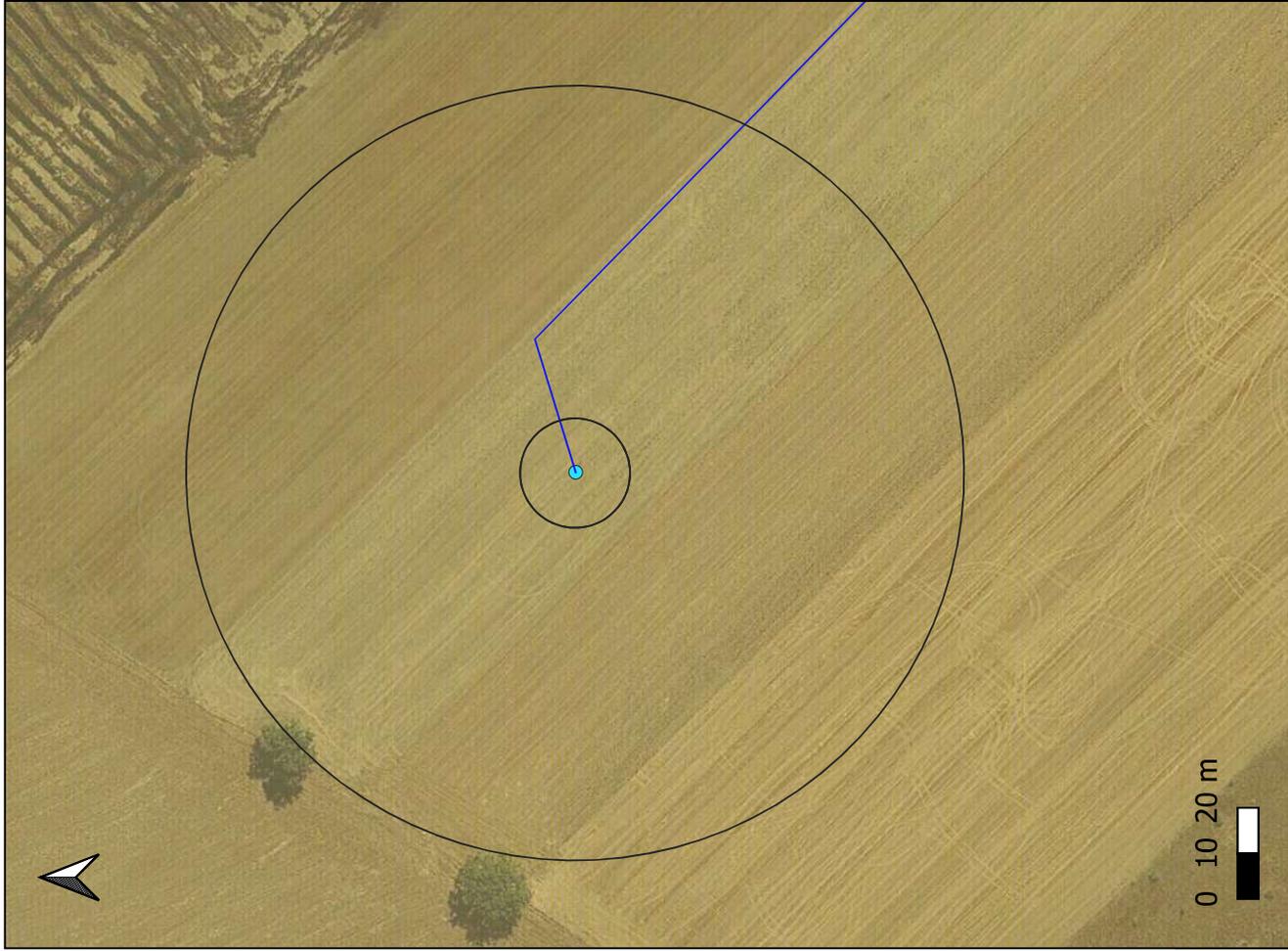
Figura 10.6: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone



Figura 10.7: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica



Depositi argilloso sabbiosi di colore grigio-marrone



Figura 10.8: carta geologica di dettaglio scala 1:2000 ricavata sia dal rilievo geologico di dettaglio che dai risultati della campagna geognostica

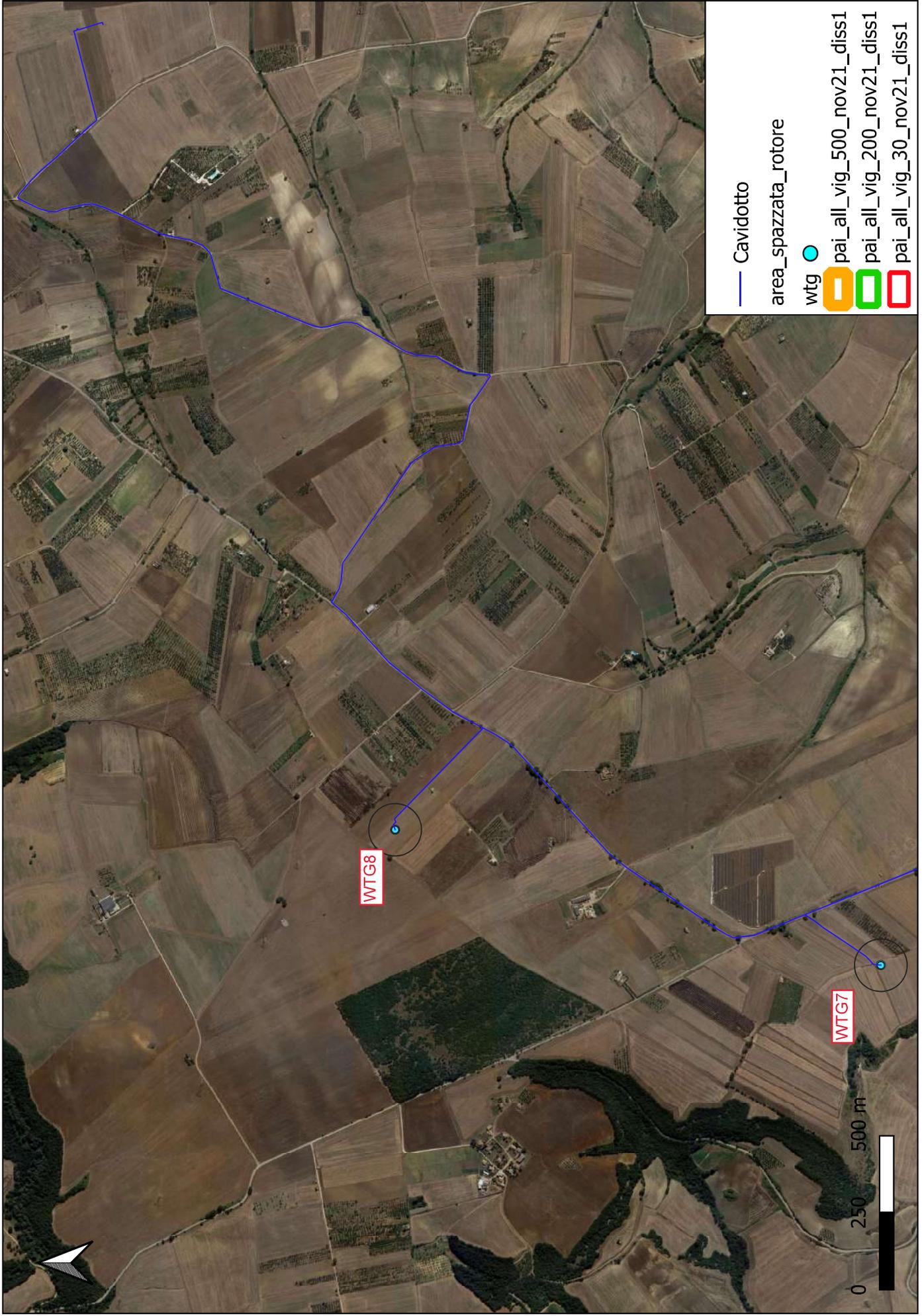


Figura 11.1: ubicazione impianto eolico su stralcio carta PAI alluvioni della Regione Basilicata scala 1:20000

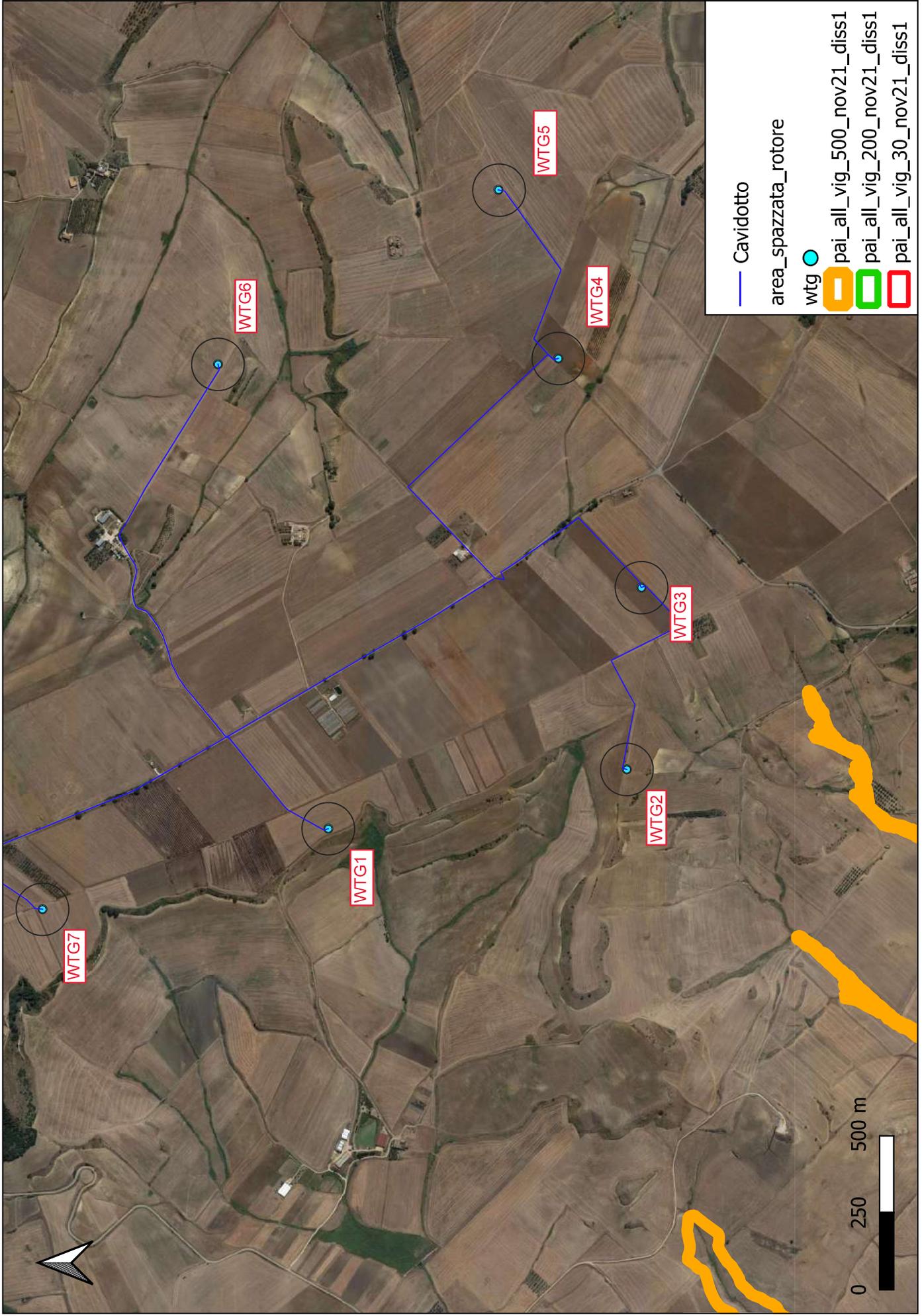


Figura 11.2: ubicazione impianto eolico su stralcio carta PAI alluvioni della Regione Basilicata scala 1:20000

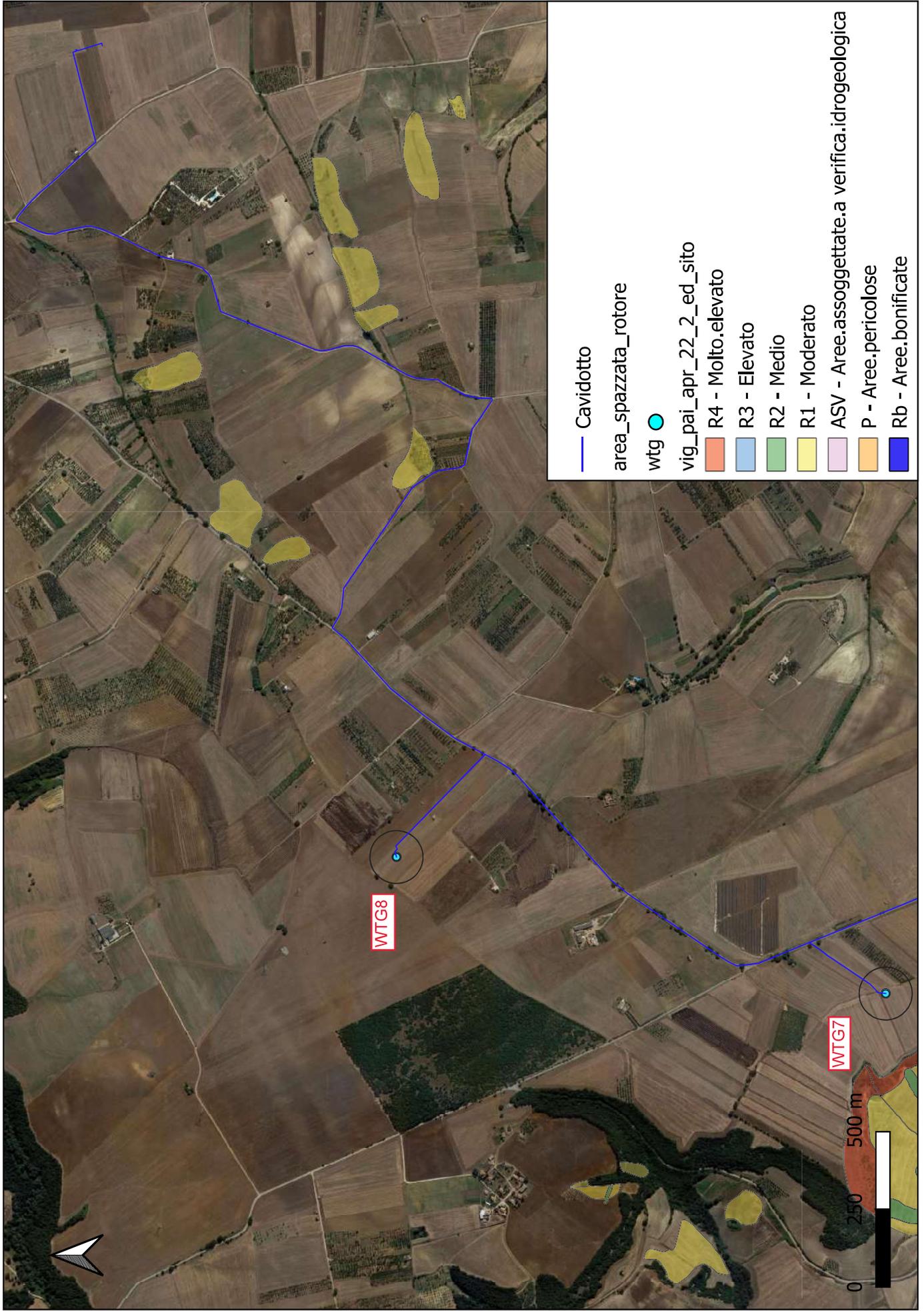


Figura 12.1: ubicazione impianto eolico su stralcio carta PAI frane della Regione Basilicata scala 1:20000

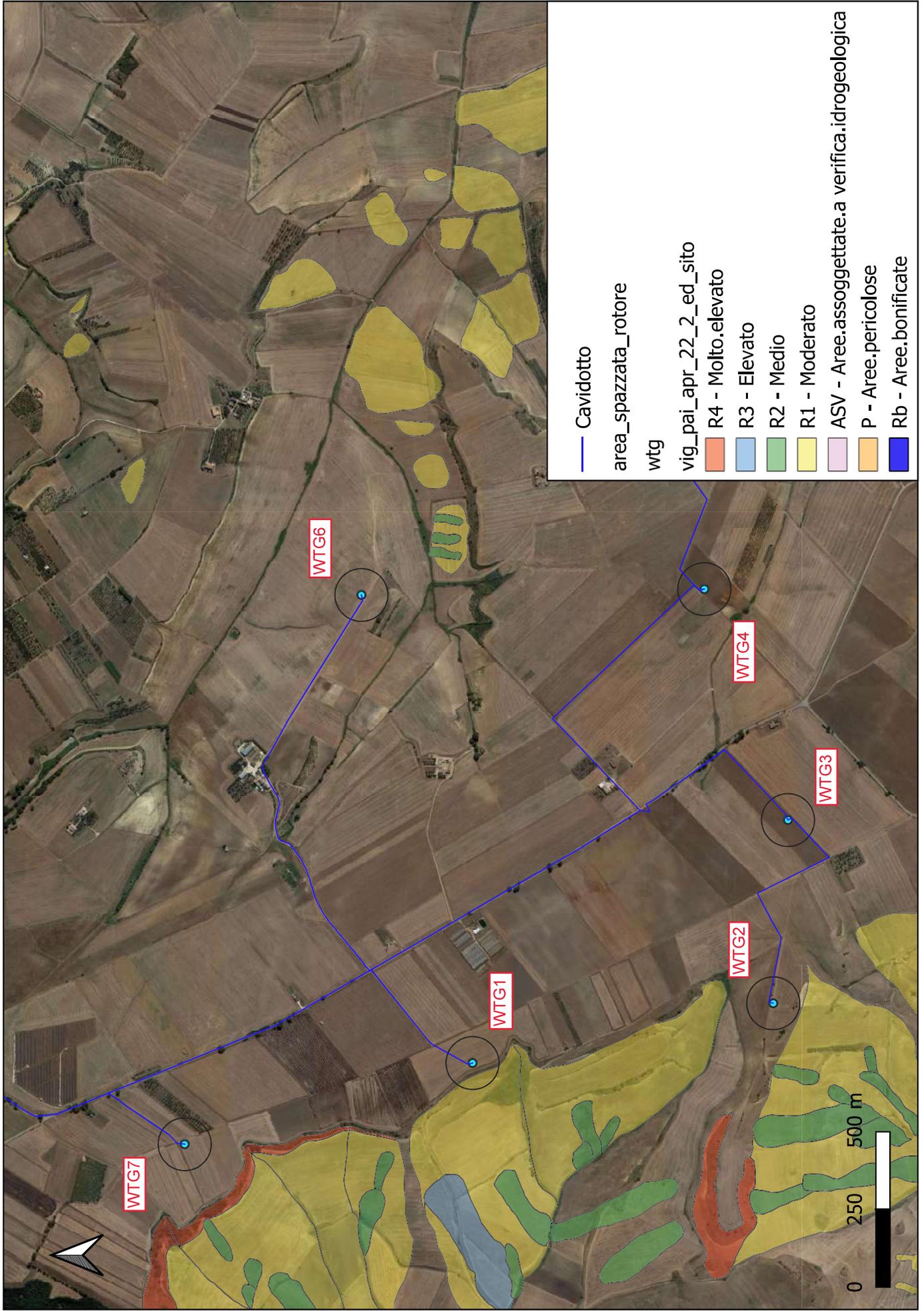


Figura 12.2: ubicazione impianto eolico su stralcio carta PAI franedella Regione Basilicata scala 1:20000



Figura 13.1: ubicazione impianto eolico su stralcio carta PPR della Regione Basilicata scala 1:20000



Figura 13.2: ubicazione impianto eolico su stralcio carta PPR della Regione Basilicata scala 1:20000

— Cavidotto

area\_spazzata\_rotore

wtg

Aree di notevole interesse pubblico (proposta in corso di approvazione)



Beni di Interesse Archeologico - Articolo 10

 Tutela diretta (art. 10-13 D.lgs. 42/2004)

 Tutela indiretta (art. 45 D.lgs. 42/2004)

Beni di Interesse Archeologico - Articolo 10 - Tratturi

 Tratturi

Beni Monumentali - Articolo 10

 Tutela diretta (Art. 10 D.lgs. 42/2004)

 Tutela indiretta (Art. 45 D.lgs. 42/2004)

Beni Paesaggistici - Articolo 136



Beni Paesaggistici - Articolo 142 f

 Parchi

 Riserve

Beni Paesaggistici - Articolo 142 i - Zone umide



Beni Paesaggistici - Articolo 142 l - Vulcani



Parchi e Viali della Rimembranza

Rete Natura 2000

 Single symbol

 Articolo 142a - BUFFER

 Articolo 142b - BUFFER

 Articolo 142c - BUFFER

Beni Paesaggistici - Articolo 142b - BUFFER

 Articolo 142c - BUFFER

Beni Paesaggistici - Articolo 142c - BUFFER

 Articolo 142c - BUFFER

 Articolo 142d

 Articolo 142d

 Articolo 142d

Beni Paesaggistici - Articolo 142d

 Ambiti di paesaggio

 Ambiti di paesaggio

 Ambiti di paesaggio

Beni Paesaggistici - Articolo 142g

 Foreste e boschi

Beni Paesaggistici - Articolo 143



Beni Paesaggistici - Articolo 143 GeoSiti



Fotovoltaico grande generazione

 In Autorizzazione

 Autorizzato

 In Esercizio

Fotovoltaico in esercizio



Impianti eolici di grande generazione

 Impianto eolico di grande generazione IN ESERCIZIO

Impianti eolici di grande generazione in autorizzazione



Minieolico



Inventario fenomeni franosi - IFFI



Parchi e Viali della Rimembranza



Rete Natura 2000

 Single symbol

Sorgenti



Zone di interesse archeologico di nuova istituzione – let. m



Zone di interesse archeologico ope legis – let m



Ambiti di Paesaggio

 Ambiti di paesaggio

 Ambiti di paesaggio

 Ambiti di paesaggio

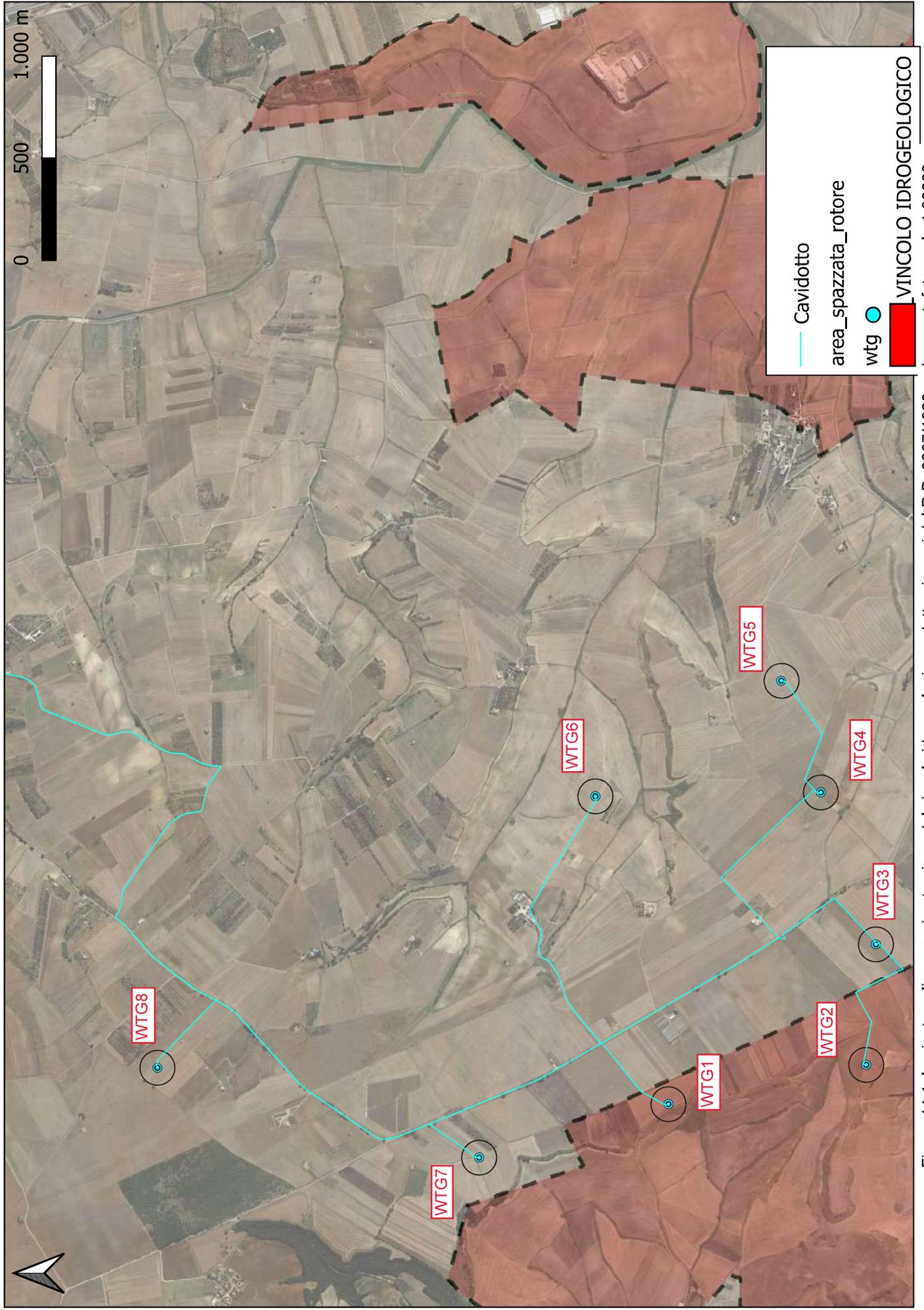


Figura 14.1: Impianto eolico e perimetrazione del vincolo idrogeologico redatte ai sensi del R.D. 3267/1923 su base ortofoto scala 1:30000

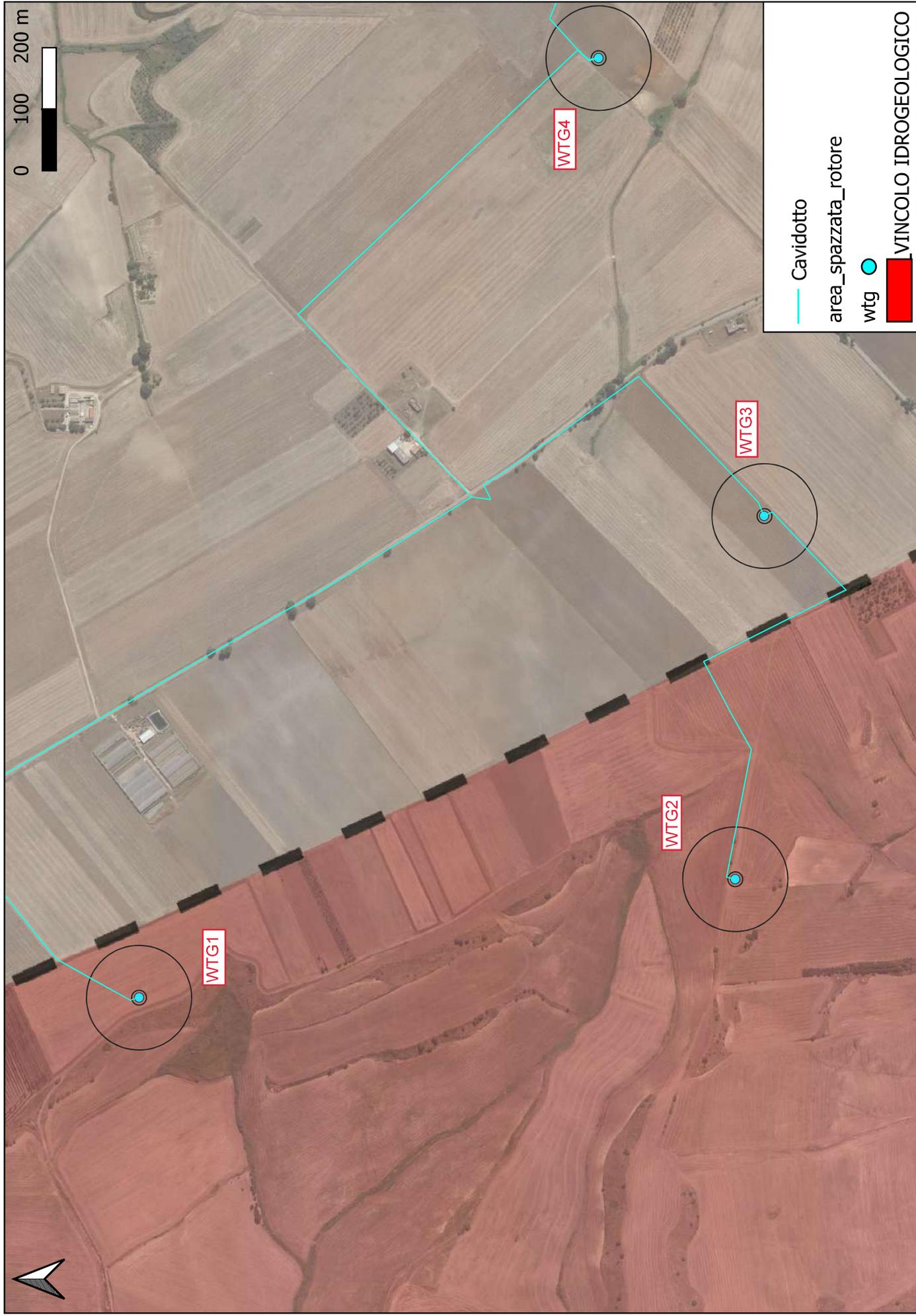


Figura 14.2: Aerogeneratori WTG 1 e 2 ricadenti nella perimetrazione del vincolo idrogeologico redatte ai sensi del R.D. 3267/1923 su base ortofoto scala 1:10000

**Allegato 1**

**Indagini sismiche a rifrazione e MASW per la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione  
per l'installazione di aerogeneratori**

# Geologo Pellegrini Vito

Via Chiantera n.41 – 70044 Polignano a Mare (BA)

☎ 389.4391434 - 📧 geo.pellegrini@libero.it - P. IVA 07284740722



**PELLEGRINI**  
STUDIO DI GEOLOGIA  
vito.pellegrini14@gmail.com

<p><u>Committenti:</u></p> <p><b><u>RAFFAELE SASSONE</u></b></p>	<p><u>Incarico:</u></p> <p>Indagini sismiche a rifrazione e MASW per la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione per l'installazione di aerogeneratori</p>
<p><u>Relatore:</u></p> <p>Geologo <b>PELLEGRINI Vito</b></p>	<p><u>Ubicazione:</u></p> <p>MATERA (MT) C.da Serra della Stella o C.da Selva</p>
	<p><u>Riferimenti catastali:</u></p>
	<p><u>Coordinate geografiche (WGS84):</u></p> <p>Latitudine: 40° 44' 40,00'' Nord Longitudine: 16° 30' 25,00'' Est</p>
<p><u>Luogo e Data:</u></p>	<p><i>Polignano a Mare, luglio 2022</i></p>

## Indice

<u>Premessa e inquadramento del sito di indagine</u>	<u>pag. 02</u>
<u>Premessa alle indagini sismiche</u>	<u>pag. 04</u>
Indagine sismica a rifrazione – S1	pag. 06
Indagine sismica MASW – S1	pag. 07
Allegati fotografici – S1	pag. 09
Indagine sismica a rifrazione – S2	pag. 10
Indagine sismica MASW – S2	pag. 11
Allegati fotografici – S2	pag. 13
Indagine sismica a rifrazione – S3	pag. 14
Indagine sismica MASW – S3	pag. 15
Allegati fotografici – S3	pag. 17
Indagine sismica a rifrazione – S4	pag. 18
Indagine sismica MASW – S4	pag. 19
Allegati fotografici – S4	pag. 21
Indagine sismica a rifrazione – S5	pag. 22
Indagine sismica MASW – S5	pag. 23
Allegati fotografici – S5	pag. 25
Indagine sismica a rifrazione – S6	pag. 26
Indagine sismica MASW – S6	pag. 27
Allegati fotografici – S6	pag. 29
Indagine sismica a rifrazione – S7	pag. 30
Indagine sismica MASW – S7	pag. 31
Allegati fotografici – S7	pag. 33
Indagine sismica a rifrazione – S8	pag. 34
Indagine sismica MASW – S8	pag. 35
Allegati fotografici – S8	pag. 37
<u>Moduli elasto-dinamici e caratterizzazione del terreno</u>	<u>pag. 38</u>
<u>Classificazione del suolo di fondazione</u>	<u>pag. 39</u>
<u>Ubicazione delle indagini sismiche</u>	<u>pag. 40</u>

## Premessa e inquadramento del sito di indagine

Su incarico conferito allo scrivente Geologo Vito Pellegrini, iscritto all’Ordine dei Geologi della Puglia con matr. n. 777, dal Geologo Raffaele Sassone, iscritto all’Ordine dei Geologi della Puglia con matr. n. 664, è stato redatto il seguente report geofisico riguardante n. 8 indagini di tipo sismico con la tecnica della tomografia in rifrazione con onde P e con la tecnica della MASW.

Il sito di indagine, interessato dalla futura installazione di un parco eolico, è ubicato nell’agro di Matera (MT), nel territorio compreso appunto tra Matera (MT) a SE, Altamura (BA) a NE e Gravina in Puglia (BA) a NO; il sito di interesse è grossomodo ricompreso tra la S.P. n. 11 e la S.P. n. 201.

L’indagine svolta ha avuto lo scopo di ricostruire la sismo-stratigrafia dei terreni investigati e di calcolare i moduli elasto-dinamici del sottosuolo di fondazione e alcuni parametri geologico-tecnici, nonché, ha permesso di individuare la Categoria di Suolo di fondazione in ottemperanza alle vigenti normative in materia di anti-sismica (NTC2018).

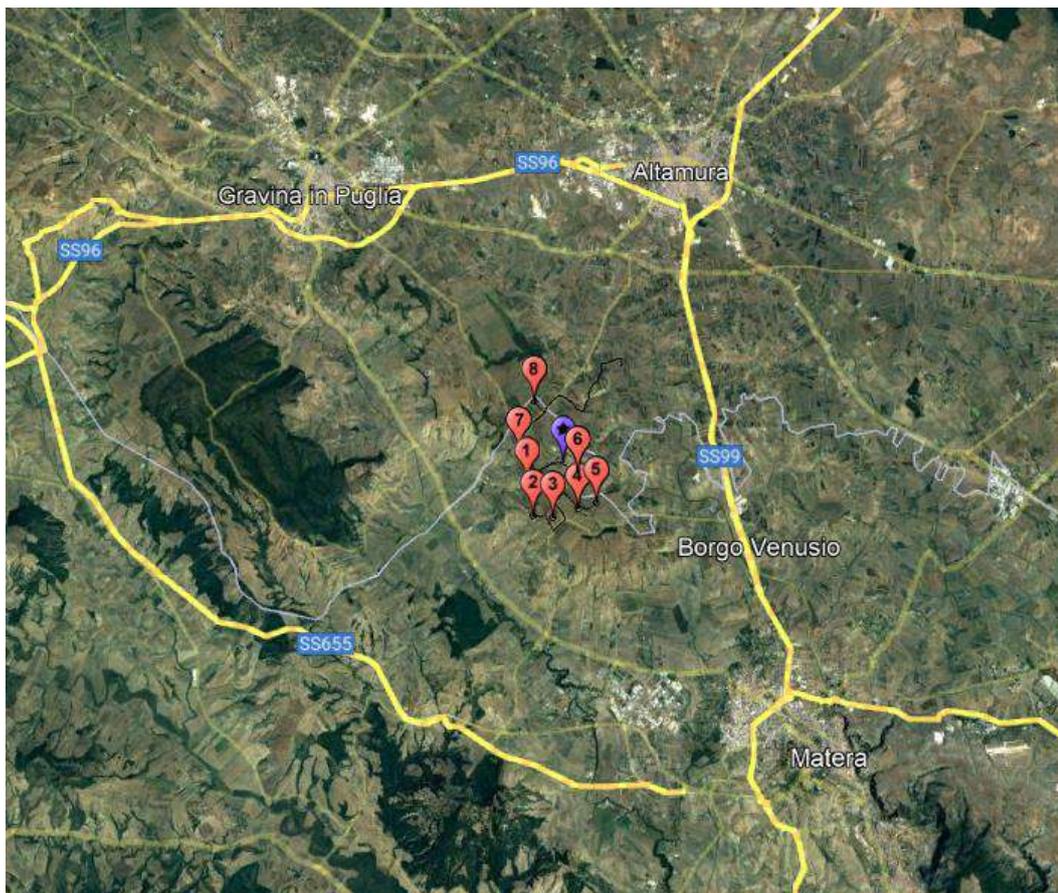


Fig. 1 – Foto aerea generale del sito investigato; segnati in rosso e numerati i siti di indagine oggetto dell’installazione degli aerogeneratori e segnato in blu il sito di installazione dell’anemometro a servizio del parco eolico e non oggetto del report.

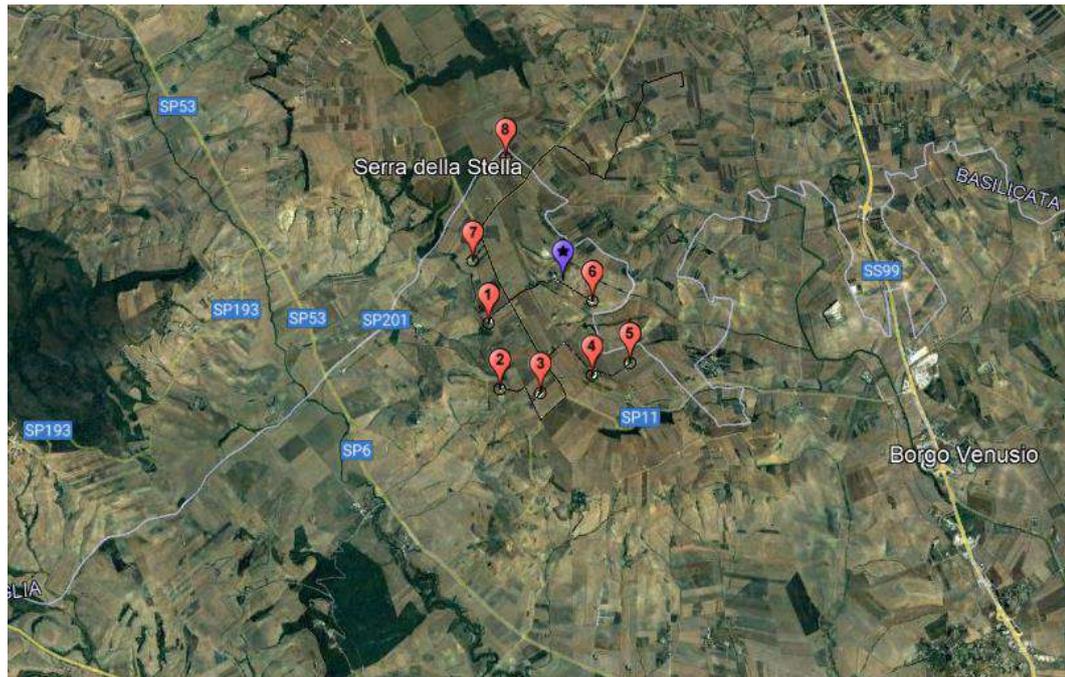


Fig. 2 – Foto aerea generale del sito investigato; segnati in rosso e numerati i siti di indagine oggetto dell'installazione degli aerogeneratori e segnato in blu il sito di installazione dell'anemometro a servizio del parco eolico e non oggetto del report.

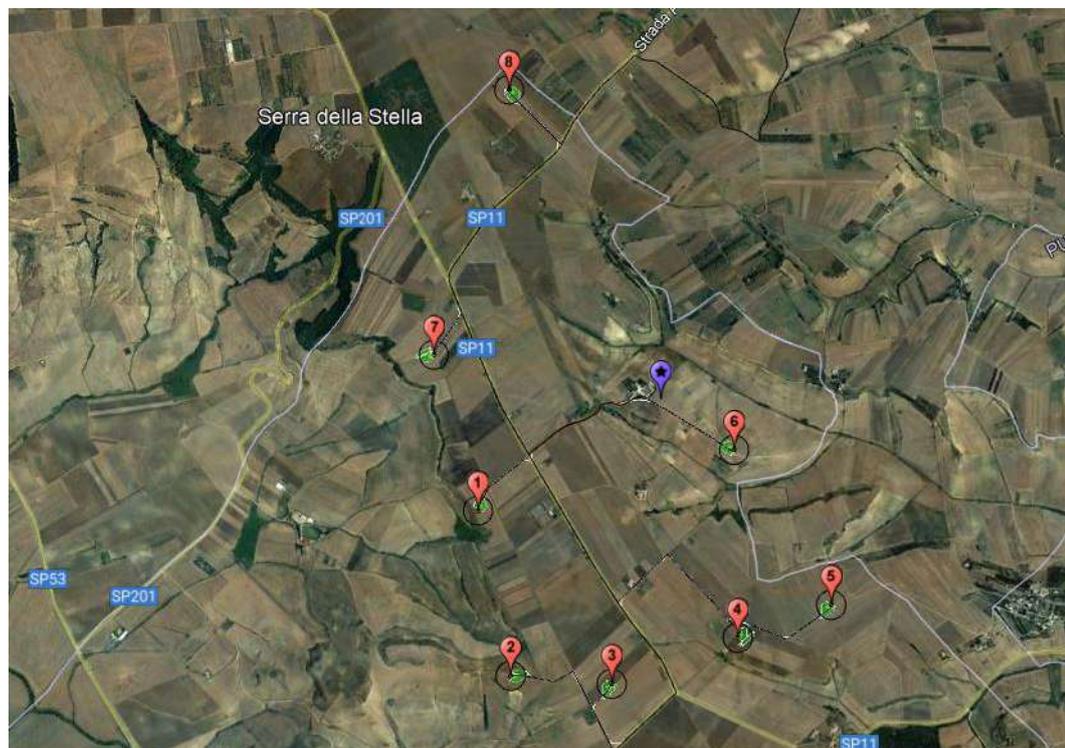


Fig. 3 – Foto aerea di dettaglio del sito investigato; segnati in rosso e numerati i siti di indagine oggetto dell'installazione degli aerogeneratori e segnato in blu il sito di installazione dell'anemometro a servizio del parco eolico e non oggetto del report.

## **Premessa alle indagini sismiche**

Per ricostruire la sismo-stratigrafia del terreno di fondazione e per poter estrapolare i moduli elasto-dinamici e definire la categoria del suolo di fondazione, come da vigente normativa antisismica, sono state eseguite indagini sismiche con la tecnica della tomografia in rifrazione e della MASW.

Nella prospezione sismica a rifrazione si utilizza la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) per individuare gli spessori e le geometrie dei diversi sismo-strati del sottosuolo; la registrazione del segnale si ottiene con una serie di geofoni disposti a intervalli regolari lungo il profilo sismico. L'equidistanza tra i geofoni ed il loro numero sono in funzione del dettaglio e del target e con la misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni si può ricostruire l'andamento e la profondità dei rifrattori. La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione attraverso una sorgente energizzante e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo fino ai geofoni; tale procedura è regolata dalle leggi di rifrazione dell'ottica cioè dal fatto che l'onda sismica si rifrange su superfici di separazione tra due materiali a densità e quindi a modulo elastico differente. Il sismografo registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono e così è possibile osservare in fase di elaborazione i "primi arrivi" sui geofoni posti a distanze diverse e crescenti dalla sorgente energizzante; in tal modo è possibile costruire una curva tempo/distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso questi metodi si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

L'indagine sismica MASW consiste nel misurare anziché il tempo di primo arrivo ai geofoni l'intero segnale sismico. Le misure del moto in superficie sono elaborate per calcolare la velocità di fase apparente sperimentale delle onde di Rayleigh (curva di dispersione sperimentale) in sito e successivamente determinare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  attraverso un processo di inversione. Il metodo consiste nell'assumere un profilo di velocità iniziale di primo tentativo e attraverso un opportuno programma di elaborazione dati calcolare la velocità di fase apparente delle onde di Rayleigh corrispondente al profilo stratigrafico di velocità ipotizzato (curva di dispersione teorica). Dal confronto tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica è possibile modificare opportunamente gli spessori e le velocità del modello per minimizzare la distanza tra le due curve.

Il processo di identificazione e modellazione del terreno si conclude quando si raggiunge una sovrapposizione ottimale fra la curva sperimentale misurata in sito e la curva teorica elaborata con il software; infine, con il parametro  $V_{Seq}$  (NTC2018) si individua la categoria del suolo di fondazione.

Le indagini sono state condotte con il sismografo A6000/SE della MAE S.R.L. che ha la possibilità di stack degli impulsi sismici e di utilizzo di filtri analogici e digitali programmabili, di guadagno verticale del segnale e una sensibilità tra 6 decibel e 92 decibel, infine, permette di registrare dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit. Per il caso specifico, sono stati adoperati geofoni verticali per onde P con una frequenza pari a 4,5 Hz e un sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dello stendimento e costituito da un martello lasciato cadere con violenza su una piastra metallica appoggiata al suolo.

Nel nostro caso l'indagine è stata eseguita sempre con 24 geofoni verticali con spaziatura di 2 m per una lunghezza di 50 m e con 6 punti di scoppio alle progressive 0 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m e 50 m. L'ubicazione dei singoli stendimenti è stata praticamente sempre circa centrale all'impronta di fondazione degli aerogeneratori.

Per quanto concerne la natura del sottosuolo nei siti di interventi ci si è basati sui dati geologici ufficiali, ossia, su quanto riportato in affioramento secondo la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 per il Foglio n. 189 denominato "Altamura" (Fig. 4) benché per alcuni siti vi sia una incertezza legata alla larga scala della cartografia disponibile e ci si è avvalsi anche del rilevamento in sito per il riconoscimento, laddove possibile, della natura dei terreni.

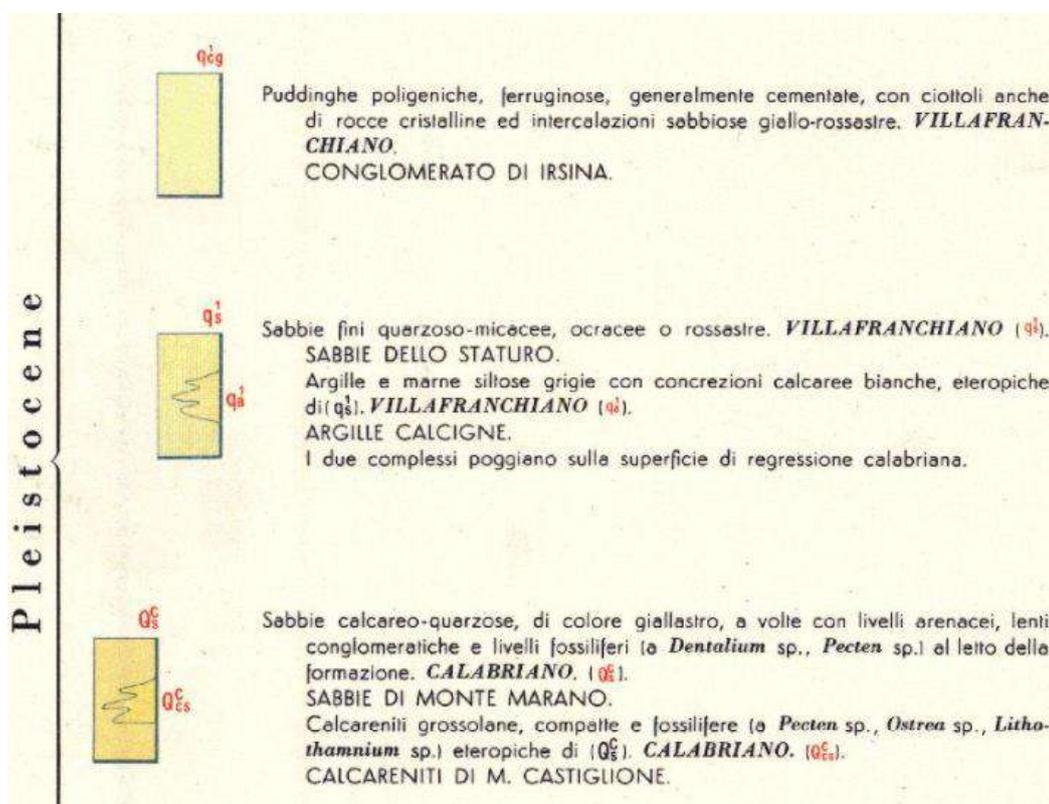


Fig. 4 – Stralcio della Legenda del Foglio n. 189 "Altamura" con le Formazioni affioranti.

## Indagine sismica a rifrazione – S1

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifratore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.

**R2:** il secondo rifratore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. con un rifratore regolare e piano; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifratore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. con un rifratore alquanto irregolare; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s – 1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

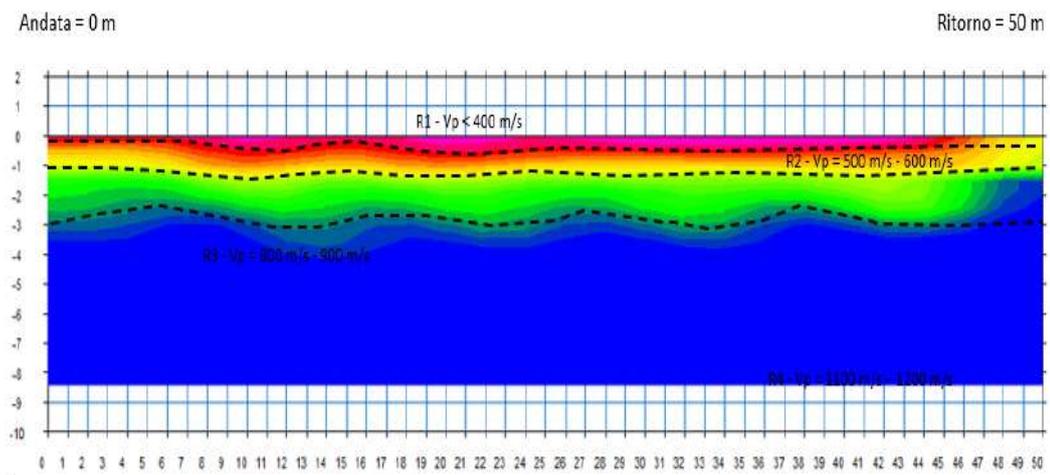


Fig. 5 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S1

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m la  $V_s$  è di 120 m/s; da 0,5 m a 1,5 m la  $V_s$  è di 170 m/s; da 1,5 m a 3,7 m la  $V_s$  è di 190 m/s; da 3,7 m a 9,8 m la  $V_s$  è di 260 m/s, da 9,8 m a 13 m la  $V_s$  è di 280 m/s, da 13 m a 17 m la  $V_s$  è di 310, infine, dai 17 m ai 24 la  $V_s$  è di 370 m/s e fino ai 30 m la  $V_s$  è di 400 m/s.

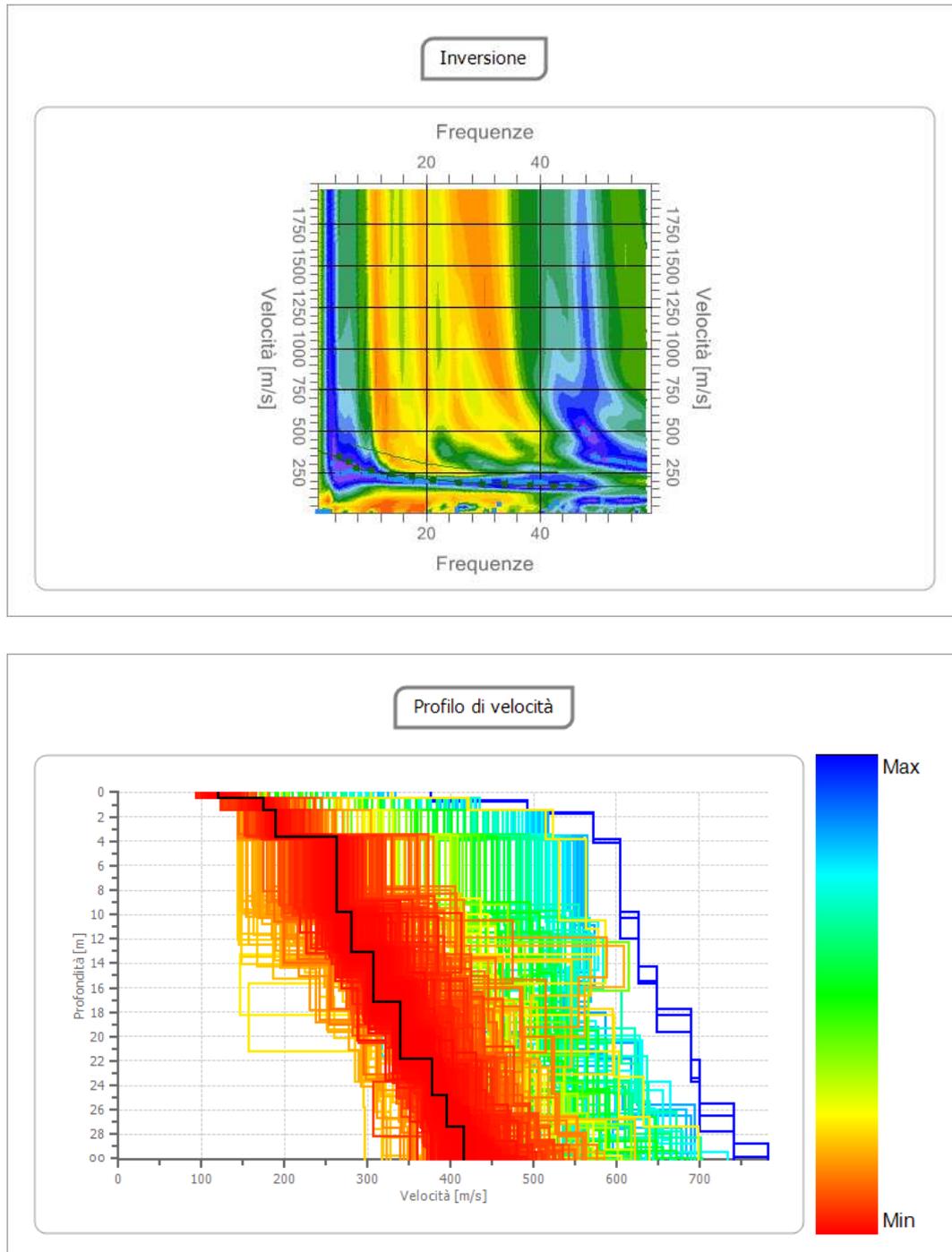


Fig. 6 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S1



Foto 1 e Foto 2 – Vista dello stendimento sismico S1 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S2

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifratore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.

**R2:** il secondo rifratore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. con punte fino a 1,5 m e con un rifratore regolare; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifratore si ritrova a una profondità pari a valori massimi di circa 5-6 m dal p.c. e a valori minimi di 3 m dal p.c. tra le progressive 12-36 m circa; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s – 1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

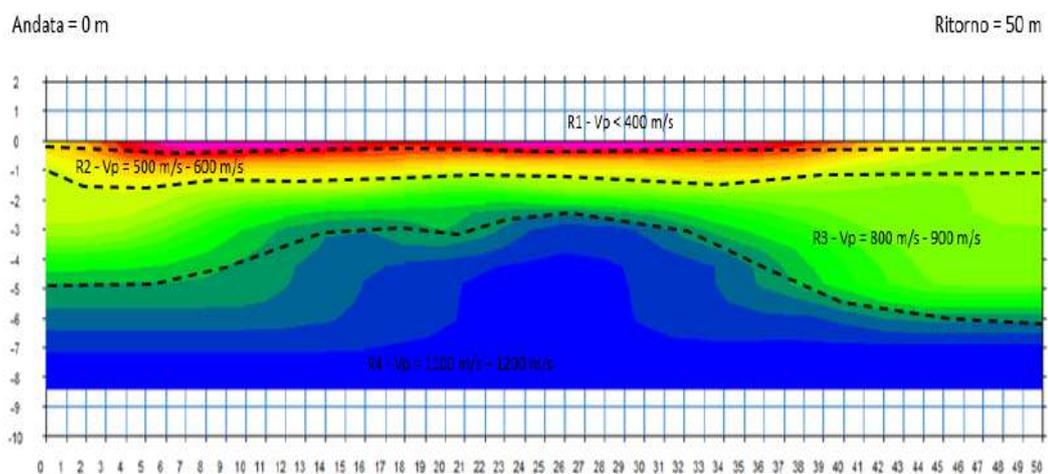


Fig. 7 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S2

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 120 m/s; da 0,5 m a 1,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 160 m/s; da 1,5 m a 3,6 m dal p.c. la  $V_s$  è di 300 m/s; da 3,6 m a 11,4 m dal p.c. la  $V_s$  è di 320 m/s, infine, dagli 11,4 m dal p.c. ai 30 m dal p.c. la  $V_s$  è di 350 m/s.

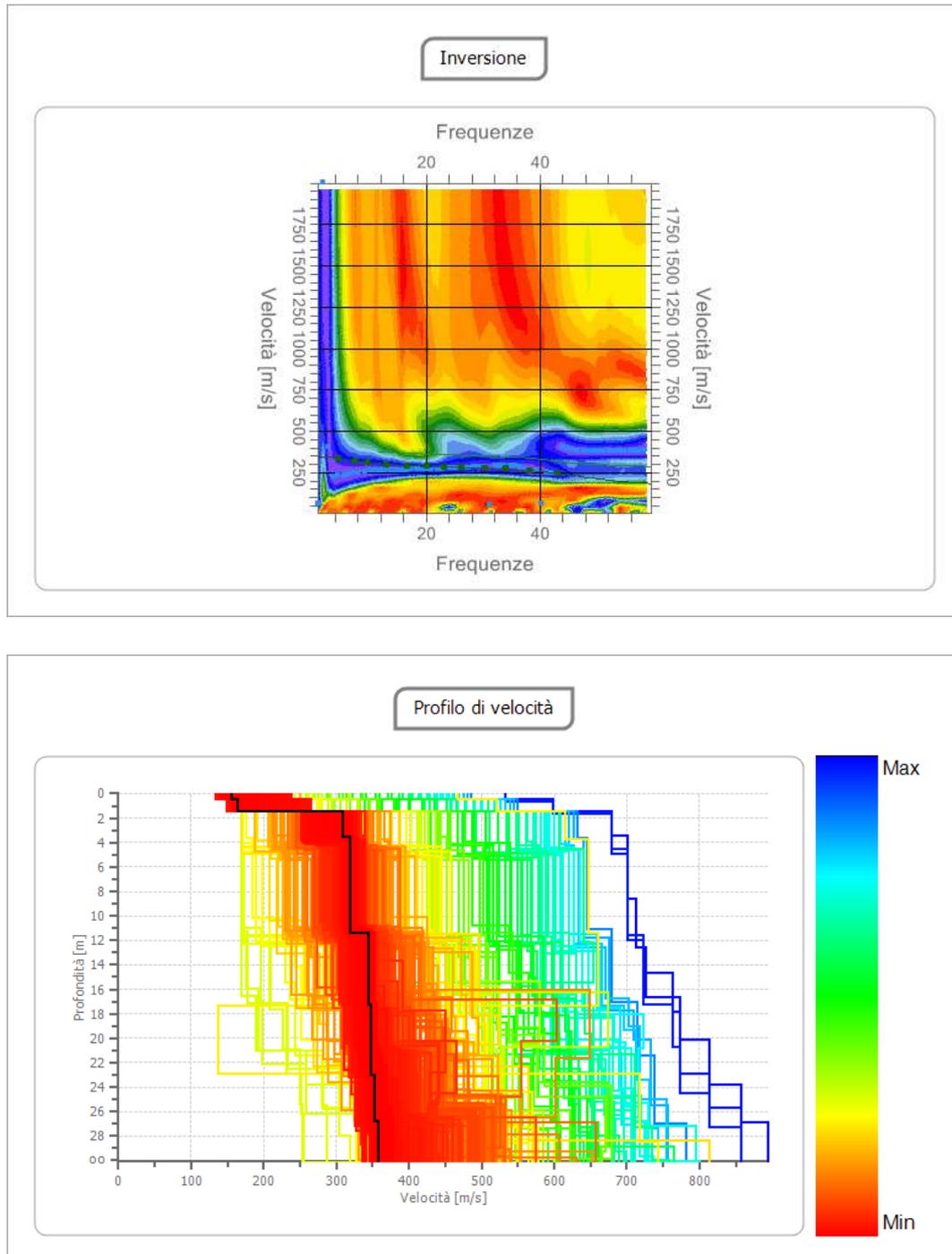


Fig. 8 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S2



Foto 3 e Foto 4 – Vista dello stendimento sismico S2 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S3

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifrattore ha uno spessore compreso tra qualche decimetro e 0,5 m circa con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati.

**R2:** il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1-1,5 m dal p.c. e con un rifrattore regolare; le  $V_p$  sono comprese tra 500 m/s e 600 m/s ed è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifrattore si ritrova a una profondità variabile tra 5-6 m verso l'andata e 2 m verso il ritorno con una evidente superficializzazione dalla progressiva 5 m circa; con  $V_p$  tra 700 m/s e 800 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1000 m/s – 1100 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

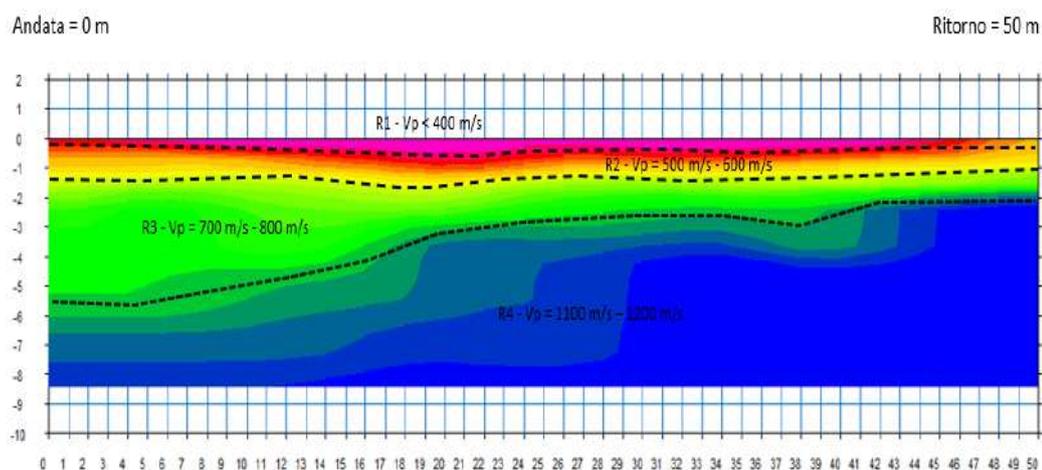


Fig. 9 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S3

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m la  $V_s$  è di 150 m/s, fino a 1,5 m di profondità la  $V_s$  è 200 m/s, fino a 4,3 m la  $V_s$  è di 210 m/s, fino a 10,2 m la  $V_s$  è di 230 m/s, fino a 12 m/s la  $V_s$  arriva a valori di 260 m/s, infine, ai 18 m di profondità la  $V_s$  è di 320 m/s, dai 18 m ai 23 m è di 330 m/s e ai 30 m è 340 m/s.

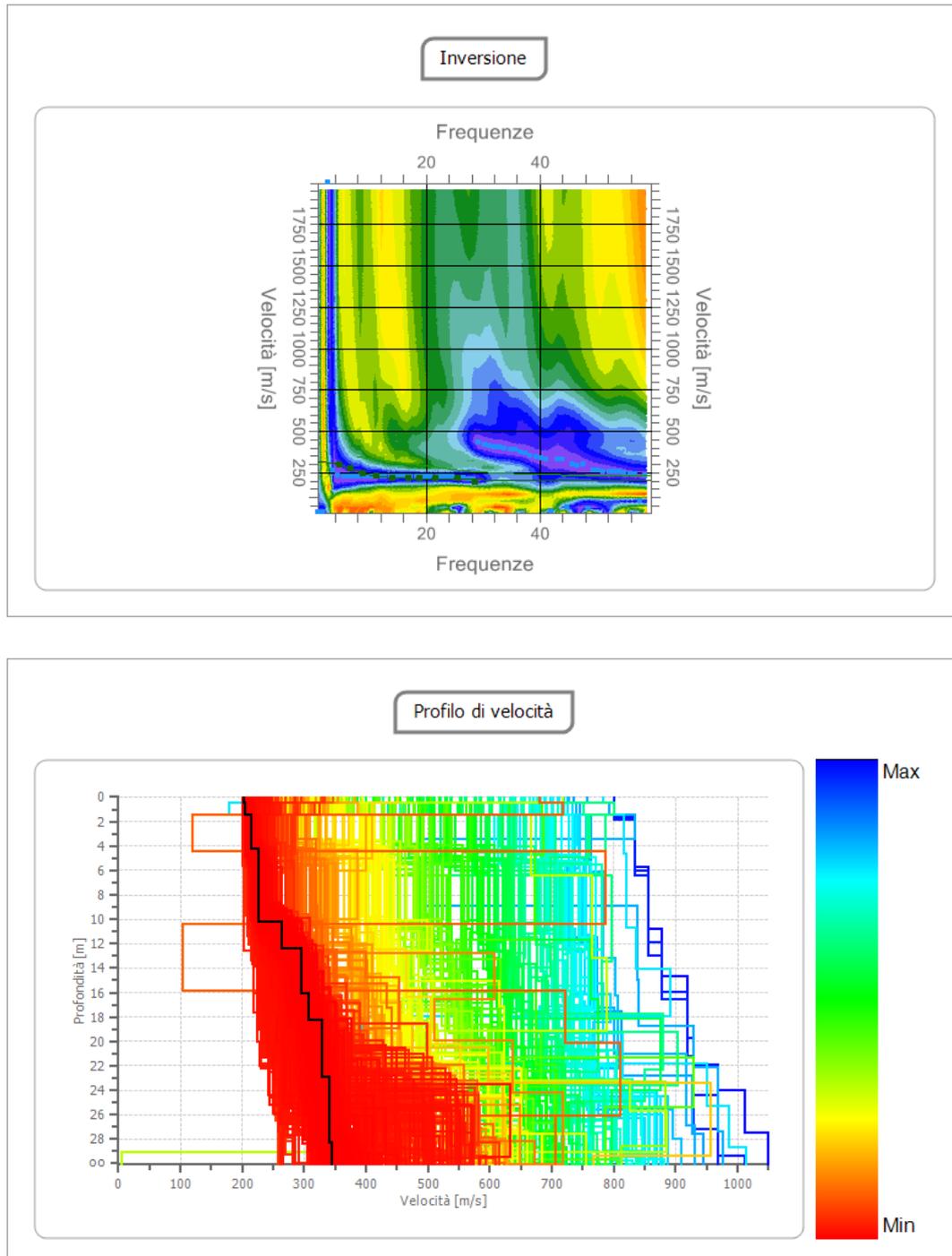


Fig. 10 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S3



Foto 5 e Foto 6 – Vista dello standimento sismico S3 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S4

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifrattore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.

**R2:** il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 m dal p.c. e con un rifrattore circa regolare; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità di circa 3-4 m dal p.c. e mostra un rifrattore alquanto irregolare con approfondimenti e superficializzazioni; con  $V_p$  tra 700 m/s e 800 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s – 1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

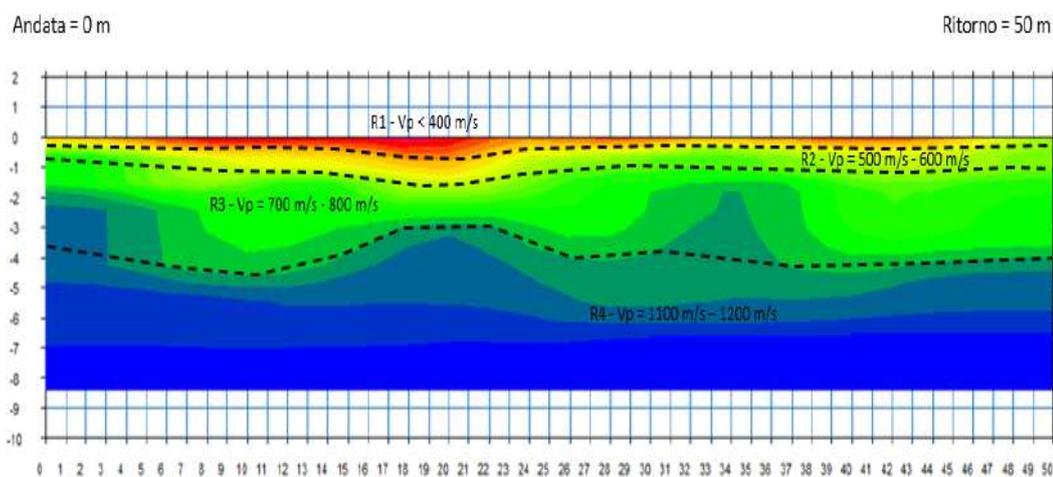


Fig. 11 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S4

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 150 m/s; da 10,5 m a 1 m dal p.c. la  $V_s$  è di 220 m/s; da 1 m a 3 m dal p.c. la  $V_s$  è di 260 m/s; da 3 m a 19,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 290 m/s, infine, dai 19,5 m dal p.c. fino ai 30 m di profondità la  $V_s$  è di 310 m/s.

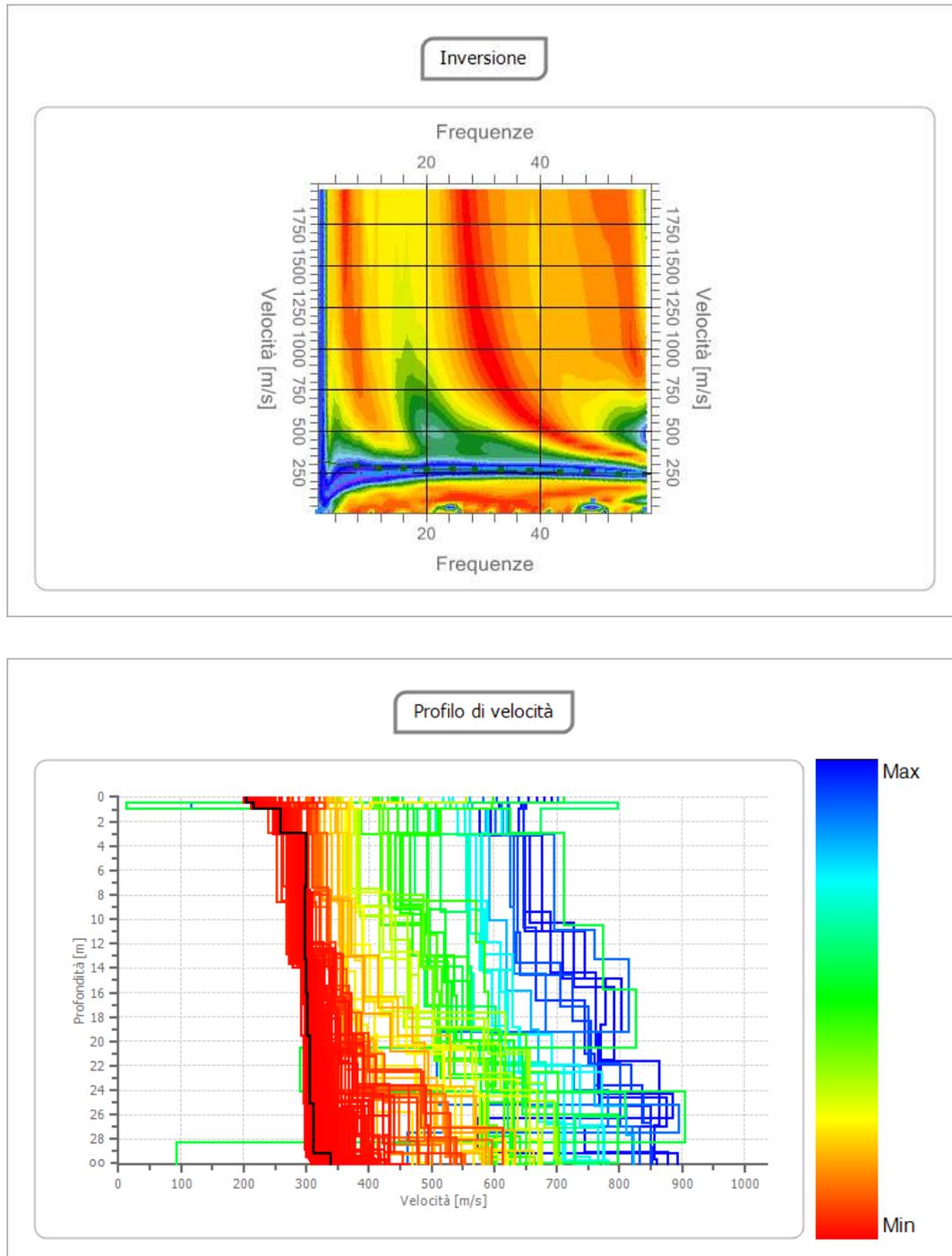


Fig. 12 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S4



Foto 7 e Foto 8 – Vista dello stendimento sismico S4 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S5

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

- R1:** il primo rifratore ha uno spessore di qualche decimetro e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.
- R2:** il secondo rifratore si ritrova fino a una profondità pari a circa 1 – 1,5 m dal p.c. e con un rifratore circa regolare; con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.
- R3:** il terzo rifratore si ritrova a una profondità di 2 m dal p.c. tra le progressive 0 m e 7-8 m con un approfondimento a circa 4-5 m dal p.c. fino alla progressiva 50 m; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.
- R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s – 1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

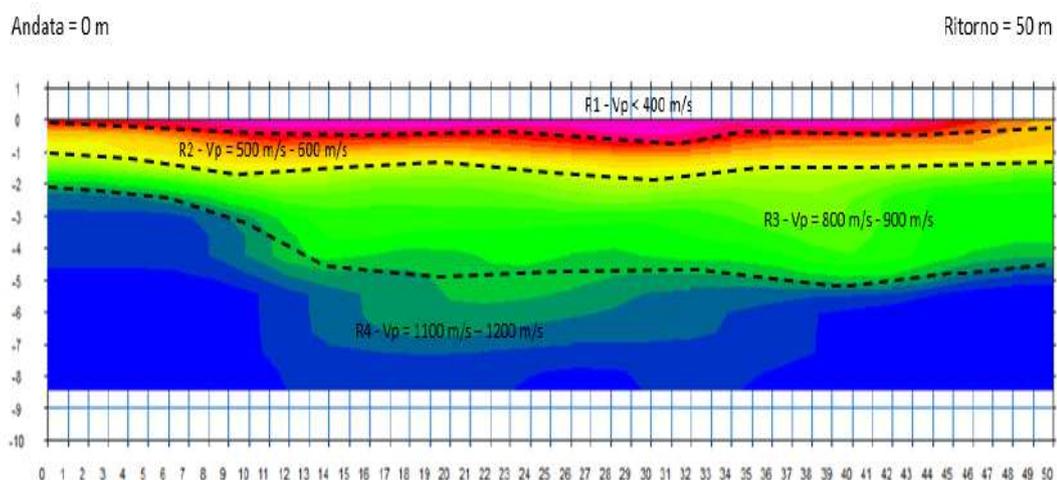


Fig. 13 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S5

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 100 m/s; da 0,5 m a 1 m dal p.c. la  $V_s$  è di 160 m/s; da 1 m a 3 m dal p.c. la  $V_s$  è di 240 m/s; da 3 m a 23 m dal p.c. la  $V_s$  è di 340 m/s, infine, dai 23 m dal p.c. ai 30 m di profondità dal p.c. la  $V_s$  è di 360 m/s.

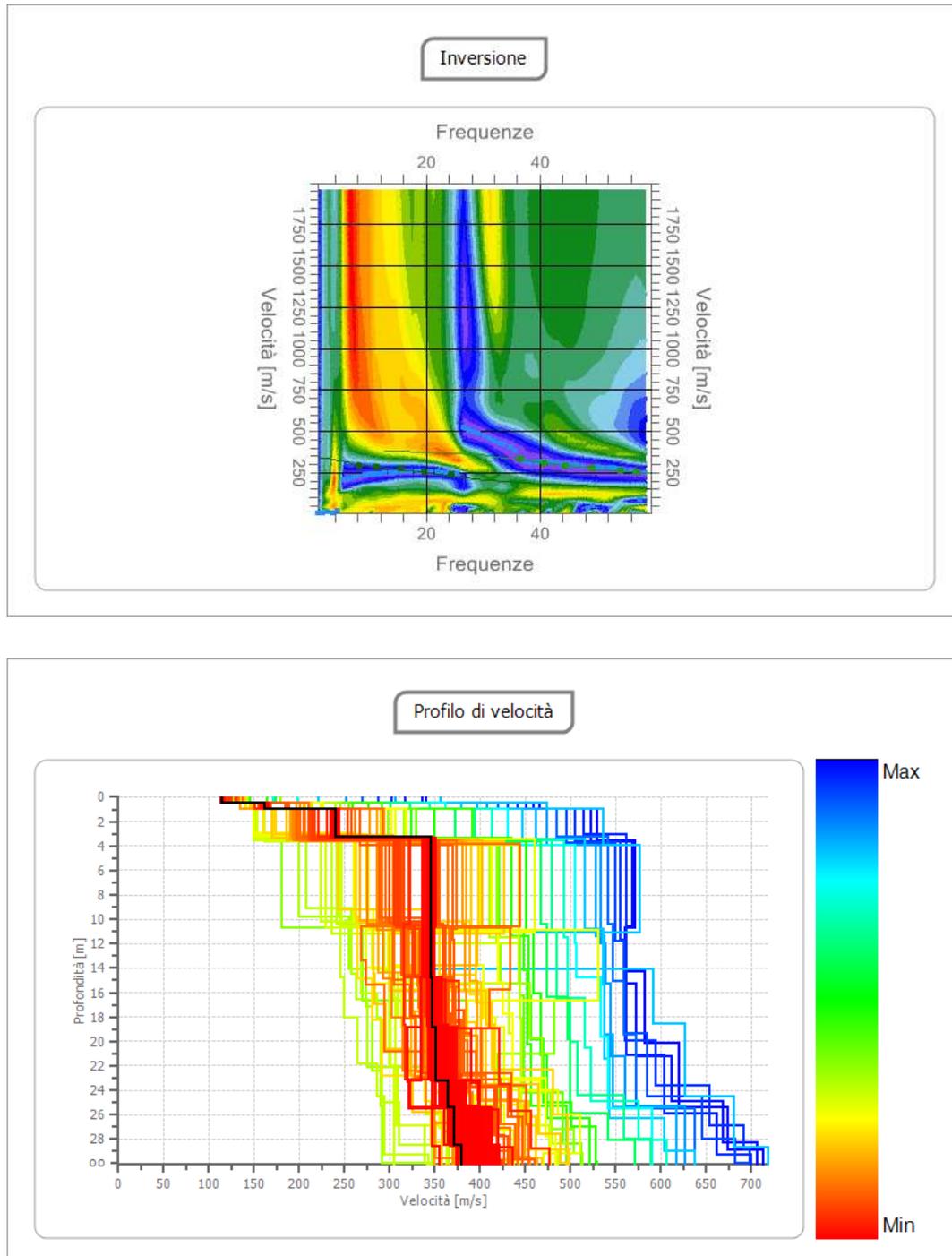


Fig. 14 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S5



Foto 9 e Foto 10 – Vista dello stendimento sismico S5 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S6

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifrattore ha uno spessore compreso tra 0,5 m e poco meno di 1 m e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.

**R2:** il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità compresa all'incirca tra 2 m dal p.c. e 3 m dal p.c. e con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità compresa all'incirca tra 5 m dal p.c. e 6 m dal p.c. e con  $V_p$  tra 700 m/s e 800 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1000 m/s – 1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

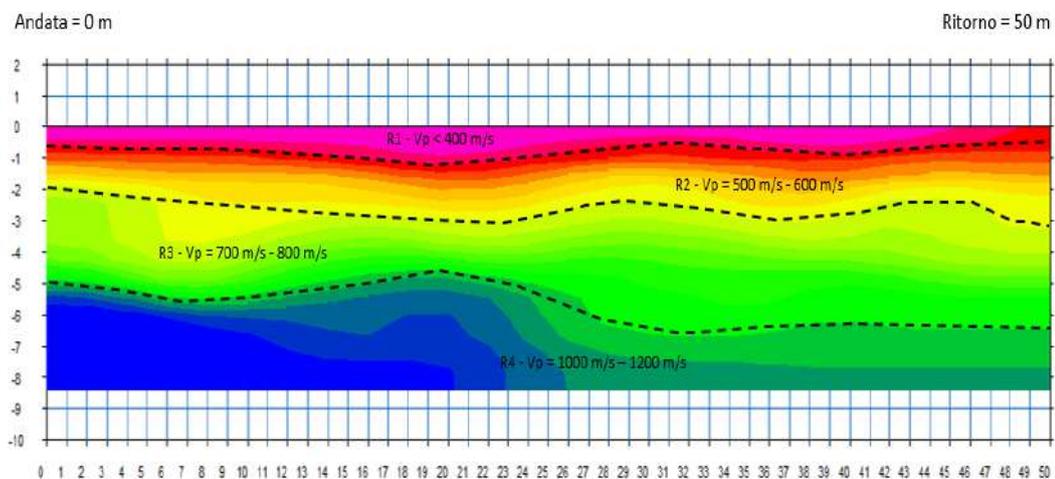


Fig. 15 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S6

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 1 m dal p.c. la  $V_s$  è di 110 m/s; da 1 m a 3 m dal p.c. la  $V_s$  è di 220 m/s; da 3 m a 6,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 270 m/s; da 6,5 m a 27 m dal p.c. la  $V_s$  è di 290 m/s, infine, dai 27 m dal p.c. ai 30 m dal p.c. la  $V_s$  è di 340 m/s.

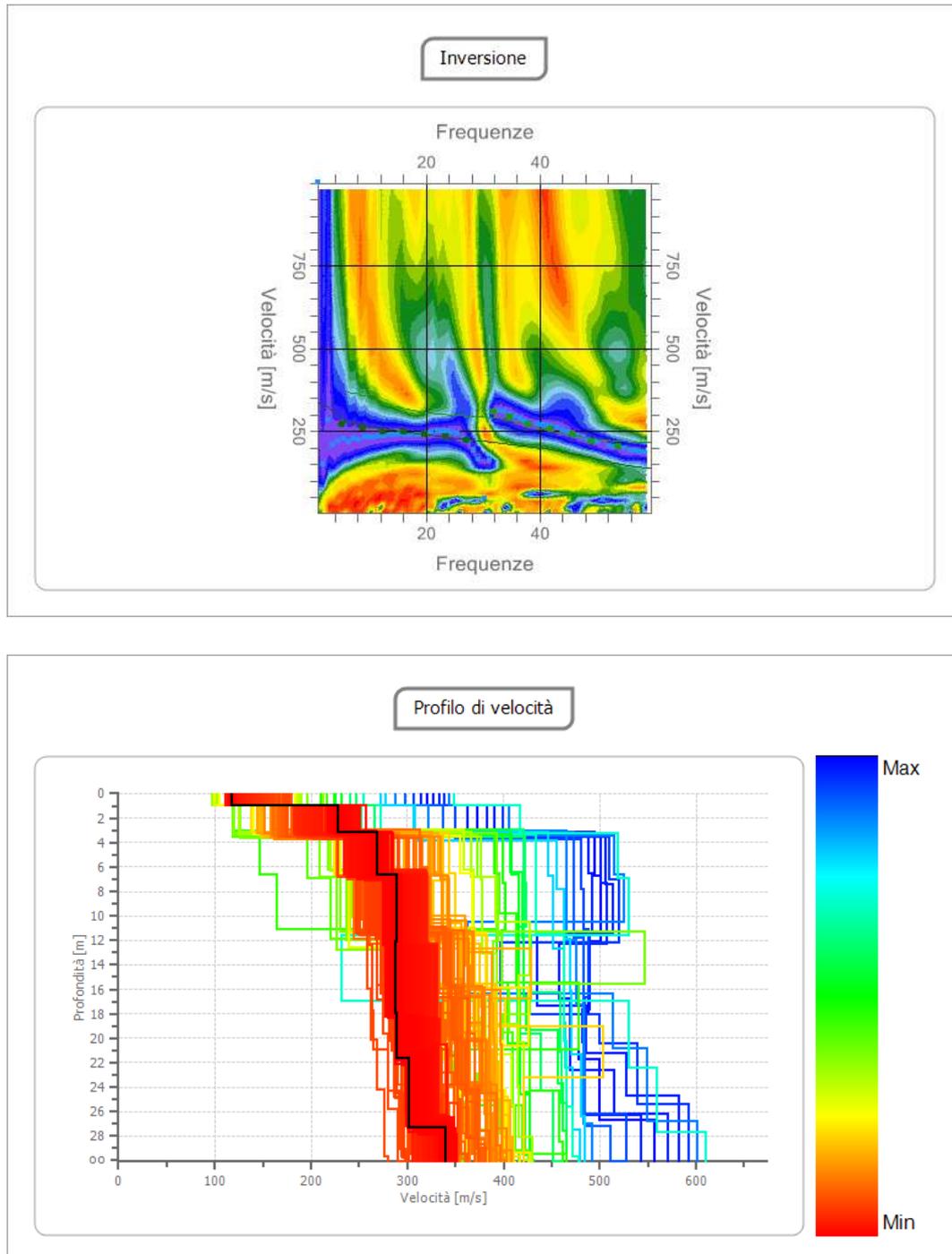


Fig. 16 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S6



Foto 11 e Foto 12 – Vista dello stendimento sismico S6 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S7

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifrattore ha uno spessore medio di 0,5 m con punte fino a poco meno di 1 m e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.

**R2:** il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità mediamente pari a 2 m dal p.c. o poco meno e con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifrattore si ritrova fino a una profondità compresa all'incirca tra 4 m dal p.c. e 5 m dal p.c. e con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s – 1300 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

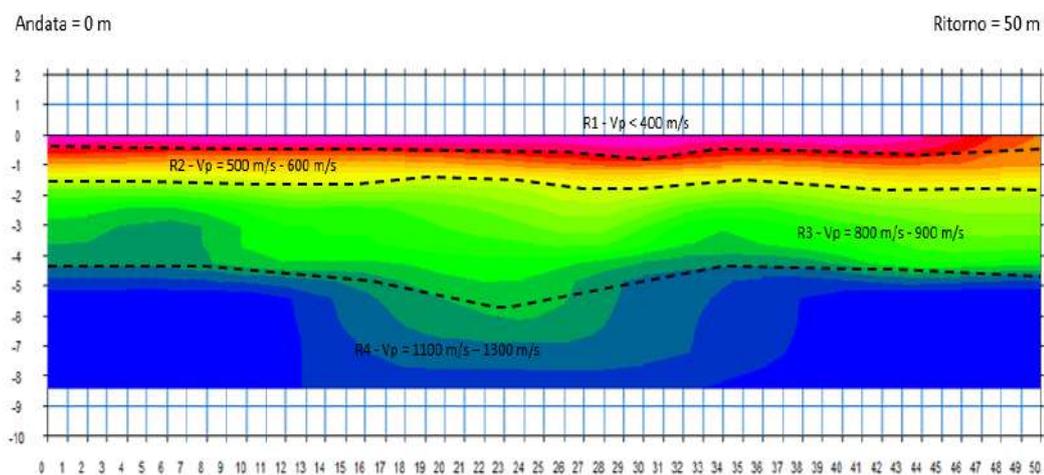


Fig. 17 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S7

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 120 m/s; da 0,5 m a 1,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 200 m/s; da 1,5 m a 4,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 220 m/s, infine, dai 4,5 m e fino ai 30 m la  $V_s$  è di 310 m/s.

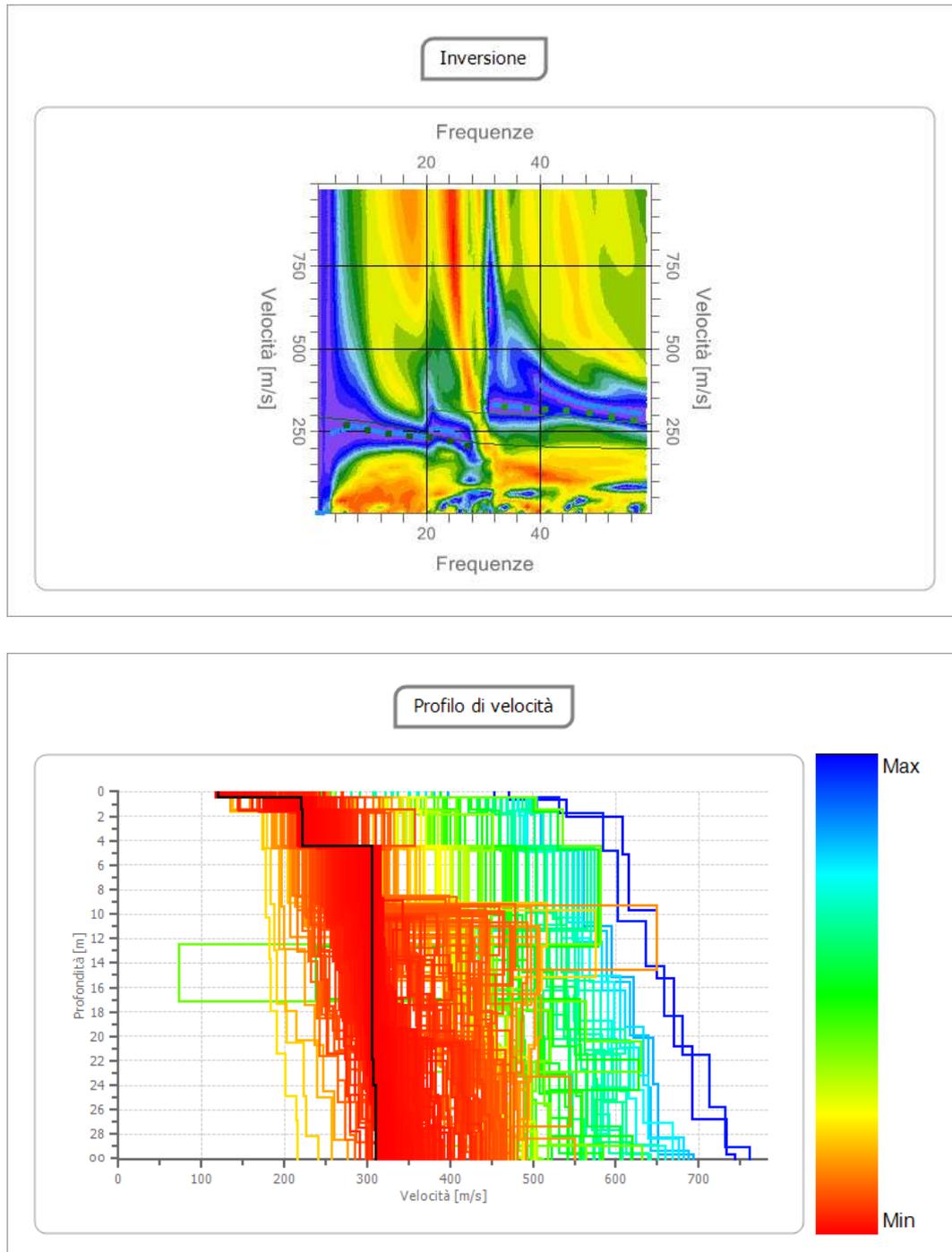


Fig. 18 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S7



Foto 13 e Foto 14 – Vista dello stendimento sismico S7 e della strumentazione utilizzata.

## Indagine sismica a rifrazione – S8

Per definire la successione stratigrafica del terreno investigato, la profondità dei diversi rifrattori presenti e per poter successivamente ricavare, anche grazie alla MASW, le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno di fondazione, è stata eseguita una indagine sismica con la tecnica della rifrazione in onde P. Con la sismica a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nel terreno esaminato, individuando i tempi dei *primi arrivi* delle onde P prodotte da una massa battente di 8 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica del segnale rifratto ha permesso di investigare il terreno fino a circa 8-9 m dal p.c., ottenendo il modello geofisico del terreno di seguito riportati:

**R1:** il primo rifrattore ha uno spessore mediamente pari a 0,5 m e con  $V_p$  minori di 400 m/s è associabile terreno vegetale aerato e alla porzione superficiale dei depositi sciolti molto poco addensati e di conseguenza anch'essi aerati.

**R2:** il secondo rifrattore si ritrova fino a una profondità mediamente pari a 1 m dal p.c. o poco più e con  $V_p$  tra 500 m/s e 600 m/s è associabile a depositi sciolti poco addensati e poco compatti.

**R3:** il terzo rifrattore si ritrova a una profondità di 2 m dal p.c. tra le progressive 0 m e 10-12 m con un approfondimento a circa 4,5 m dal p.c. nella porzione centrale dello stendimento e una successiva superficializzazione a circa 3 m dal p.c. fino alla progressiva 50 m; con  $V_p$  tra 800 m/s e 900 m/s è correlabile con depositi sciolti da poco a mediamente addensati.

**R4:** è il semi-spazio di chiusura del modello geofisico e con  $V_p$  pari a 1100 m/s – 1200 m/s è correlabile con depositi sciolti mediamente addensati.

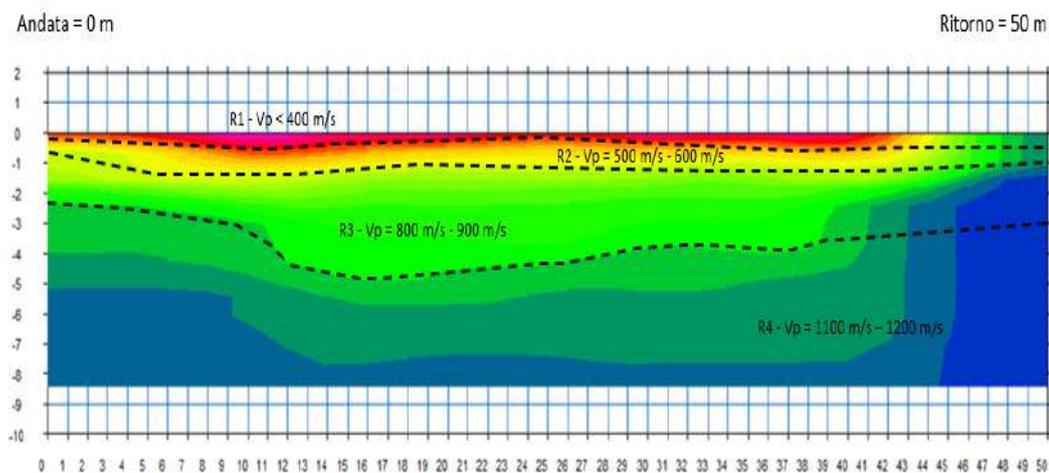


Fig. 19 – Modello del terreno sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione.

## Indagine sismica MASW – S8

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro  $V_{seq}$  secondo la normativa vigente, ovvero, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  quando il bedrock (substrato rigido con  $V_s$  maggiori o uguali a 800 m/s) è risultato più profondo rispetto ai 30 m dal p.c. delle indagini.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si erano concentrati sulla propagazione delle onde profonde considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. In pratica l'analisi di Fourier è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

L'indagine MASW ha avuto i seguenti parametri:

- Numero tracce: 24
- Numero di scoppi mediati per la traccia d'acquisizione: 3
- Inter-distanza dei geofoni: 2 m
- Frequenza dei geofoni: 4,5 Hz / verticali
- Durata acquisizione: 2 s
- Intervallo acquisizione per l'elaborazione: 1 s
- Periodo di campionamento: 2 ms
- Frequenza di elaborazione: 4,5 Hz - 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione: 1 m/s
- Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s
- Intervallo di velocità: 1 m/s

L'indagine MASW eseguita nel sito di interesse ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo: dal p.c. a 0,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 170 m/s; da 0,5 m a 1,5 m dal p.c. la  $V_s$  è di 260 m/s; da 1,5 m a 12 m dal p.c. la  $V_s$  è di 280 m/s; da 12 m a 16 m dal p.c. la  $V_s$  è di 300 m/s, da 16 m dal p.c. a 22 m dal p.c. la  $V_s$  è di 350 m/s, infine, dai 22 m e fino ai 30 m di profondità la  $V_s$  è di 370 m/s.

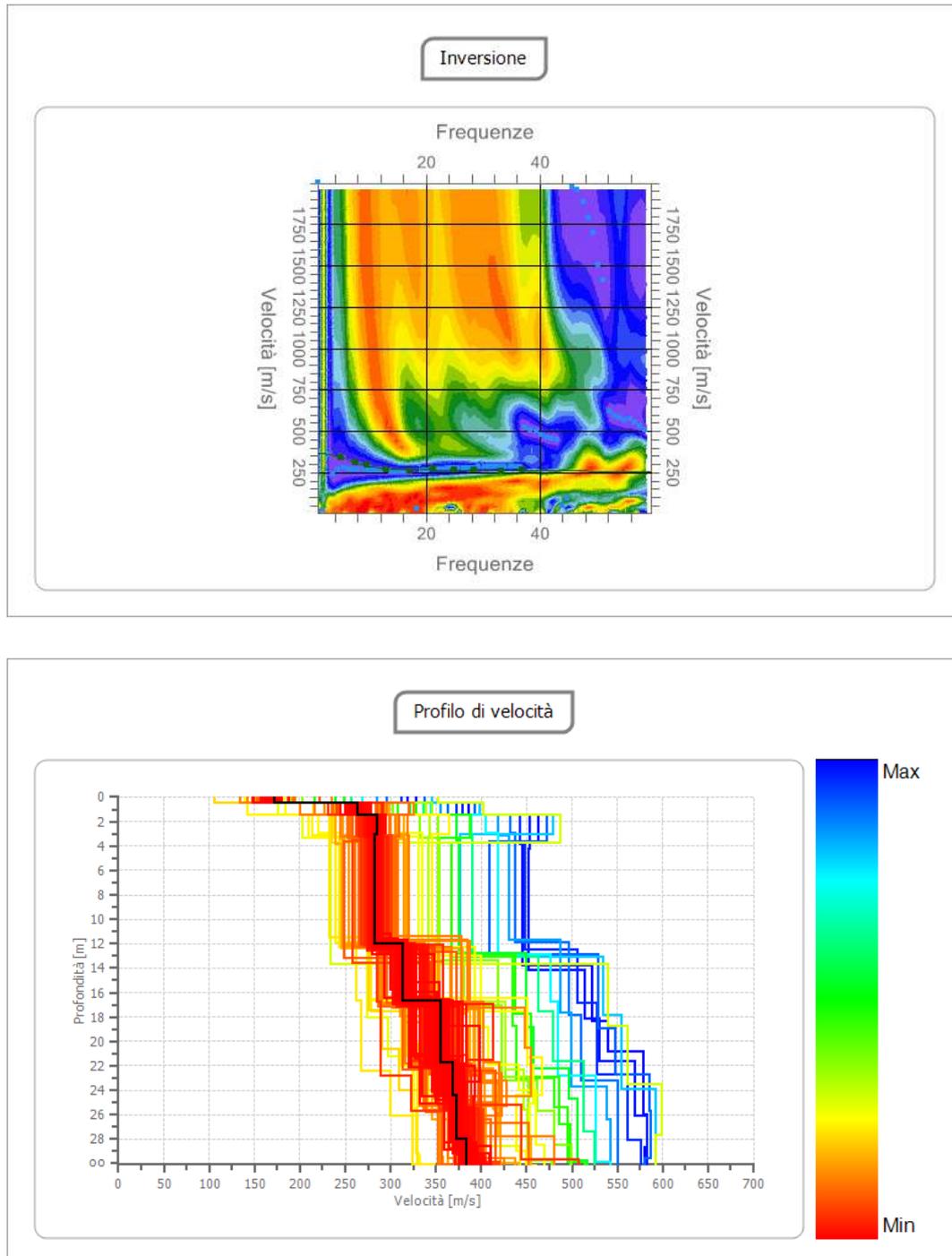


Fig. 20 – Profilo profondità/ $V_s$  della indagine MASW eseguita nel sito di interesse.

## Allegati fotografici – S8



Foto 15 e Foto 16 – Vista dello stendimento sismico S8 e della strumentazione utilizzata.

## Moduli elasto-dinamici e caratterizzazione del terreno

Nella Tab.1 sono riportati i moduli elasto-dinamici ottenuti dall'elaborazione dei dati dei sondaggi sismici. L'interpretazione dei dati dell'indagine ha portato alla compilazione della Tab. 1 nella quale si riportano i elasto-dinamici del sottosuolo, mentre, i parametri geologico-tecnici fondamentali ricavati dalla bibliografia o estrapolati da relazioni empiriche sono riportati nella successiva Tab. 2.

È doveroso far notare che, se pur attendibili per la progettazione preliminare, i dati riportati in Tab. 2 sono comunque affetti da un certo errore e che per ottenere parametri geologico-tecnici precisi e idonei per la progettazione definitiva ed esecutiva è indispensabile effettuare idonee prove di laboratorio su campioni di terreno prelevati in loco; ***ovvero, i parametri riportati in Tab. 2 non possono in nessun caso essere considerati sostitutivi dei valori ottenuti con idonee prove di laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica, geotecnica e geologico-tecnica dei terreni.***

n.	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Mod. di Poisson	Mod. di Bulk [MPa]	Mod. di Young [MPa]	Mod. di shear [MPa]
R1	< 400	100-170	0,46	200	40	15
R2	500-600	160-260	0,44	450	200	70
R3	700-900	210-300	0,45	900	300	100
R4	1000-1300	230-340	0,45	2000	550	190

Tab. 1 – Parametri elasto-dinamici medi per i siti investigati con le indagini sismiche.

n.	Peso unità di volume [m]	Angolo di attrito (°)	Coesione (KPa)
R1	1500	20	---
R2	1600	37	15
R3	1650	29	30
R4	1700	32	40

Tab. 2 – Parametri geologico-tecnici medi per i siti investigati con le indagini sismiche.

Per gli spessori dei singoli sismo-strati nei vari siti di indagine si faccia riferimento ai modelli riportati nelle Figg. 5-7-9-11-13-15-17-19.

## Classificazione del suolo di fondazione

Tramite l'esecuzione delle indagini MASW è stata misurata la velocità delle onde sismiche superficiali a diverse frequenze ed è stato calcolato il parametro  $V_{seq}$ ; il piano di posa delle fondazioni è stato considerando in corrispondenza del p.c. per sviluppare un calcolo conservativo e favorevole per la sicurezza.

Il sottosuolo per gli stendimenti in esame rientra nella categoria di suolo di fondazione "C", come da NTC 2018 (Tab. 3.2. II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato), essendo: *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

Sito	$V_{seq}$	Sito	$V_{seq}$
MT01	290 m/s	MT05	310 m/s
MT02	310 m/s	MT06	270 m/s
MT03	275 m/s	MT07	285 m/s
MT04	290 m/s	MT08	310 m/s

Tab. 3 – Valori di  $V_{seq}$  misurati nei siti di indagine.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

*Tanto in ottemperanza dell'incarico ricevuto.*

=====

Polignano a Mare, luglio 2022

Geologo **Vito Pellegrini**

## Ubicazione delle indagini sismiche

Identificativo stendimento: MT01

Data esecuzione indagine: 27.07.2022



### Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 44' 18,20'' Nord

Longitudine: 16° 29' 54,65'' Est

### Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 44' 17,50'' Nord

Longitudine: 16° 29' 55,10'' Est

### Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 44' 16,75'' Nord

Longitudine: 16° 29' 55,55'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT02

Data esecuzione indagine: 27.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 43' 46,10'' Nord

Longitudine: 16° 30' 02,65'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 43' 46,00'' Nord

Longitudine: 16° 30' 03,70'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 43' 45,90'' Nord

Longitudine: 16° 30' 04,75'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT03

Data esecuzione indagine: 27.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 43' 43,60'' Nord

Longitudine: 16° 30' 28,40'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 43' 44,20'' Nord

Longitudine: 16° 30' 29,15'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 43' 44,80'' Nord

Longitudine: 16° 30' 29,85'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT04

Data esecuzione indagine: 28.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 43' 52,65'' Nord

Longitudine: 16° 31' 59,35'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 43' 53,25'' Nord

Longitudine: 16° 31' 00,10'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 43' 53,80'' Nord

Longitudine: 16° 31' 00,85'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT05

Data esecuzione indagine: 28.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 43' 59,75'' Nord

Longitudine: 16° 31' 25,05'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 43' 59,25'' Nord

Longitudine: 16° 31' 24,20'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 43' 58,80'' Nord

Longitudine: 16° 31' 23,30'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT06

Data esecuzione indagine: 26.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 44' 28,85'' Nord

Longitudine: 16° 30' 59,05'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 44' 28,45'' Nord

Longitudine: 16° 30' 59,95'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 44' 28,00'' Nord

Longitudine: 16° 31' 00,90'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT07

Data esecuzione indagine: 26.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 44' 47,95'' Nord

Longitudine: 16° 29' 44,10'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 44' 47,15'' Nord

Longitudine: 16° 29' 44,45'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 44' 46,45'' Nord

Longitudine: 16° 29' 44,85'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*

Identificativo stendimento: MT08

Data esecuzione indagine: 28.07.2022



Coordinate punto Andata (0 m)

Latitudine: 40° 45' 38,90'' Nord

Longitudine: 16° 30' 03,80'' Est

Coordinate punto Centrale (25 m)

Latitudine: 40° 45' 38,25'' Nord

Longitudine: 16° 30' 03,10'' Est

Coordinate punto Ritorno (50 m)

Latitudine: 40° 45' 37,70'' Nord

Longitudine: 16° 30' 03,35'' Est

*Le coordinate geografiche riportate possono essere affette da minimi errori.*