

BELENOS S.R.L.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)



Tecnico
dott. Raffaele SASSONE

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

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



Collaborazioni

Responsabile Commessa
ing. Danilo POMPONIO

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA		TIPOLOGIA
09		RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	19049		D
			CODICE ELABORATO		
			DC19049D-09		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE		SOSTITUITO DA
01			-		-
			NOME FILE		PAGINE
			DC19049D-09 rev01.doc		75 + copertina
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	19.02.2020	Emissione	Sassone	Pomponio	Sassone
01	20/04/2022	Revisione layout agrovoltaiico	Sassone	Pomponio	Sassone
02					
03					
04					
05					
06					

INDICE

1. Premessa	pag. 1
2. Normativa di riferimento	pag. 1
3. Bibliografia di riferimento	pag. 1
4. Unità geologiche, litologiche e strutturali	pag. 1
5. Storia geologica del territorio	pag. 2
5.1 Caratteristiche geologiche e tettoniche generali	pag. 2
5.2 Caratteristiche morfologiche generali	pag. 2
5.3 Caratteristiche idrogeologiche generali	pag. 2
6. Forme del terreno e processi geomorfologici di dettaglio	pag. 3
7. Geologia di dettaglio	pag. 3
8. Idrologia	pag. 3
8.1 Idrografia	pag. 3
8.2 Idrogeologia	pag. 4
9. Campagna geognostica	pag. 4
10. Risultati indagini geofisiche	pag. 5
10.1 Acquisizione sismica HVSR 1	pag. 5
10.2 Acquisizione sismica HVSR 2	pag. 5
10.3 Acquisizione sismica HVSR 3	pag. 5
10.4 Indagine sismica a rifrazione	pag. 6
10.5 Indagine sismica M.A.S.W.	pag. 6
11. Categorie di sottosuolo	pag. 7
12. Categoria topografica	pag. 7
13. Ricostruzione stratigrafica di dettaglio	pag. 7
14. Definizione delle unità litotecniche	pag. 8
15. Vincoli	pag. 9
15.1 Vincoli "P.A.I." redatti dall'Autorità di Bacino della Puglia	pag. 9
15.2 Vincoli del DGR del 04/08/09 del PTA "Piano di Tutela delle Acque"	pag. 10
15.3 Vincoli imposti dal P.P.T.R. della Regione Puglia	pag. 10
15.3.1 Beni Paesaggistici	pag. 10
15.3.2 Ulteriori Contesti	pag. 10
16. Prescrizioni	pag. 11

Allegati:

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

1. Premessa

Su incarico della BELENOS S.r.l. è stata redatta la seguente relazione tecnica che ha lo scopo di caratterizzare, dal punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico, i terreni di fondazione sui quali è in progetto la realizzazione di impianto agrivoltaico di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di circa 60,032 MWp e delle opere connesse.

L'impianto verrà realizzato in agro di Orta Nova (FG) in località "La Ficora" (Fig.1, Figg.2a, 2b e 2c e Tab.1).

Tabella 1 - Ubicazione dell'opera

Riferimento IGM	Quota	COORDINATE GEOGRAFICHE
Foglio 175 - Tav. I NO "Orta Nova"	47 m s.l.m.	Long.: 568815.54 m E (da Greenwich) Lat.: 4577625.97 m N
	48 m s.l.m.	Long.: 568075.90 m E (da Greenwich) Lat.: 4577914.15 m N
	50 m s.l.m.	Long.: 568575.94 m E (da Greenwich) Lat.: 4577268.36 m N
	52 m s.l.m.	Long.: 568697.48 m E (da Greenwich) Lat.: 4576813.53 m N
	54 m s.l.m.	Long.: 568430.09 m E (da Greenwich) Lat.: 4576275.38 m N

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 Orta Nova (D.M. del 11/3/88). La presente relazione è stata redatta secondo quanto previsto dal DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni».

3. Bibliografia di riferimento

- . Malatesta, G. Stampanoni et alii (1960): Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 175, Cerignola.
- A. Malatesta, U. Perno e G. Stampanoni (1967) - Note illustrative delle Carte Geologiche d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 175 Cerignola.
- Cartografia di base e tematica Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia: pagina webgis PAI Puglia: http://webgis.adb.puglia.it/gis/map_default.phtml.
pagina webgis Carta Idrogeomorfologica della Puglia:
http://webgis.adb.puglia.it/geomorfologica/map_default.phtml.
- SIT Puglia: Cartografia Carta Tecnica 1:5.000: <http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/CTR/index.html>.
- Cartografia del PPTR Puglia (approvato con DGR n. 176 del 16 febbraio 2015): webgis: http://93.63.84.69:8080/pptr/map_uilayout.phtml.
- Piano di tutela delle acque della Regione Puglia - Articolo 121 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Delibera di Giunta 4 agosto 2009, n. 1441)".

4. Unità geologiche, litologiche e strutturali

L'area in studio ricade nel Foglio 175 "Cerignola", scala 1:100000 (Fig. 3) della Carta Geologica d'Italia. La successione stratigrafica, riferita alle formazioni affioranti nell'area in studio, è la seguente:

- Qm₂: Sabbie straterellate giallastre a volte pulverulente con intercalazioni argillose, ciottolose e concrezioni calcaree (Quaternario).

5. Storia geologica del territorio

Le caratteristiche geologiche, strutturali e idrogeologiche del territorio di Orta Nova e delle aree immediatamente limitrofe, ricadenti nel Foglio 175 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia, rispecchiano il contesto stratigrafico e strutturale del settore adriatico compreso tra la Daunia e il promontorio del Gargano (Fig. 3).

5.1 Caratteristiche geologiche e tettoniche generali

Il Foglio 175 è occupato per lo più da sedimenti plio-quadernari che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica. Solo nella parte settentrionale del foglio affiorano i calcari mesozoici che costituiscono la porzione più meridionale del sollevamento del Gargano.

Nel Foglio 175 i terreni plio-calabrianici appaiono solo in esigui lembi localizzati nel suo angolo di sud-ovest, mentre i sedimenti pleistocenici post-calabrianici sono diffusamente rappresentati e non si differenziano da quelli di facies marina che affiorano nell'area dei fogli contigui.

Nell'area del foglio si distinguono due panorami tettonici distinti.

I sedimenti pleistocenici non presentano, in generale, evidenti deformazioni e costituiscono nel loro insieme una monoclinale immersa in media verso l'Adriatico.

Le deboli inclinazioni rilevate riflettono per lo più l'originale inclinazione del fondo marino su cui i sedimenti stessi si sono depositi.

L'affioramento mesozoico, i cui strati hanno una inclinazione verso SO, costituisce il fianco meridionale del sollevamento del Gargano. Le due scarpate che lo delimitano sono probabilmente legate a faglie.

5.2 Caratteristiche morfologiche generali

Nell'area del foglio "Cerignola" sono distinguibili due zone dove l'azione modellatrice delle forze esogene ha risentito delle diverse situazioni geologiche.

A sud del corso del Candelaro la morfologia è quella propria di tutta la Capitanata e cioè con vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, interrotte da valli ampie con fianchi alquanto ripidi.

L'area è solcata da tre importanti torrenti: il Candelaro, il Cervaro e il Carapelle e da tutta una rete di tributari.

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.

A nord del Candelaro, dove affiora la serie Mesozoica, l'elemento morfologico più evidente è costituito da una terrazza di abrasione marina.

5.3 Caratteristiche idrogeologiche generali

L'idrografia superficiale è rappresentata da tre principali corsi d'acqua (Candelaro, Cervaro e Carapelle) ad andamento torrentizio e stagionale. Essi sono stati regimentati per buona parte del loro corso e sfruttati per la bonifica costiera.

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea si possono distinguere tre diversi tipi di acque: freatiche, artesiane e carsiche

Tutta la porzione del Tavoliere racchiusa tra il promontorio del Gargano, il Golfo di Manfredonia e il fiume Ofanto è interessata da acque freatiche dolci e acque salmastre, distribuite in modo saltuario e di difficile delimitazione.

La superficie freatica viene incontrata da pochi decimetri sotto il piano di campagna fino a profondità superiori a 20,00 m.

Le acque artesiane sono generalmente dolci, con portate che variano dai 5,00 ai 70,00 l/s e sono comprese entro sedimenti clastici, limitati alla base delle argille plioceniche e al tetto dai sedimenti argillosi quaternari.

6. Forme del terreno e processi geomorfologici di dettaglio

Le aree interessate dallo studio presentano lineamenti morfologici estremamente regolari. La presenza di depositi alluvionali derivanti dall'attività dei diversi corsi d'acqua che interessano il territorio foggiano, favorisce un assetto geomorfologico privo di creste morfologiche nette e salti di pendio. Le pendenze pertanto risultano decisamente basse (figg. 5a e 5b).

Le aree di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI aggiornate in data 27.02.2017 su cartografia ufficiale consultabile in maniera interattiva tramite il WebGIS dell'AdB Puglia sul sito <http://www.adb.puglia.it>, non ricadono in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità geomorfologica, come definite agli artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Nelle fasi di sopralluogo non sono stati individuati segni che indicassero un ruscellamento o un dilavamento verificatosi di recente.

7. Geologia di dettaglio

I terreni affioranti nell'area in studio appartengono alle Sabbie straterellate giallastre a volte pulverulente con intercalazioni argillose, ciottolose e concrezioni calcaree (Quaternario) (Fig. 3). Nello specifico si tratta di depositi sabbiosi derivanti dall'azione dei corsi d'acqua con depisto di materiale a forte componente siltosa sabbiosa (figg 4a e 4b).

Nelle aree immediatamente limitrofe al luogo in cui verrà realizzata l'opera in progetto non sono state osservate discontinuità correlabili a faglie attive.

8. Idrologia

8.1 Idrografia

In quest'area sono assenti forme perenni di scorrimento superficiale, soprattutto nelle immediate vicinanze del sito di intervento.

I corsi d'acqua della zona, con alveo poco profondo e generalmente regolarizzato attraverso opere di regimazione, presentano un deflusso tipicamente occasionale. Le portate assumono infatti un valore significativo solo in seguito a precipitazioni particolarmente abbondanti e prolungate nel tempo. Il corso d'acqua più vicini al sito in studio dista, comunque, diverse decine di metri (Figg. 5a e 5b).

Le aree di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI aggiornate in data 27.02.2017 su cartografia ufficiale consultabile in maniera interattiva tramite il WebGIS dell'AdB Puglia sul sito <http://www.adb.puglia.it>, non ricadono in aree classificate a bassa, media e alta pericolosità idraulica, come definite dagli artt. 8, 9 e 10 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Inoltre, dall'analisi della cartografia ufficiale I.G.M. 1.25.000 (fig. 1), le aree di intervento non sono prossime a reticoli idrografici superficiali, questo è riscontrabile anche mediante confronto visivo dallo stralcio dell'ortofoto della Carta Idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (figg. 5a e 5b). La distanza dal corso d'acqua più vicino alle aree in studio è tale da non dover verificare la compatibilità idrologica ed idraulica dell'intervento in oggetto rispetto a tale reticolo ai sensi degli artt. 6 "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" e 10 "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale" delle NTA del PAI.

8.2 Idrogeologia

I depositi di copertura quaternari ospitano un'estesa falda idrica, generalmente frazionata su più livelli. Le stratigrafie di numerosi pozzi per acqua esistenti in zona mostrano una successione di terreni sabbiosi-ghiaioso, permeabili, con ruolo di acquiferi, interstratificati con livelli limoso-argillosi, a minore permeabilità, con ruolo di acquitardi (strati semipermeabili) o acquicludi (strati impermeabili). La base della circolazione idrica è rappresentata dalle argille grigio-azzurre (Argille subappennine), impermeabili.

L'acqua può rinvenirsi in condizioni di falda libera, nei livelli idrici più superficiali (a circa 50/60 m s.l.m. ovvero a -10/-20 m al di sotto del p.c.). si tratta di un acquifero non uniformemente distribuito, poco produttivo e legato alle variazioni di piovosità stagionali.

In profondità invece, la falda è solitamente in pressione, con locale carattere di artesianità (a circa 40 m al di sotto del p.c.).

Le diverse falde possono essere ricondotte ad un'unica circolazione idrica sotterranea, perché il particolare tipo di deposizione lenticolare dei sedimenti determina l'esistenza di soluzioni di continuità tra i depositi permeabili e i depositi relativamente meno permeabili.

La realizzazione di numerosi pozzi e il prelievo incontrollato d'acqua dal sottosuolo ha determinato negli ultimi decenni un impoverimento della falda con conseguente abbassamento della superficie piezometrica.

La Tav. 6.3.1 "distribuzione media dei carichi piezometrici dell'acquifero poroso del Tavoliere del P.T.A. "Piano di Tutela delle Acque, Del. G. Reg. n. 883/2007 individua il tetto della falda principale a circa 25 metri sul livello del mare (Fig. 6), cioè a circa 20 metri al di sotto del piano campagna.

9. Campagna geognostica

Nell'ambito dello studio geologico per il progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di circa 60,032 MWp e delle opere connesse da realizzare in agro di Orta Nova (FG), è stata eseguita una campagna geologica così distribuita (fig. 7, allegato 1 e allegato 2):

- n. 3 Misure HVSR (allegato 1);
- n. 3 Profili sismici di tipo MASW (allegato 2);
- n. 3 Profili sismici a rifrazione (allegato 2).

Nelle figure 3, 4 e 5 dell'allegato 2 vengono indicate anche la direzione dei profili, indicando con le lettere A e R le progressive iniziali e finali dello stendimento.

La prospezione sismica di tipo MASW ha consentito la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione attraverso il calcolo della V_{seq} , come richiede la normativa vigente. Inoltre, mediante una speditiva indagine

sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche dei litotipi investigati e i relativi moduli elastici, nonché definire in maniera più precisa le caratteristiche sismostratigrafiche sub-superficiali.

10. Risultati indagini geofisiche

10.1 Acquisizione sismica HVSr 1

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	160
13.90	12.90	310
63.90	50.00	500
inf.	inf.	650

$$V_{s(0.0-30.0)} = 375 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSr 1 sono stati individuati 4 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,00 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 160 m/s è riferibile a terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate; il secondo sismostrato con spessore di circa 12,90 m ed avente Vs pari a 310 è riferibile a sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 500 m/s con spessore di circa 50,00 m è riferibile ad argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate. Infine l'ultimo sismostrato caratterizzato da una Vs pari a 650 m/s può essere associato ad argille maggiormente costipate e addensate.

10.2 Acquisizione sismica HVSr 2

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	230
23.10	21.60	520
inf.	inf.	700

$$V_{s(0.0-30.0)} = 518 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSr 2 sono stati individuati 3 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,50 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 230 m/s è riferibile a terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate; il secondo sismostrato con spessore di circa 21,60 m ed avente Vs pari a 520 è riferibile a sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 700 m/s è riferibile ad argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate.

10.3 Acquisizione sismica HVSr 3

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	180
16.00	15.00	360
78.50	62.50	500
inf.	inf.	650

$$V_{s(0.0-30.0)} = 399 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSr 3 sono stati individuati 4 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,00 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 180 m/s è riferibile a terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre

fortemente areate e alterate; il secondo sismostrato con spessore di circa 15,00 m ed avente Vs pari a 360 è riferibile a sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro; il terzo sismostrato individuato avente Vs parti a 500 m/s con spessore di circa 62,50 m è riferibile ad argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate. Infine l'ultimo sismo strato caratterizzato da una Vs pari a 650 m/s può essere associato ad argille maggiormente costipate e addensate.

10.4 Indagine sismica a rifrazione

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 6/8 m dal p.c., ottenendo i modelli geofisici del terreno di seguito riportati:

Dalla consultazione dei dati cartografici del progetto CARG della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Foglio *Cerignola*), e dalla consultazione dei dati inerenti le stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi eseguiti nell'immediato intorno del sito in esame, è emerso per il nostro territorio la presenza in affioramento delle Sabbie di Torre Quarto (STQ - Pleistocene); brevemente tali depositi sono costituiti da sabbie medie e fini di colore giallastro o giallo ocra, poco cementate e con intercalazioni di marne, argille e silt, il cui spessore massimo è pari a 55.

I modelli geofisici (sismo-stratigrafici) ottenuti per i 3 stendimenti sono per il primo e il terzo, ossia S1 ed S3, confrontabili tra loro, mentre, una sostanziale differenza la si osserva per S2 con Vp decisamente inferiori a parità di profondità. Le indagini, inoltre, non permettono di discriminare la presenza all'interno delle STQ di intercalazioni di argille, silt o ancora di arenarie maggiormente cementate o di marne bensì forniscono indicazioni, desunte dai valori di Vp, sul grado di cementazione, sull'assetto bidimensionale dei vari livelli e sui moduli elasto-dinamici dei vari orizzonti (in accoppiamento con i valori delle velocità delle onde S, appunto le Vs). In pratica, per ricostruire la stratigrafia di dettaglio nei siti di indagine sono indispensabili delle prove dirette a carotaggio continuo spinte alla profondità di interesse e i modelli qui proposti pur essendo attendibili e dotati di una elevata bontà possono comunque essere affetti da una certa percentuale di errore al momento non stimabile.

Di seguito nelle Figg. 9a, 9b e 9c 6, e Figg.6, 7 e 8 dell'allegato 2 sono riportati i modelli sismo-stratigrafici elaborati e interpretati per i 3 stendimenti di sismica a rifrazione; dalle figure in questione è possibile osservare la profondità dei diversi rifrattori, lo spessore dei singoli livelli e, appunto, le Vp misurate per ognuno di essi.

10.5 Indagine sismica M.A.S.W.

Attraverso l'indagine M.A.S.W. è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro Vseq secondo la normativa vigente. L'acquisizione dei dati considera le onde lunghe di Rayleigh e la permanenza delle frequenze nel tempo, individuando la velocità di rotazione delle varie frequenze.

L'indagine MASW S1 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (Vs) in progressivo aumento nel terreno: dal p.c. fino a 1 m di profondità la Vs ha valori di circa 200 m/s; da 1 m dal p.c. a 3 m dallo

stesso p.c. la V_s è di circa 340 m/s; dai 3 m ai 22 m arriva a valori di 410 m/s, infine, dai 22 m dal p.c. fino ai 30 m dal p.c. la V_s tocca valori di circa 600 m/s.

L'indagine MASW S2 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) in progressivo aumento nel terreno: dal p.c. fino a 1,8 m di profondità la V_s ha valori di circa 150 m/s; da 1,8 m dal p.c. a 3,8 m dallo stesso p.c. la V_s è di circa 270 m/s; dai 3,8 m ai 18 m arriva a valori di 310 m/s, infine, dai 18 m dal p.c. fino ai 30 m dal p.c. la V_s tocca valori di circa 440 m/s.

L'indagine MASW S3 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) in progressivo aumento nel terreno: dal p.c. fino a 1 m di profondità la V_s ha valori di circa 115 m/s; da 1 m dal p.c. a 3,7 m dallo stesso p.c. la V_s è di circa 240 m/s; da 3,7 m ai 20 m arriva a valori di 330 m/s, infine, dai 20 m dal p.c. fino ai 30 m dal p.c. la V_s tocca valori di circa 540 m/s.

11. Categorie di sottosuolo

Dall'analisi dell'indagine sismica a rifrazione e della misura HVSR è possibile stimare il parametro V_{seq} , che rappresenta il valore medio di velocità di propagazione delle onde trasversali in profondità fino al raggiungimento del bedrock.

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

- S₁: $V_{s30} = 430$ m/s = Categoria di suolo B;
- S₂: $V_{s30} = 320$ m/s = Categoria di suolo C;
- S₃: $V_{s30} = 340$ m/s = Categoria di suolo C.
- HVSR1: $V_{s30} = 375$ m/s = Categoria di suolo B;
- HVSR2: $V_{s30} = 518$ m/s = Categoria di suolo B;
- HVSR2: $V_{s30} = 399$ m/s = Categoria di suolo B.

Per questioni di sicurezza il terreno di fondazione è inserito in categoria C – *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”*

12. Categoria topografica

Le aree interessate possono essere ritenute stabili e geomorfologicamente idonee alle opere in progetto, e vista la conformazione morfologica, praticamente sub orizzontale, come da paragrafo 3.3.3 “Condizioni topografiche” del D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media uguale o inferiore a 15°), si attribuisce la Categoria Topografica T1.

13. Ricostruzione stratigrafica di dettaglio

Il rilevamento geologico, eseguito nell'area circostante al sito oggetto di intervento e il risultato delle indagini geognostiche hanno permesso di stabilire che nell'area, al di sotto del terreno vegetale affiorano sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

Le successioni descritte nelle figure 8, 9a, 9b e 9c sono la ricostruzione della situazione dell'immediato sottosuolo in cui sono state effettuate le indagini.

In linea di massima le successioni ottenute dalle misure HVSR possono essere descritte come segue (Fig. 8):

HVSR1

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,00 m dal p.c.:	terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate
da -1,00 m a -13,90 m dal p.c.:	sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro
da -13,90 m a -63,90 m dal p.c.:	argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate

HVSR2

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,50 m dal p.c.:	terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate
da -1,00 m a oltre -23,10 m dal p.c.:	sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro

HVSR3

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,50 m dal p.c.:	terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate
da -1,00 m a oltre -16,00 m dal p.c.:	sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro
da -16,00 m a -78,50 m dal p.c.:	argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate

Diversamente le successioni, ottenute dalle sismiche a rifrazione, possono essere descritte come segue (Fig. 9a, 9b e 9c):

S1

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,00 m dal p.c.:	terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate
da -1,00 m a -3,00/-4,50 m dal p.c.:	sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro
da -3,00/-4,50 m a -8,00 m dal p.c.:	argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate

S2

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,00 m dal p.c.:	terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate
da -1,00 m a -3,00/-4,50 m dal p.c.:	sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro
da -3,00/-4,50 m a -8,00 m dal p.c.:	argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate

S3

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -0,50 m dal p.c.:	terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate
da -0,50 m a -1,50/-3,00 m dal p.c.:	sabbie fini giallastre poco alterate
da -1,50/-3,00 m a -5,00 m dal p.c.:	sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro
da -5,00 m a -8,00 m dal p.c.:	argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate

14. Definizione delle unità litotecniche

Nella seguente trattazione geotecnica si farà riferimento alle caratteristiche geotecniche:

- del terreno vegetale - Tab. 2.
- delle sabbie limose di colore marrone - Tab. 3.
- delle rgille limose o sabbie limose compatte e ben addensate - Tab. 4.

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

Kw		4047.72	KN/mc	Coefficiente di Winkler
γ		15.29	KN/mc	Peso di volume
cu		0,00	KPa	Coesione non drenata
Φ		15.09	°	Angolo di attrito
G		20030.54	KPa	Modulo di taglio
E		45523.95	KPa	Modulo elastico o di Young
Ed		48255.39	KPa	Modulo edometrico
M		140000	KPa	Modulo di Bulk
K		20000	KPa	Modulo di taglio

Kw		21150.19	KN/mc	Coefficiente di Winkler
γ		18.04	KN/mc	Peso di volume
cu		55.61	KPa	Coesione non drenata
Φ		21.24	°	Angolo di attrito
G		88712.84	KPa	Modulo di taglio
E		201620.10	KPa	Modulo elastico o di Young
Ed		213717.30	KPa	Modulo edometrico
M		450000	KPa	Modulo di Bulk
K		90000	KPa	Modulo di taglio

Kw		69877.12	KN/mc	Coefficiente di Winkler
γ		20.33	KN/mc	Peso di volume
cu		91.73	KPa	Coesione non drenata
Φ		26.93	°	Angolo di attrito
G		260078.94	KPa	Modulo di taglio
E		591088.51	KPa	Modulo elastico o di Young
Ed		626553.82	KPa	Modulo edometrico
M		650000	KPa	Modulo di Bulk
K		140000	KPa	Modulo di taglio

15. Vincoli

15.1 Vincoli "P.A.I." redatti dall'Autorità di Bacino della Puglia

L'osservazione della cartografia "P.A.I." redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia mostra che:

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

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

15.2 Vincoli del DGR del 04/08/09 del PTA "Piano di Tutela delle Acque"

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

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

15.3 Vincoli imposti dal P.P.T.R. della Regione Puglia

Il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) è rivolto a tutti i soggetti, pubblici e privati, e, in particolare, agli enti competenti in materia di programmazione, pianificazione e gestione del territorio e del paesaggio. Il PPTR persegue le finalità di tutela e valorizzazione, nonché di recupero e riqualificazione dei paesaggi di Puglia. Il PPTR persegue, in particolare, la promozione e la realizzazione di uno sviluppo socioeconomico autosostenibile e durevole e di un uso consapevole del territorio regionale, anche attraverso la conservazione ed il recupero degli aspetti e dei caratteri peculiari dell'identità sociale, culturale e ambientale, la tutela della biodiversità, la realizzazione di nuovi valori paesaggistici integrati, coerenti e rispondenti a criteri di qualità e sostenibilità.

15.3.1 Beni Paesaggistici

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

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

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

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

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

15.3.2 Ulteriori Contesti

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

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

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

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

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

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

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

16. Prescrizioni

I terreni affioranti nell'area in studio appartengono alle Sabbie straterellate giallastre a volte pulverulente con intercalazioni argillose, ciottolose e concrezioni calcaree (Quaternario). Nello specifico si tratta di depositi sabbiosi derivanti dall'azione dei corsi d'acqua con depisto di materiale a forte componente siltosa sabbiosa.

Nelle aree immediatamente limitrofe al luogo in cui verrà realizzata l'opera in progetto non sono state osservate discontinuità correlabili a faglie attive.

Le aree di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI aggiornate in data 27.02.2017 su cartografia ufficiale consultabile in maniera interattiva tramite il WebGIS dell'AdB Puglia sul sito <http://www.adb.puglia.it> non ricadono in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità geomorfologica, come definite di cui agli artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico della Puglia.

Le aree di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del PAI aggiornate in data 27.02.2017 su cartografia ufficiale consultabile in maniera interattiva tramite il WebGIS dell'AdB Puglia sul sito <http://www.adb.puglia.it>, non ricadono in nessuna delle tre zone classificate ad alta, media, bassa pericolosità idraulica, come definita di cui agli artt. 7, 8 e 9 delle Norme Tecniche di Attuazione (novembre 2005) del Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Dall'analisi della cartografia ufficiale I.G.M. 1.25.000, le aree di intervento non sono prossime a reticoli idrografici superficiali, questo è riscontrabile anche mediante confronto visivo dallo stralcio dell'ortofoto della Carta Idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia. La distanza dal corso d'acqua più vicino all'area in studio è tale da non dover verificare la compatibilità idrologica ed idraulica dell'intervento in oggetto rispetto a tale reticolo ai sensi degli artt. 6 "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" e 10 "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale" delle NTA del PAI.

Non è stata individuata alcuna falda freatica superficiale.

La Tav. 6.3.1 "distribuzione media dei carichi piezometrici dell'acquifero poroso del Tavoliere del P.T.A. "Piano di Tutela delle Acque, Del. G. Reg. n. 883/2007 individua il tetto della falda principale a circa 25 metri sul livello del mare, cioè a circa 20 metri al di sotto del piano campagna.

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

Descrizione	Vincolo
Aree di Tutela Quali-Quantitativa	SI

Dall'analisi dell'indagine sismica a rifrazione e della misura HVSR è possibile stimare il parametro V_{seq} , che rappresenta il valore medio di velocità di propagazione delle onde trasversali in profondità fino al raggiungimento del bedrock.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

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

Per questioni di sicurezza il terreno di fondazione è inserito in categoria C – *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”*.

Le aree interessate possono essere ritenute stabili e geomorfologicamente idonee alle opere in progetto, e vista la conformazione morfologica, praticamente sub orizzontale, come da paragrafo 3.3.3 “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.

Si consiglia di:

- Incastrare le fondazioni nei terreni analizzati;
- adottare un coefficiente di Winkler o costante di sottofondo (Kw) riportato nelle tabb. 2, 3 e 4.

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.

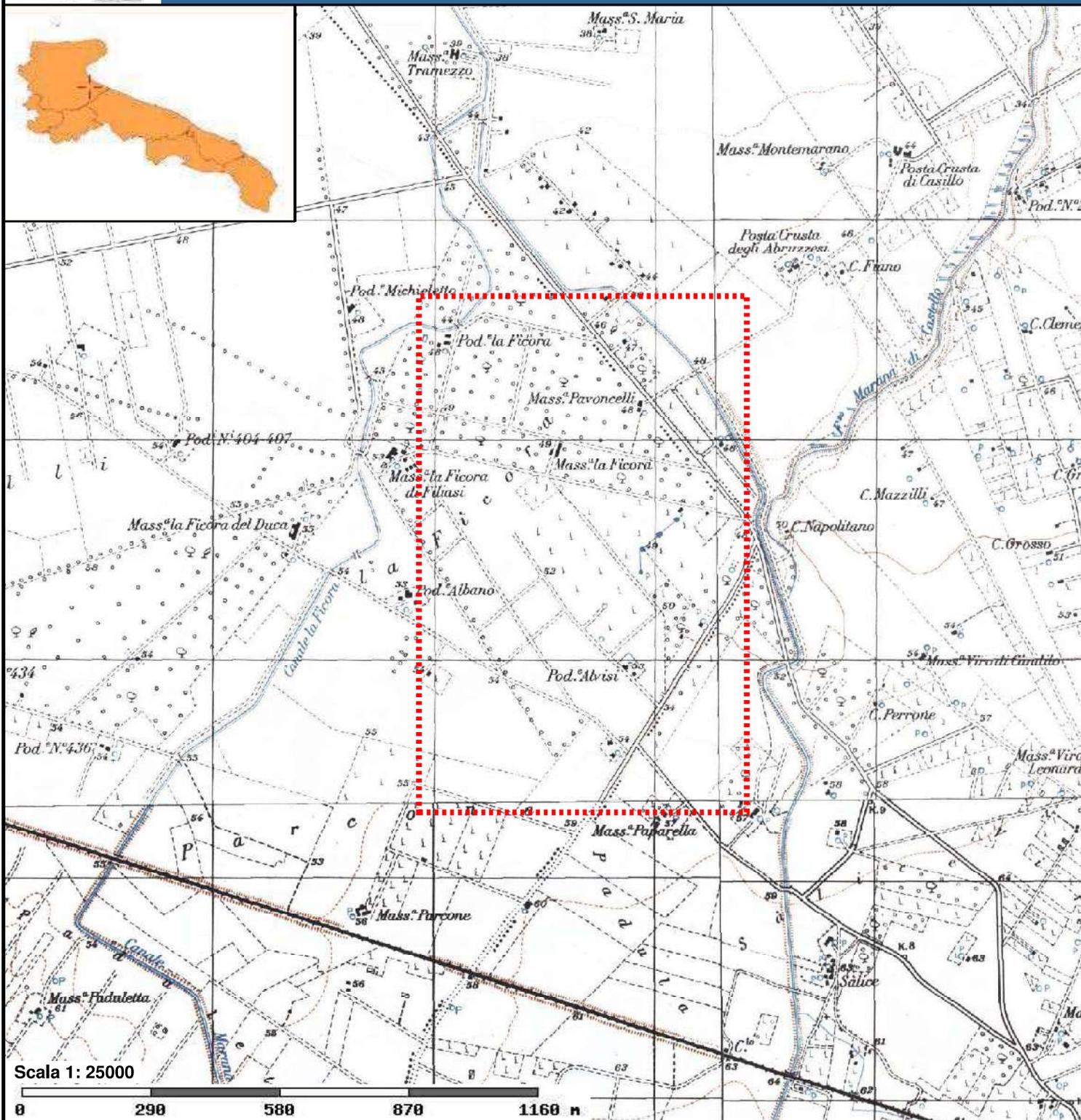
Nella fase esecutiva, allorquando il sottoscritto lo ritenga opportuno, saranno eseguite ulteriori indagini geognostiche dirette e/o indirette, al fine di verificare le eventuali zone di anomalia.

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, aprile 2022

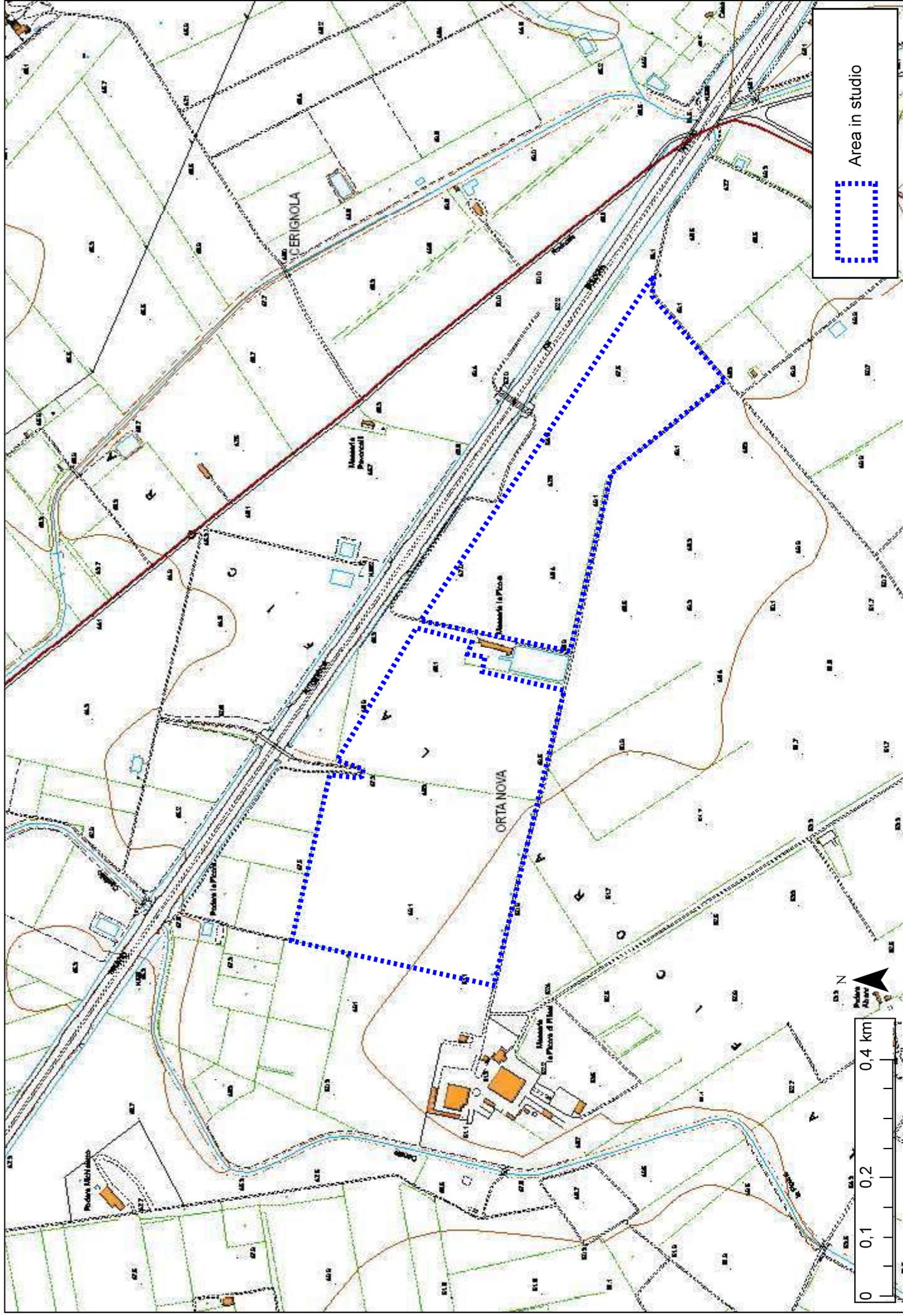
il Geologo
Dott. Raffaele SASSONE

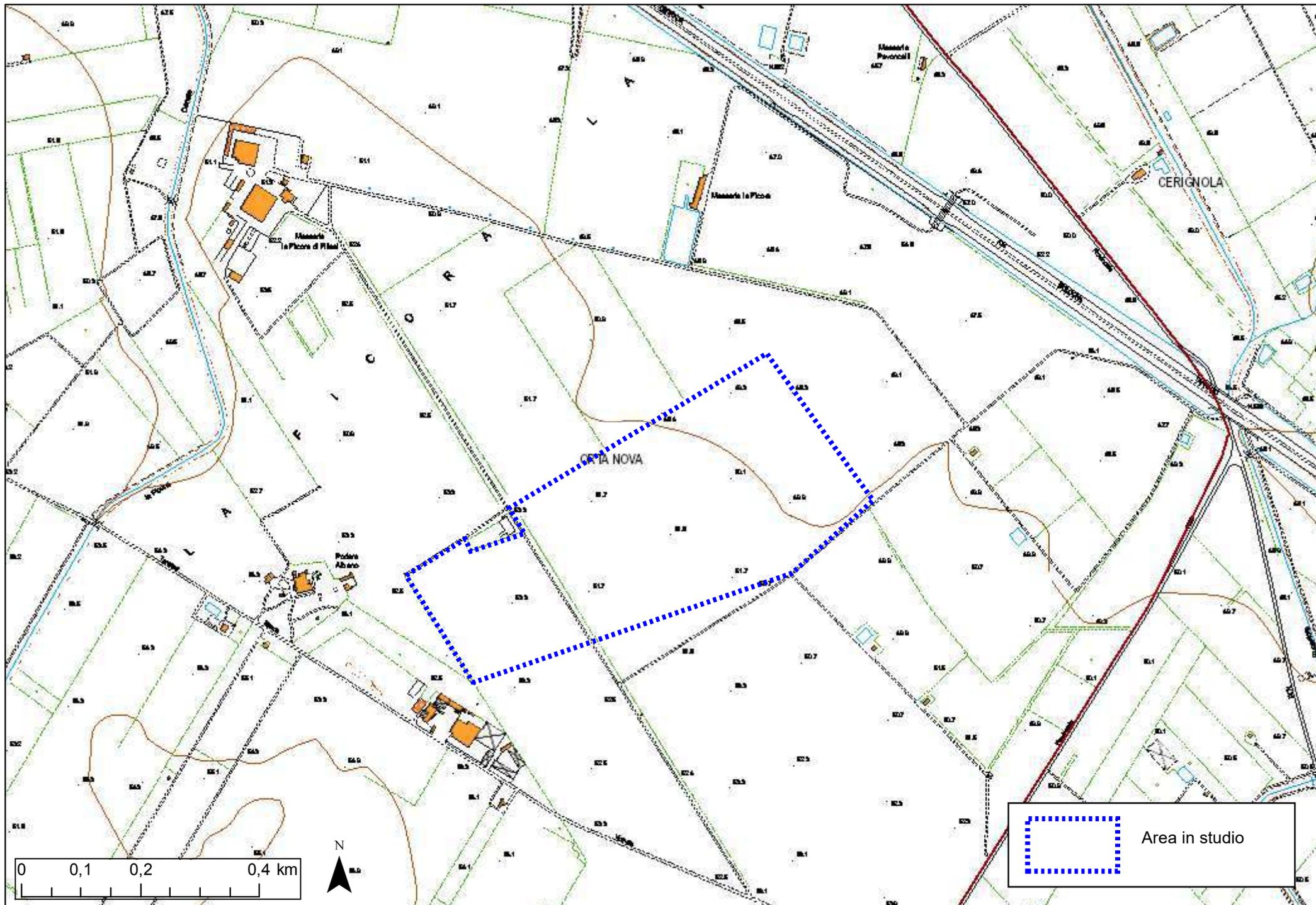


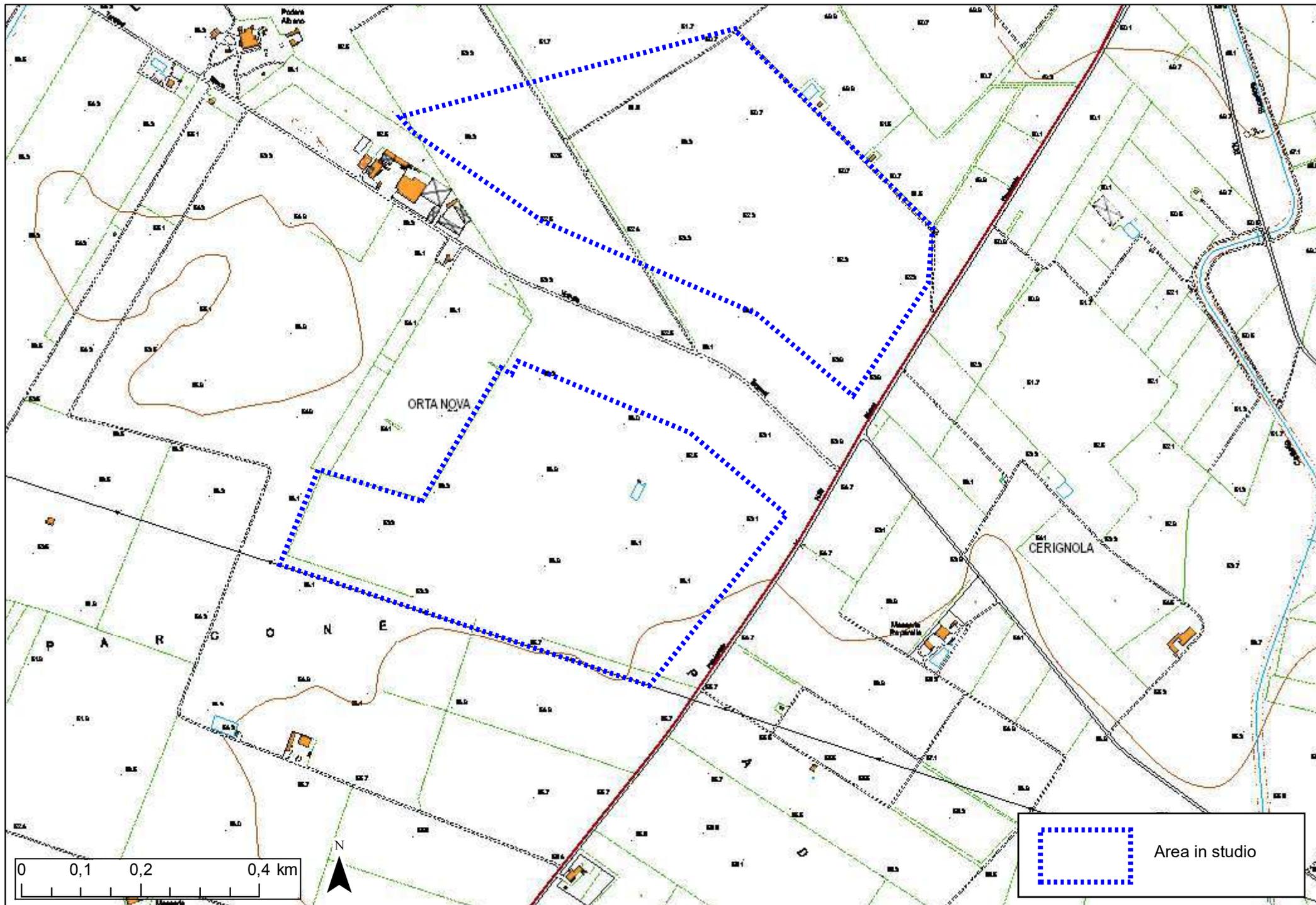


Cartografia di base

Figura 1: stralcio IGM scala 1:25000







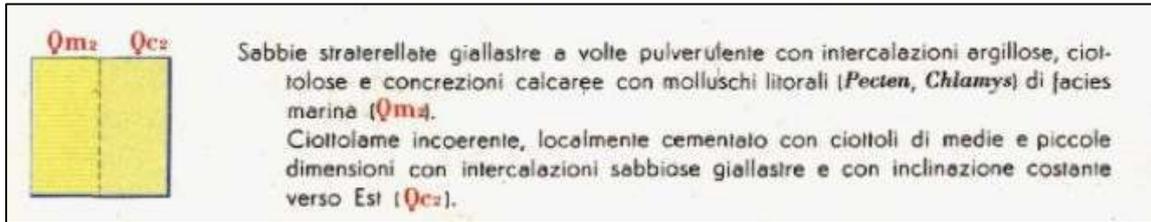
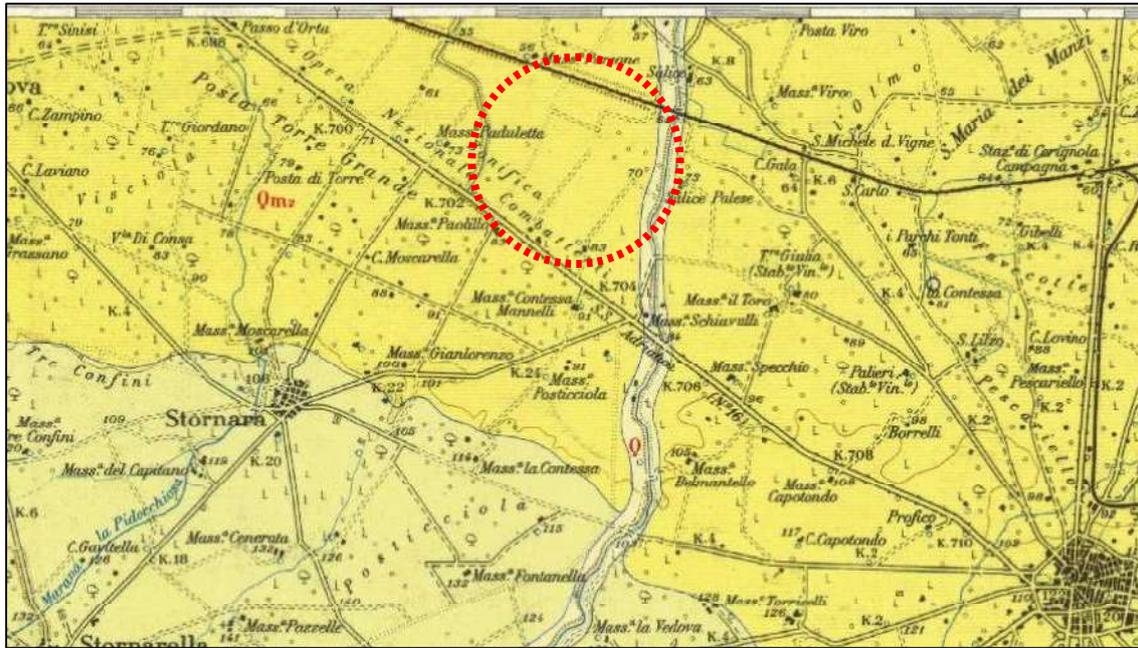
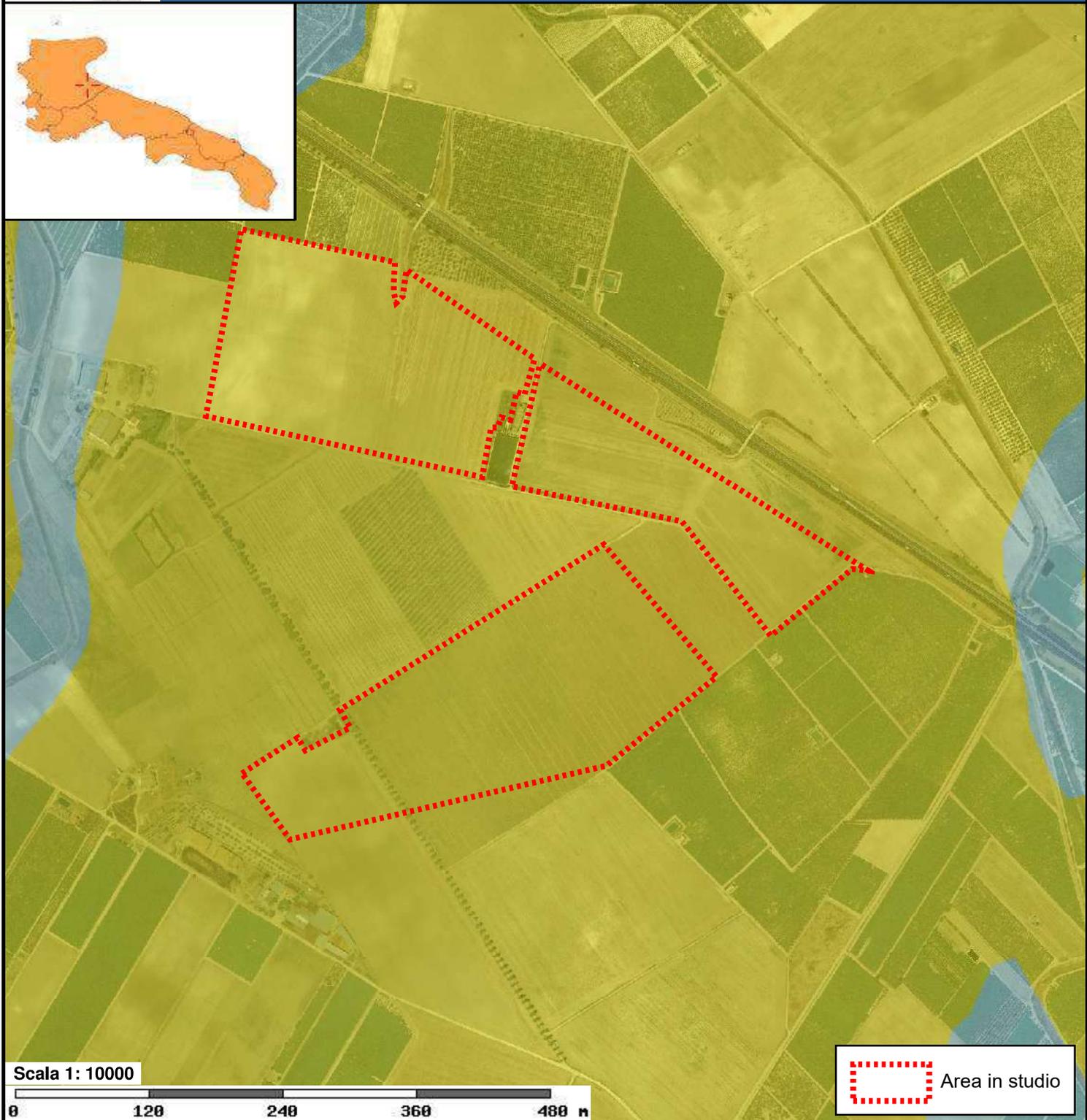


Figura 3: stralcio Carta Geologica d'Italia 175 Cerignola



 Area in studio

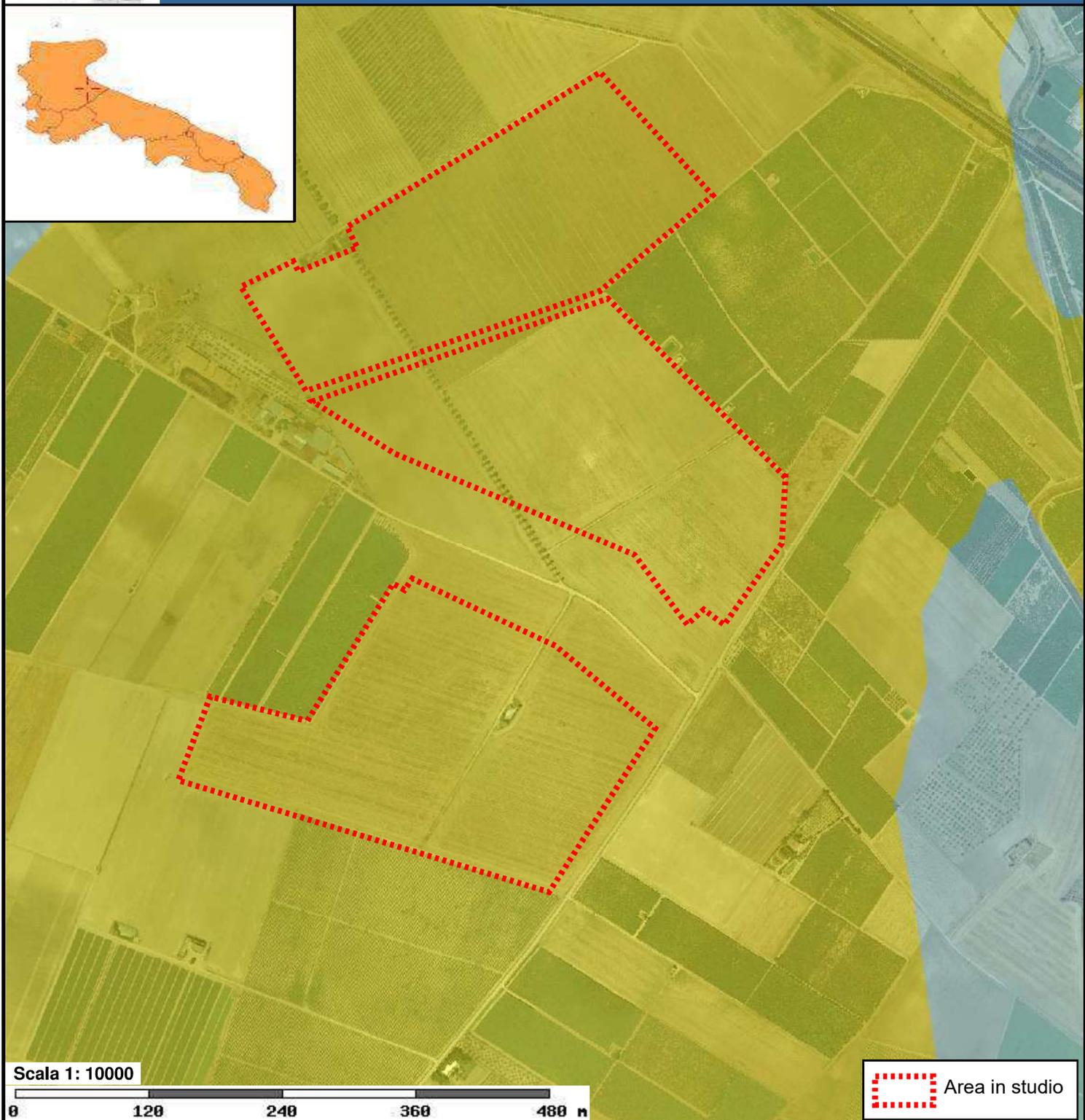
Elementi Geostrutturali

Litologia substr.

- | | |
|--|--|
|  Unità prevalentemente calcarea o dolomitica |  Unità a prevalente componente argillosa |
|  Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica |  Unità a prevalente componente arenitica |
|  Unità a prevalente componente ruditica |  Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile |
|  Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico |  Depositi sciolti a prevalente componente pelitica |
|  Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa | |

Figura 4a: stralcio carta geologica di dettaglio su base ortofoto scala 1:10000

Cartografia di base



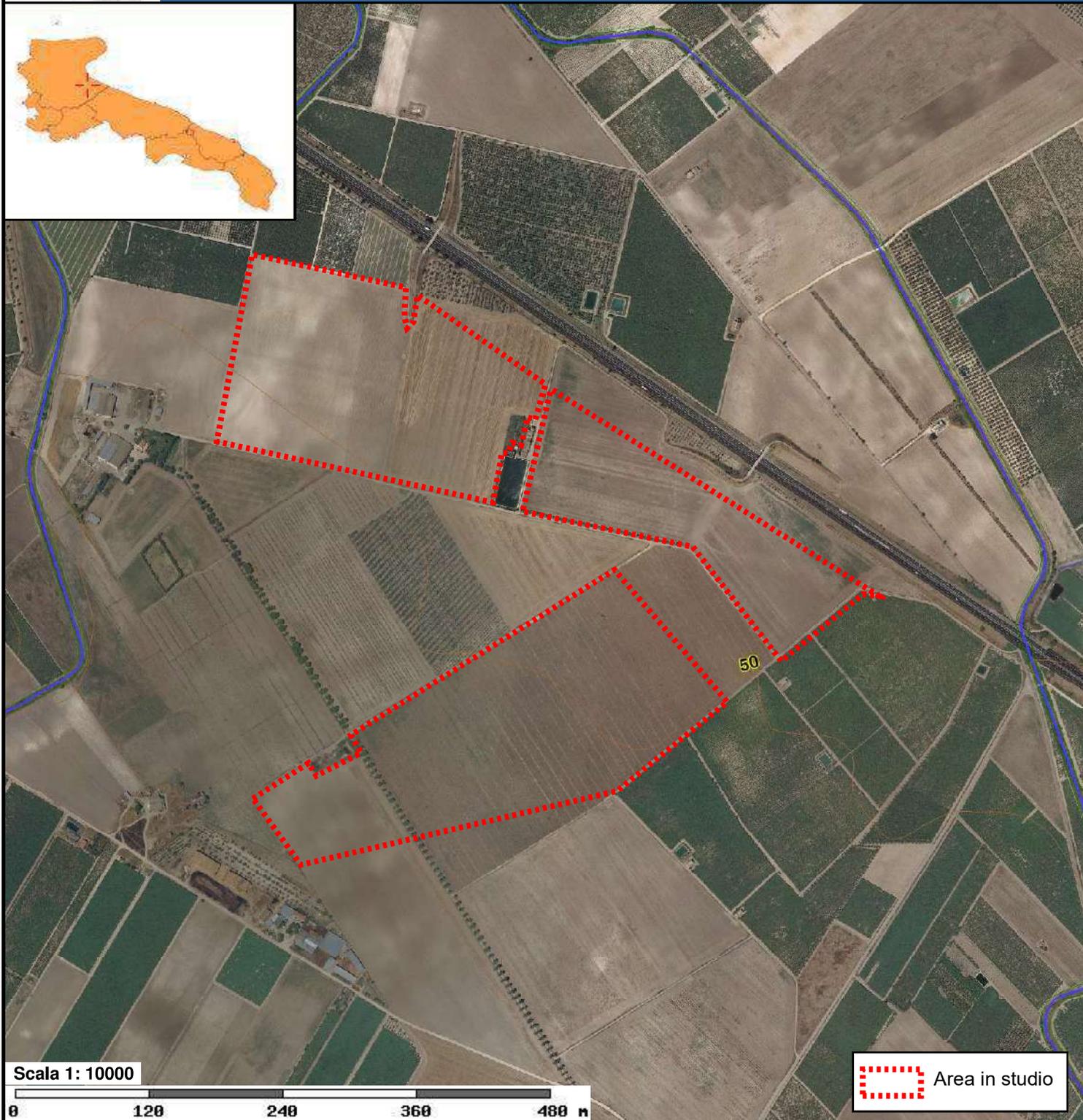
Elementi Geostrutturali

Litologia substr.

- | | | | |
|--|---|---|--|
|  | Unità prevalentemente calcarea o dolomitica |  | Unità a prevalente componente argillosa |
|  | Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica |  | Unità a prevalente componente arenitica |
|  | Unità a prevalente componente ruditica |  | Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile |
|  | Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico |  | Depositi sciolti a prevalente componente pelitica |
|  | Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa | | |

Figura 4b: stralcio carta geologica di dettaglio su base ortofoto scala 1:10000

Cartografia di base



Scala 1: 10000



 Area in studio

Orografia

Figura 5a: stralcio Carta Idrogeomorfologica della Puglia scala 1:10000

 Punti sommitali

Rilievo e relativa quota al suolo s.l.m.

 0 - 100 m

 300 - 700 m

 100 - 300 m

 700 - 1200 m

 Curve di livello

Forme di versante

Linee

 Orlo di scarpata delimitante forme semispianate

 Cresta affilata

-  Cresta smussata
-  Nicchia di distacco

Poligoni

-  Corpo di frana
-  Area interessata da dissesto diffuso

-  Asse di displuvio

-  Cono di detrito
-  Area a calanchi e forme similari

Forme di modellamento di corso d'acqua

Cigli e ripe

-  Ciglio di sponda
-  Ripa di erosione

Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

Corsi di acqua

-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua obliterato
-  **Recapito finale di bacino endoreico**
-  Corso d'acqua episodico
-  Corso d'acqua tombato

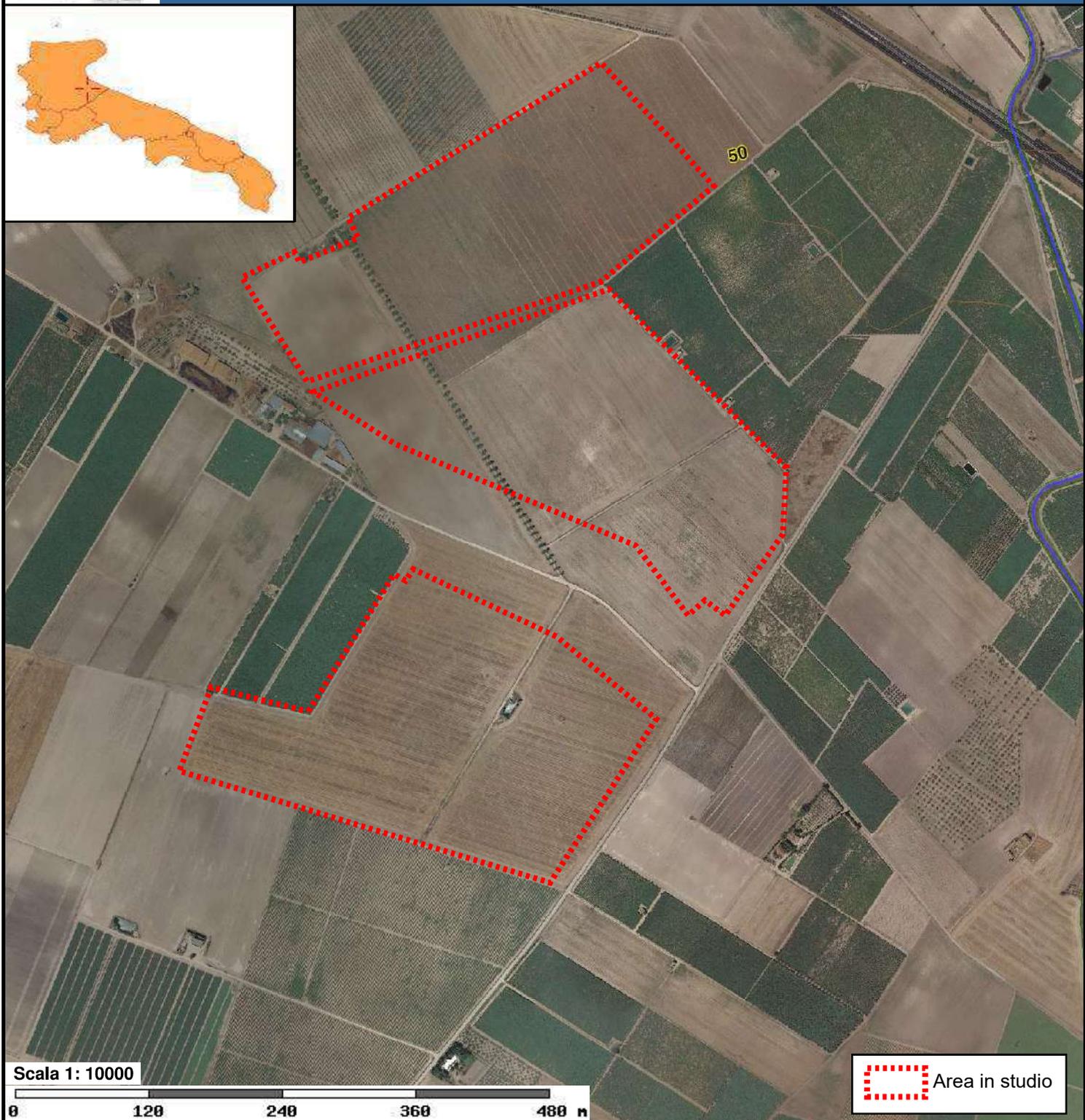
Forme Carsiche

-  Doline
-  Grotte naturali
-  Orlo di depressione carsica
-  Voragini

Singolarità di Interesse Paesaggistico

-  Geositi

Cartografia di base



Scala 1: 10000



 Area in studio

Orografia

 Punti sommitali

Rilievo e relativa quota al suolo s.l.m.

 0 - 100 m

 300 - 700 m

 100 - 300 m

 700 - 1200 m

 Curve di livello

Forme di versante

Linee

 Orlo di scarpata delimitante forme semispianate

 Cresta affilata

Figura 5b: stralcio Carta Idrogeomorfologica della Puglia scala 1:10000

-  Cresta smussata
-  Nicchia di distacco

Poligoni

-  Corpo di frana
-  Area interessata da dissesto diffuso

-  Asse di displuvio

-  Cono di detrito
-  Area a calanchi e forme similari

Forme di modellamento di corso d'acqua

Cigli e ripe

-  Ciglio di sponda
-  Ripa di erosione

Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

Corsi di acqua

-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua episodico
-  Corso d'acqua obliterato
-  Corso d'acqua tombato
-  **Recapito finale di bacino endoreico**

Forme Carsiche

-  Doline
-  Grotte naturali
-  Orlo di depressione carsica
-  Voragini

Singularità di Interesse Paesaggistico

-  Geositi

Cartografia di base

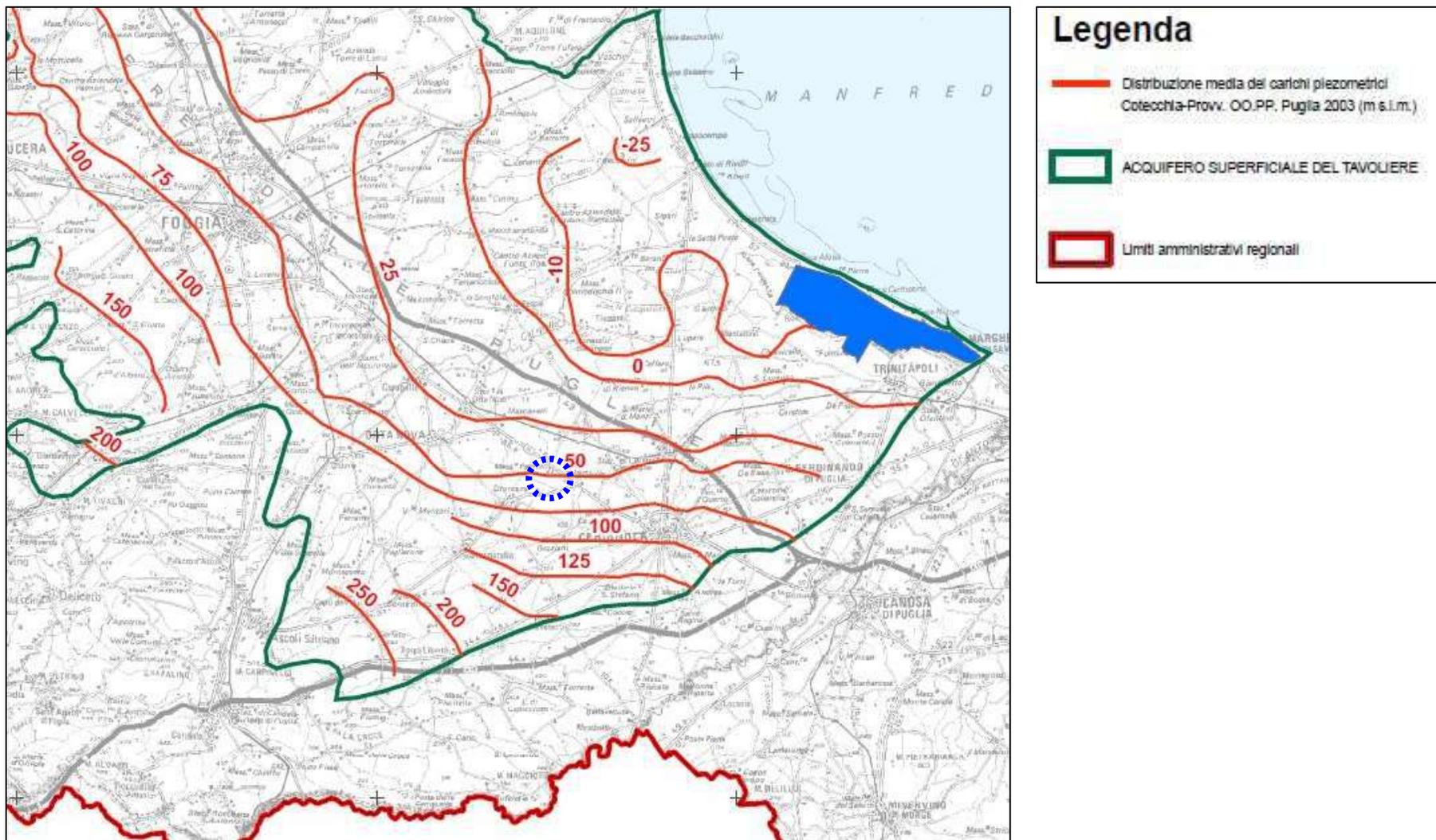


Figura 6: stralcio carta "distribuzione media dei carichi piezometrici dell'acquifero poroso del Tavoliere" del P.T.A. Puglia



Figura 7: ubicazione campagna geologica su stralcio ortofoto

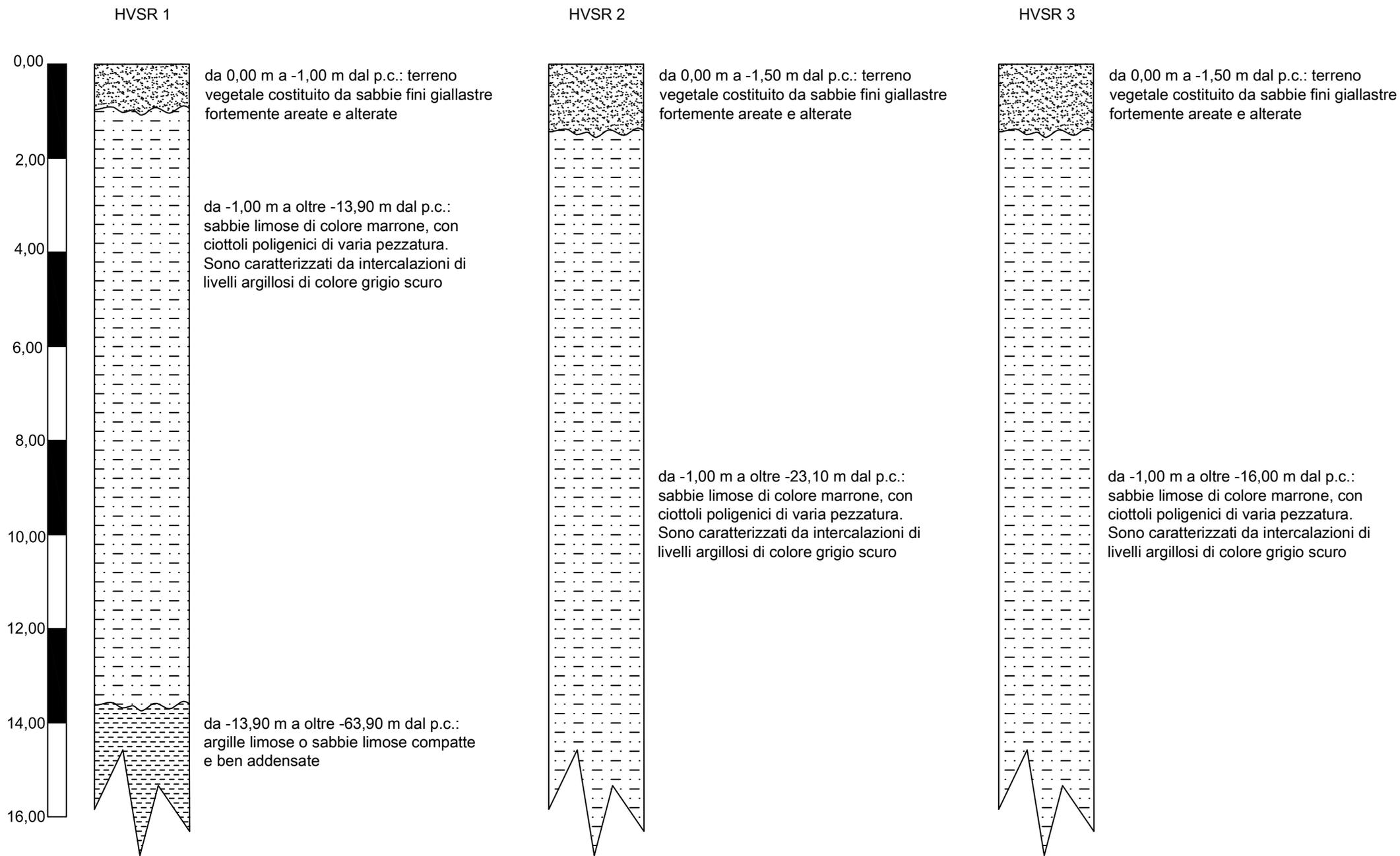


Figura 8: Colonne stratigrafiche schematiche

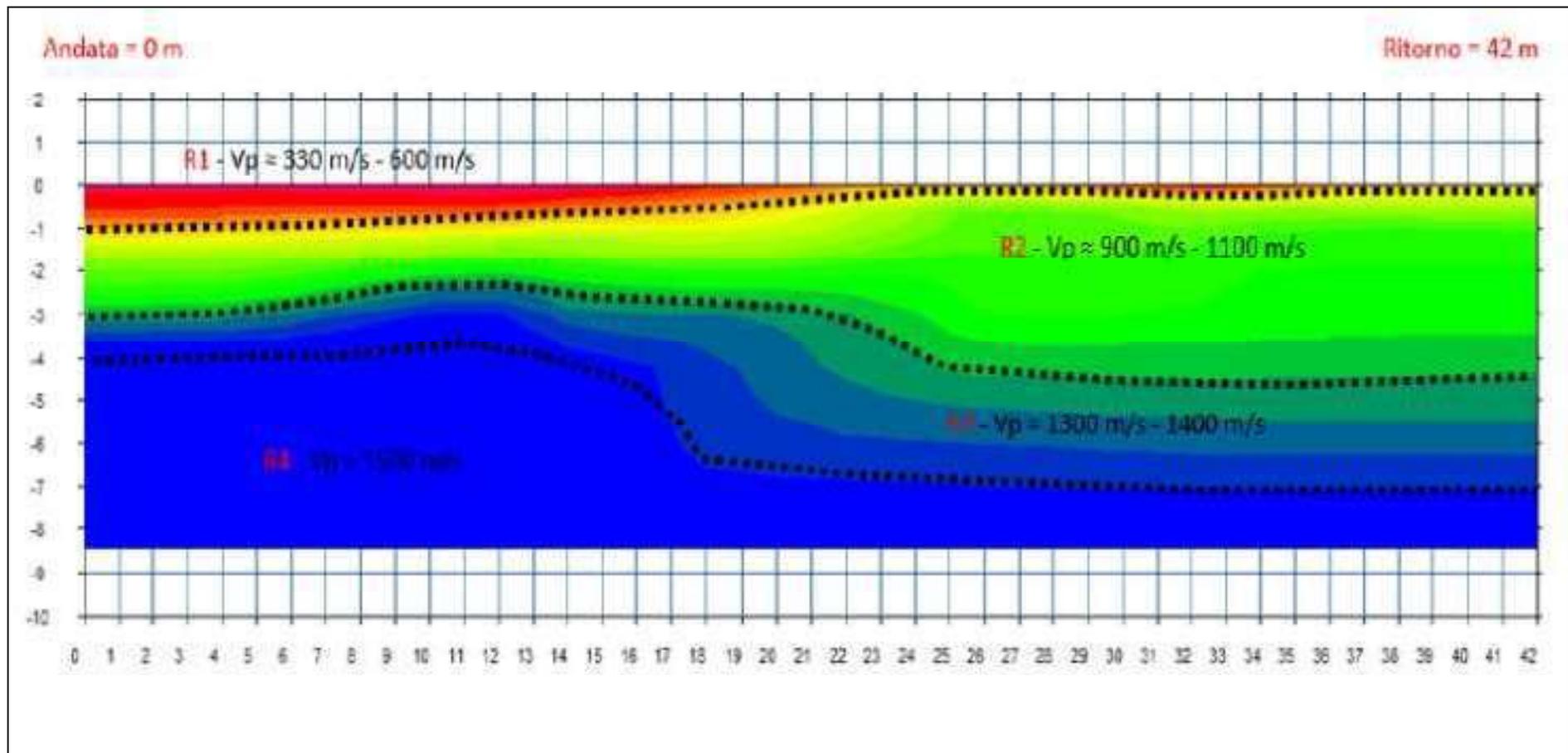


Fig. 9a – Modello sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione (S1)

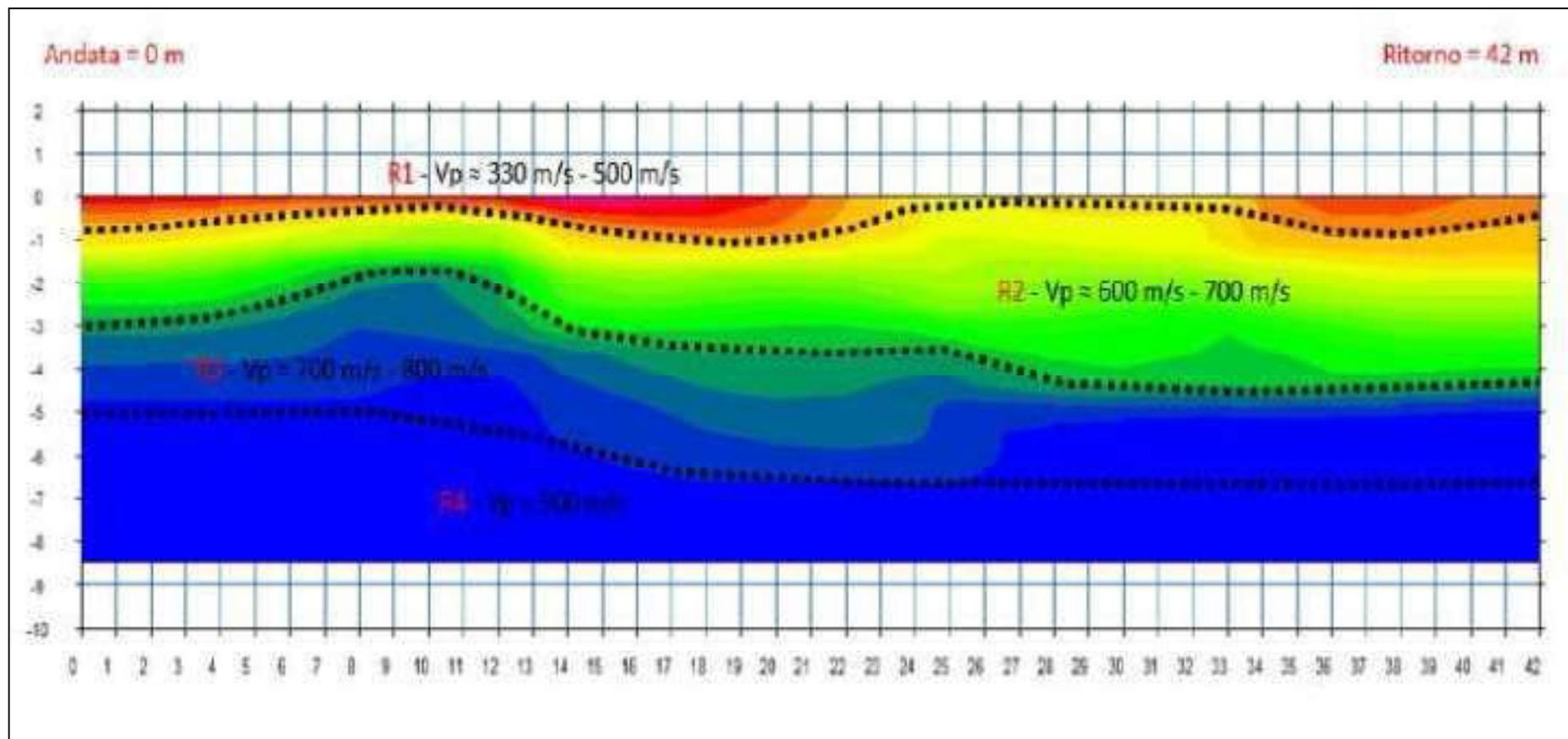


Fig. 9b – Modello sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione (S2)

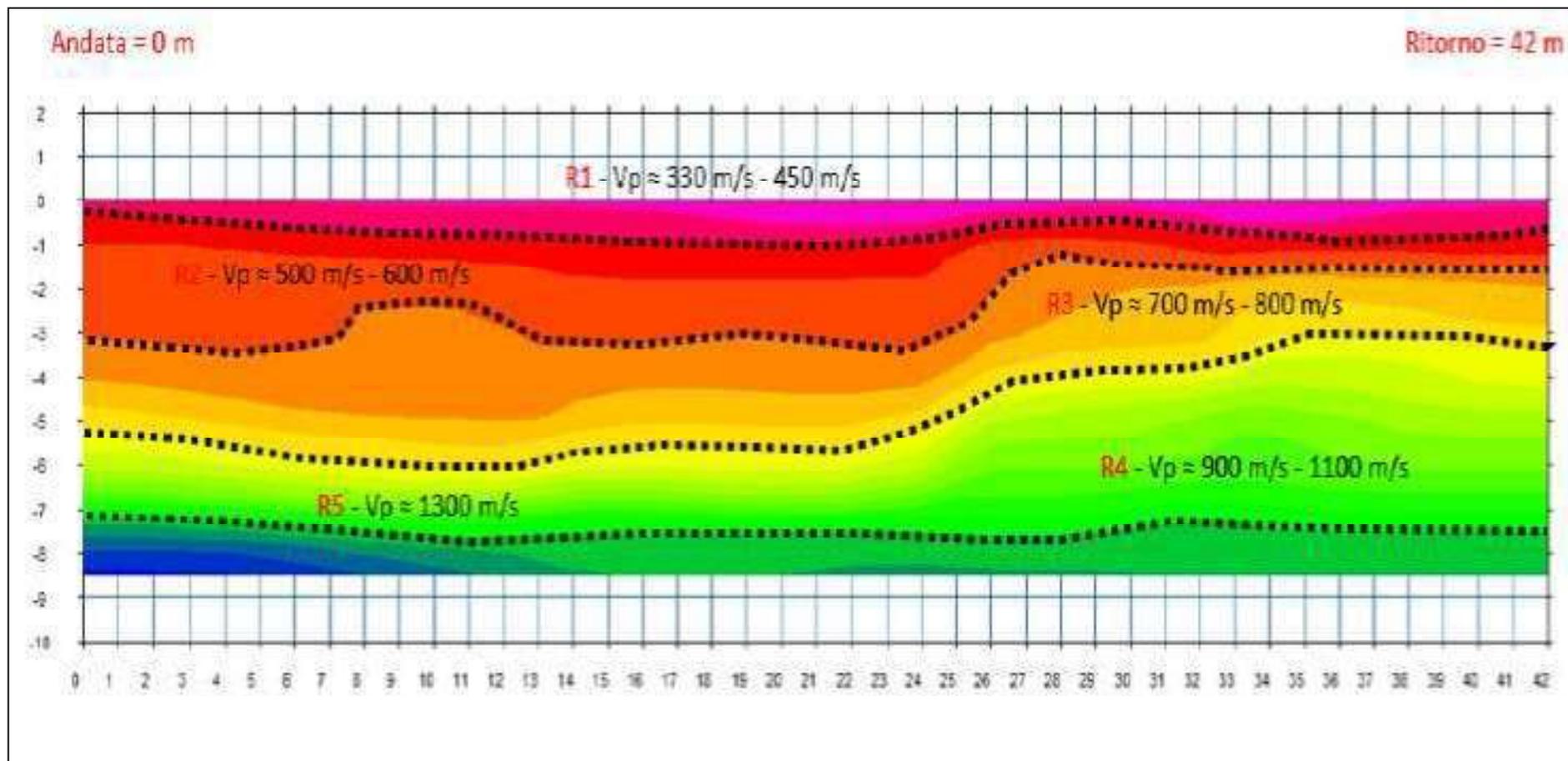


Fig. 9c – Modello sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione (S3)

Allegato 1
Report indagine sismica tipo HVSR

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

Dott. Raffaele SASSONE

Via dei Mori, 22

70023 Gioia del Colle BA

Tel: 3204890266

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

PEC: r.sassone@epap.sicurezzapostale.it

P.IVA: 06504280725

C.F.: SSS RFL 76T17 A662I

Iscritto presso l'Albo Professionale dell'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia sezione A con numero di iscrizione 664 in data 03/10/2006

COMUNE DI ORTA NOVA

PROVINCIA DI FOGGIA

REGIONE PUGLIA

REPORT INDAGINI HVSR

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE
FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG)
LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)**

COMMITTENTE: BELENOS S.R.L.

Gioia del Colle, aprile 2022

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

INDICE

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

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

1. Campagna geognostica

Nell'ambito dello studio geologico per il progetto di realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di circa 65,06 MWp in agro di Orta Nova (FG) località "La Ficora", e delle opere connesse in agro di Cerignola (FG) è stata eseguita un'indagine geofisica al fine di determinare alcune proprietà fisiche del sottosuolo.

Nel sito indagato sono state eseguite tre misure mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSr (Fig.1).



Figura 1: ubicazione indagine HVSr

2. Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSr

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

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

2.1 Cenni storici

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di

energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

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

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

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

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

Possiamo scrivere questo come:

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

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

2.2 Strumenti e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultraleggeri e ultracompatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Dott. Raffaele Sassone

Via dei Mori, 22 - 70023 Gioia del Colle (BA)

e-mail: r.sassone@yahoo.it

P.IVA: 06504280725

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

in fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

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

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

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

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

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)

smorzamento del terreno e dal rapporto $I = (dbV_b)/(dsV_s)$ tra l'impedenza sismica della roccia di base dbV_b e quella del deposito dsV_s . La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ del deposito. Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

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

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

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

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

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

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

H = profondità alla quale si desidera stimare V_s

h_i = spessore dello strato i -esimo.

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

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

2.3 Interpretazione delle misure eseguite

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

2.4 Acquisizione sismica HVSR 1

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	160
13.90	12.90	310
63.90	50.00	500
inf.	inf.	650

$$Vs_{(0.0-30.0)} = 375 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR 1 sono stati individuati 4 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,00 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 160 m/s è riferibile a terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate; il secondo sismostrato con spessore di circa 12,90 m ed avente Vs pari a 310 è riferibile a sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 500 m/s con spessore di circa 50,00 m è riferibile ad argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate. Infine l'ultimo sismo strato caratterizzato da una Vs pari a 650 m/s può essere associato ad argille maggiormente costipate e addensate.

2.5 Acquisizione sismica HVSR 2

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	230
23.10	21.60	520
inf.	inf.	700

$$Vs_{(0.0-30.0)} = 518 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR 2 sono stati individuati 3 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,50 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 230 m/s è riferibile a terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate; il secondo sismostrato con spessore di circa 21,60 m ed avente Vs pari a 520 è riferibile a sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 700 m/s è riferibile ad argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate.

2.6 Acquisizione sismica HVSR 3

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	180
16.00	15.00	360
78.50	62.50	500
inf.	inf.	650

$$V_{s(0.0-30.0)} = 399 \text{ m/s}$$

Dallo sviluppo dell'indagine HVSR 3 sono stati individuati 4 sismostrati: il primo con spessore di circa 1,00 m e velocità di propagazione delle onde S pari a 180 m/s è riferibile a terreno vegetale costituito da sabbie fini giallastre fortemente areate e alterate; il secondo sismostrato con spessore di circa 15,00 m ed avente Vs pari a 360 è riferibile a sabbie limose di colore marrone, con ciottoli poligenici di varia pezzatura. Sono caratterizzati da intercalazioni di livelli argillosi di colore grigio scuro; il terzo sismostrato individuato avente Vs pari a 500 m/s con spessore di circa 62,50 m è riferibile ad argille limose o sabbie limose compatte e ben addensate. Infine l'ultimo sismo strato caratterizzato da una Vs pari a 650 m/s può essere associato ad argille maggiormente costipate e addensate.

3. Conclusioni

La Vs equivalente media calcolata dalle misure eseguite nei diversi siti è risultata esser pari a 430 m/s. Secondo la normativa vigente il terreno di fondazione è inserito in categoria *B* – “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)



misura HVSR 1



misura HVSR 2



misura HVSR 3

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

IMPIANTO FOTOVOLTAICO ORTA NOVA, 1

Strumento: TRZ-0106/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/01/00 00:00:31 Fine registrazione: 01/01/00 00:30:32

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 31% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

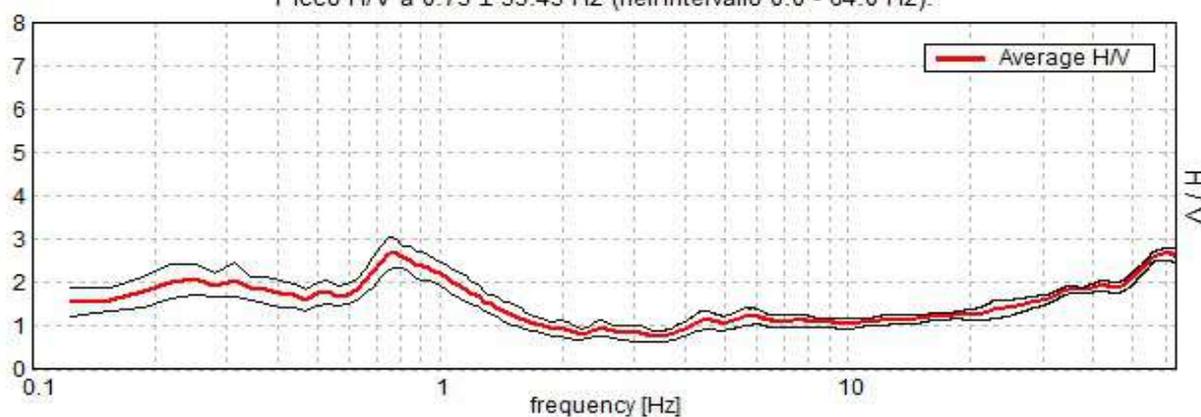
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

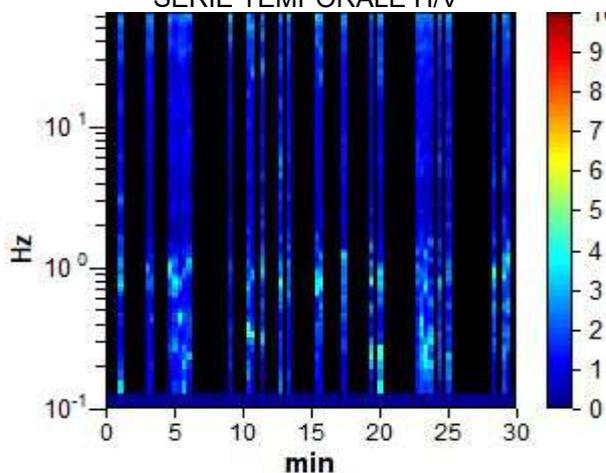
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

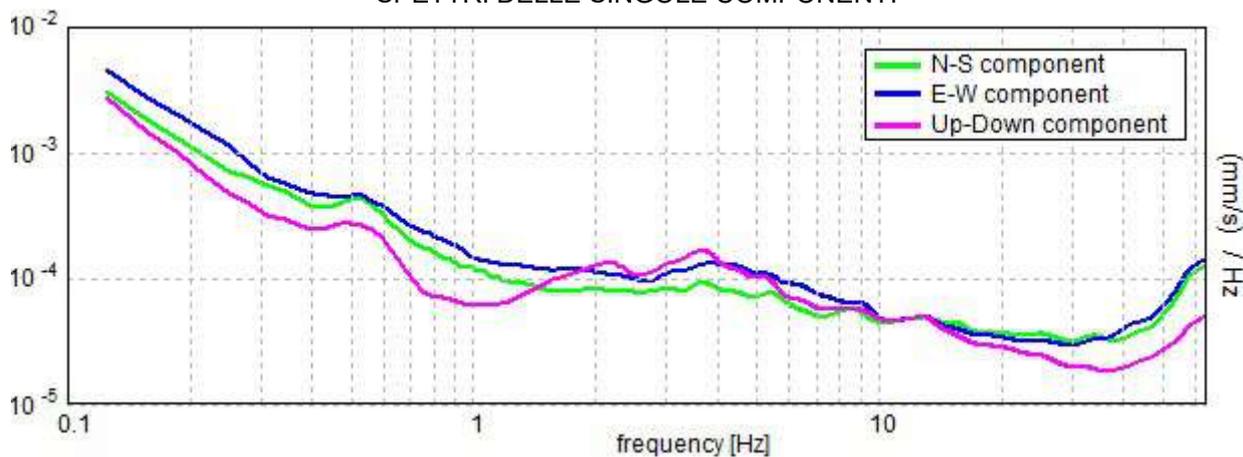
Picco H/V a 0.75 ± 35.45 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



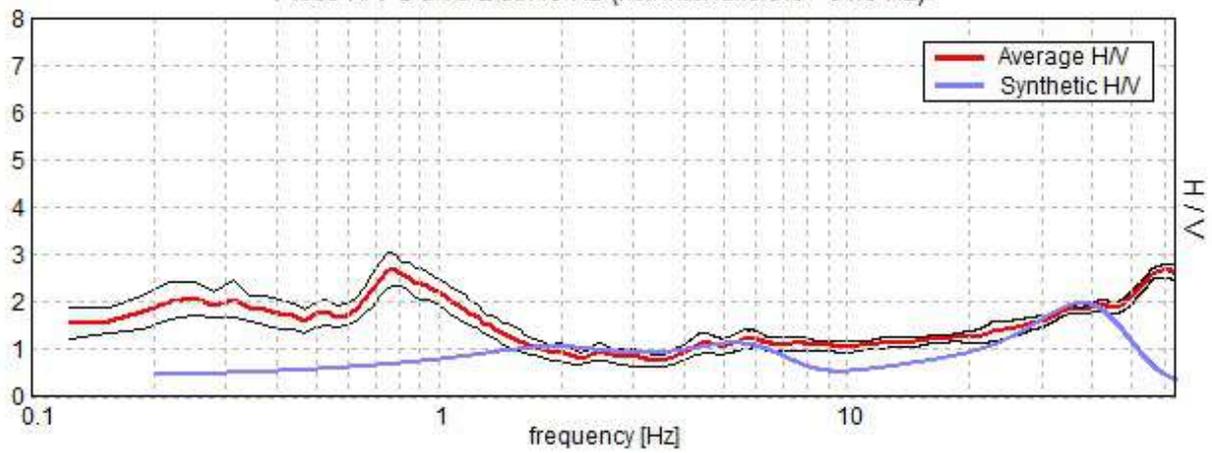
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

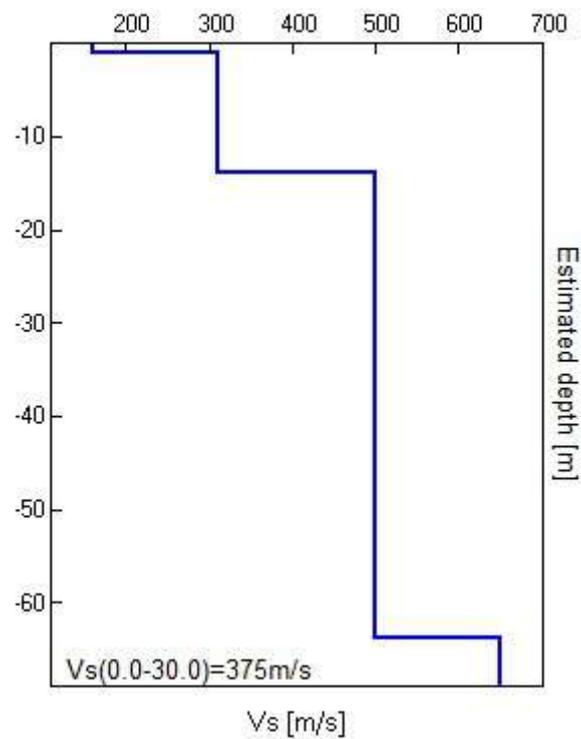


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
Picco H/V a 0.75 ± 35.45 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	160	0.42
13.90	12.90	310	0.42
63.90	50.00	500	0.42
inf.	inf.	650	0.42

$$Vs_{(0.0-30.0)} = 375\text{m/s}$$



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

Picco H/V a 0.75 ± 35.45 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$420.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 37	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.67 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 47.26635 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$35.44976 < 0.1125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3577 < 2.0$	OK	

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

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

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

IMPIANTO FOTOVOLTAICO ORTA NOVA, 2

Strumento: TRZ-0106/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/01/00 00:00:31 Fine registrazione: 01/01/00 00:30:32

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

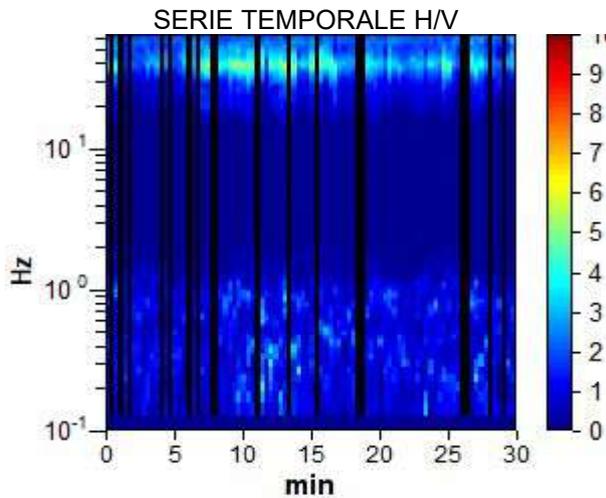
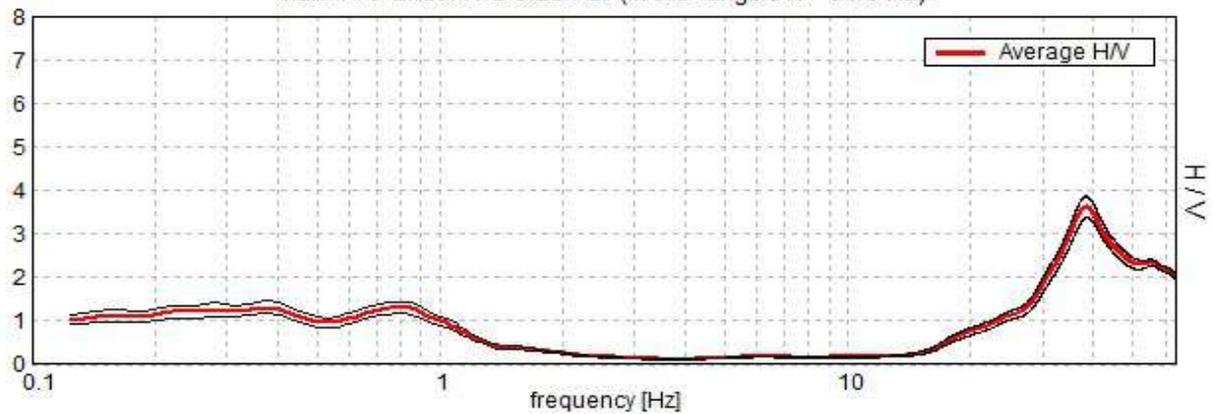
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

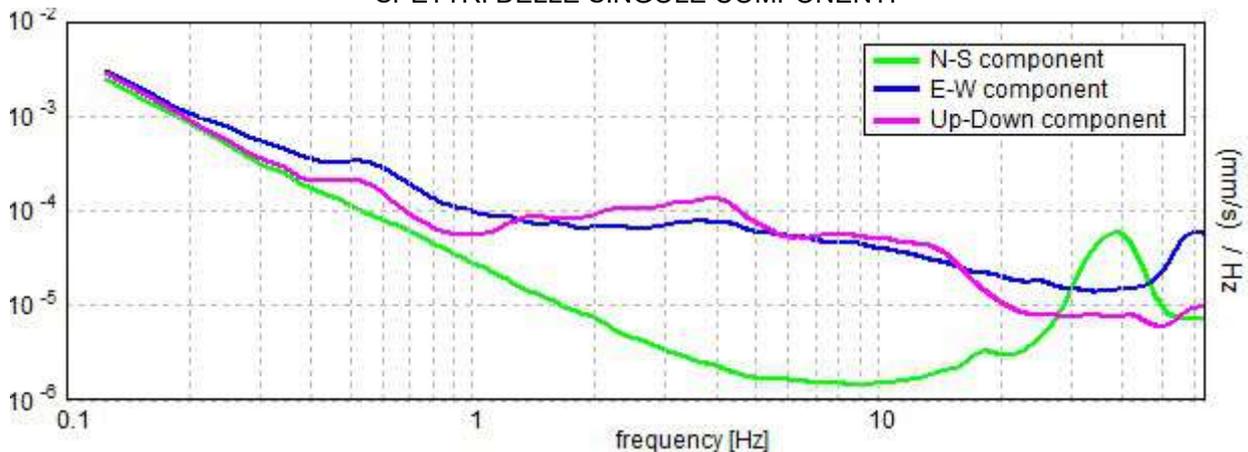
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

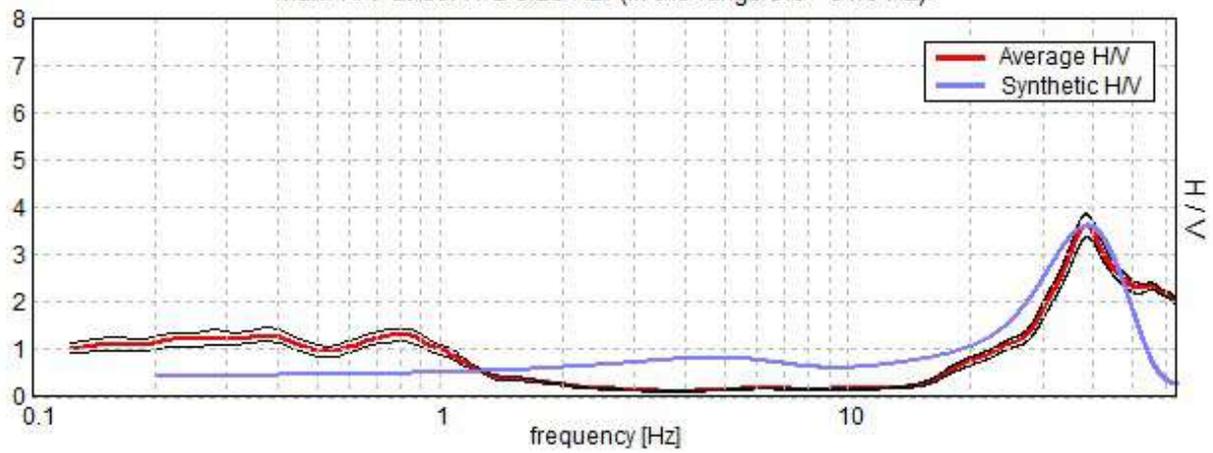
Max. H/V at 38.44 ± 0.28 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

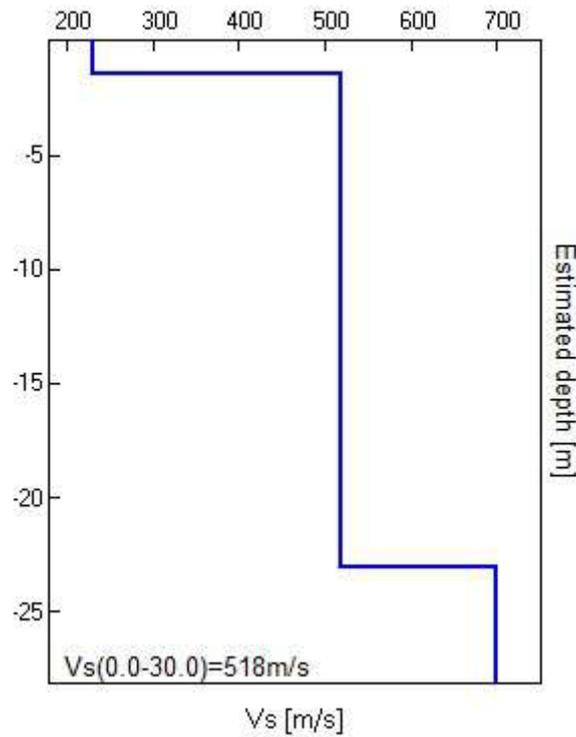


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
Max. H/V at 38.44 ± 0.28 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.50	1.50	230	0.42
23.10	21.60	520	0.42
inf.	inf.	700	0.42

$V_{s(0.0-30.0)} = 518 \text{ m/s}$



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

Picco H/V a 38.44 ± 0.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$38.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$55350.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1434	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	29.969 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$3.61 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00735 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.28265 < 1.92188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2481 < 1.58$	OK	

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

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

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

IMPIANTO FOTOVOLTAICO ORTA NOVA, 3

Strumento: TRZ-0106/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/01/00 00:00:28 Fine registrazione: 01/01/00 00:30:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

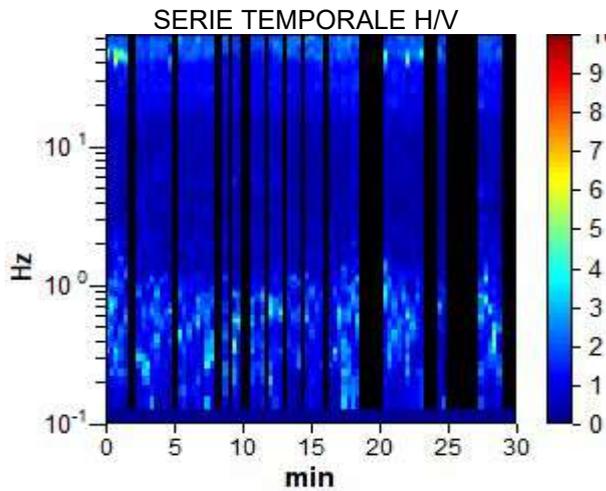
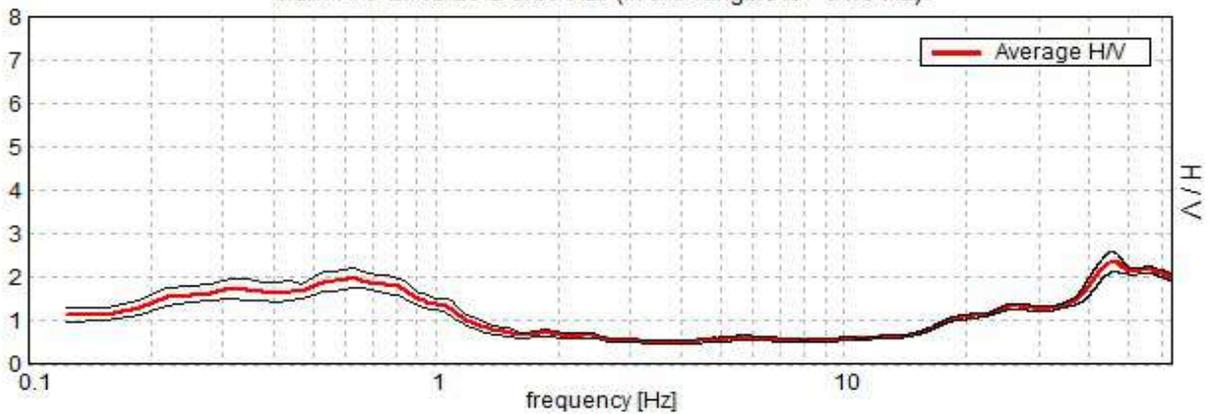
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

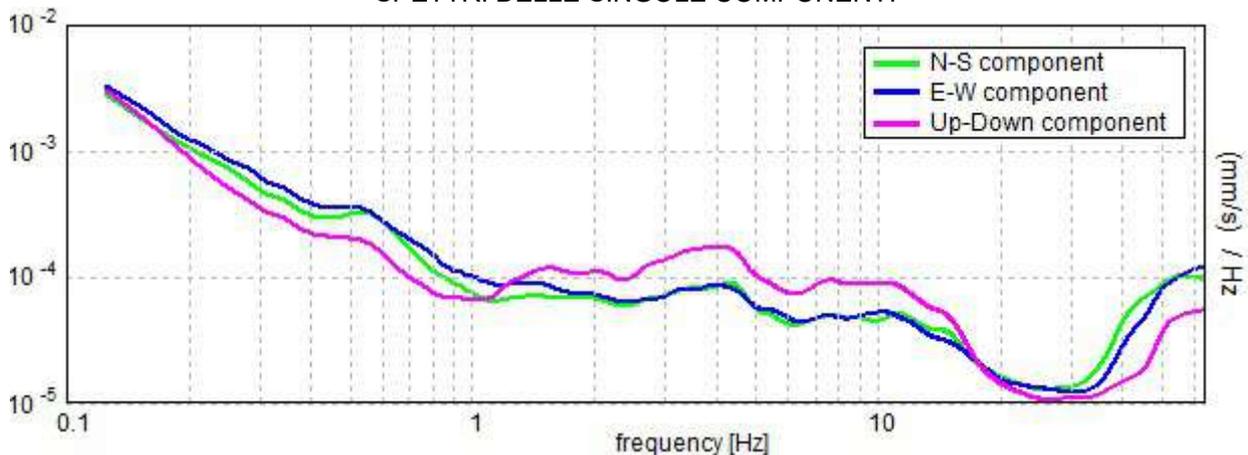
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

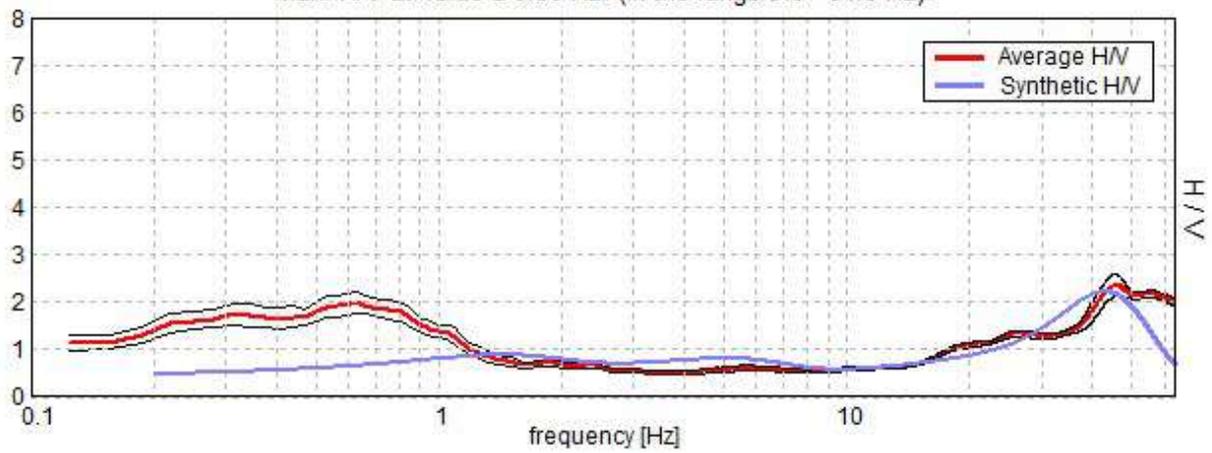
Max. H/V at 45.63 ± 0.36 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

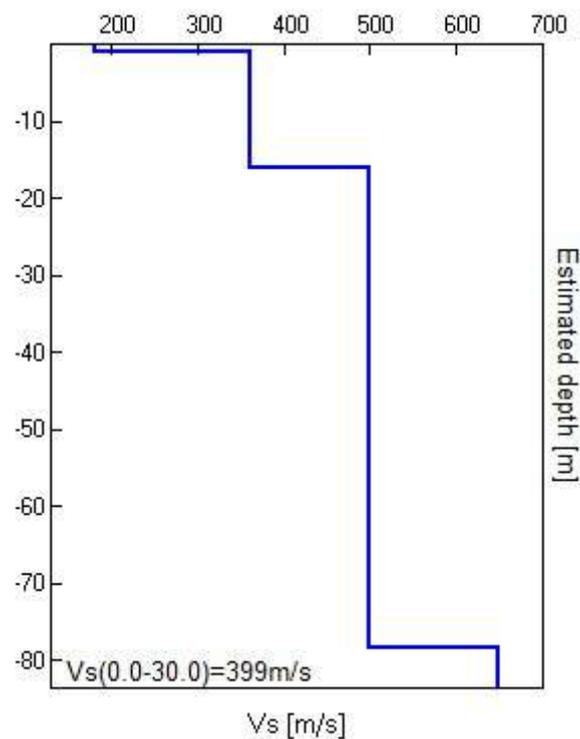


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
Max. H/V at 45.63 ± 0.36 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	180	0.42
16.00	15.00	360	0.42
78.50	62.50	500	0.42
inf.	inf.	650	0.42

$V_{s(0.0-30.0)} = 399 \text{ m/s}$



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

Picco H/V a 45.63 ± 0.36 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$45.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$54750.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1319	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	23.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.36 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00781 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.35646 < 2.28125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2316 < 1.58$	OK	

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

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

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

Allegato 2
Report sismico

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

Committenti:

RAFFAELE SASSONE

Incarico:

Indagini sismiche, con la tecnica della rifrazione in onde P e della MASW, per la caratterizzazione del sottosuolo nel sito di realizzazione di un impianto fotovoltaico

Relatore:

Geologo **PELLEGRINI Vito**



Ubicazione:

**ORTA NOVA (FG)
Strada Provinciale n. 68**

Riferimenti catastali:

Coordinate (Lat./Long.WGS84) - S2:

Latitudine: 41° 20' 37,50'' Nord

Longitudine: 15° 49' 06,00'' Est

Luogo e Data:

Polignano a Mare, settembre 2019

Indice

Premessa e inquadramento del sito di indagine	pag. 02
Premessa alle indagini sismiche	pag. 05
Indagine sismica a rifrazione	pag. 08
Indagine sismica MASW	pag. 12
Moduli elasto-dinamici e caratterizzazione del terreno	pag. 16
Classificazione del suolo di fondazione	pag. 16
Conclusioni	pag. 17
Allegati fotografici	pag. 18

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. 3 indagine di tipo sismico eseguite in data 26/09/2019 con la tecnica della tomografia in rifrazione con onde P e con la tecnica della MASW.

Le indagini svolte hanno avuto lo scopo di ricostruire la sismo-stratigrafia dei terreni investigati e di calcolare i moduli elasto-dinamici del sottosuolo di fondazione, nonché, individuare la Categoria di Suolo di fondazione in ottemperanza alle vigenti normative in materia di anti-sismica (NTC2018). Il sito di indagine è ubicato a Orta Nova (FG) nei pressi della Strada Provinciale n. 68 e le coordinate geografiche dello stesso sito sono Latitudine: 41° 20’ 37,50’’ Nord e Longitudine: 15° 49’ 06,00’’ Est; le coordinate del “punto medio” dei 3 stendimenti sismici sono invece le seguenti:

S1: Latitudine: 41° 20’ 09,00’’ Nord e Longitudine: 15° 49’ 05,00’’ Est

S2: Latitudine: 41° 20’ 24,40’’ Nord e Longitudine: 15° 49’ 04,15’’ Est

S3: Latitudine: 41° 20’ 43,60’’ Nord e Longitudine: 15° 49’ 24,60’’ Est

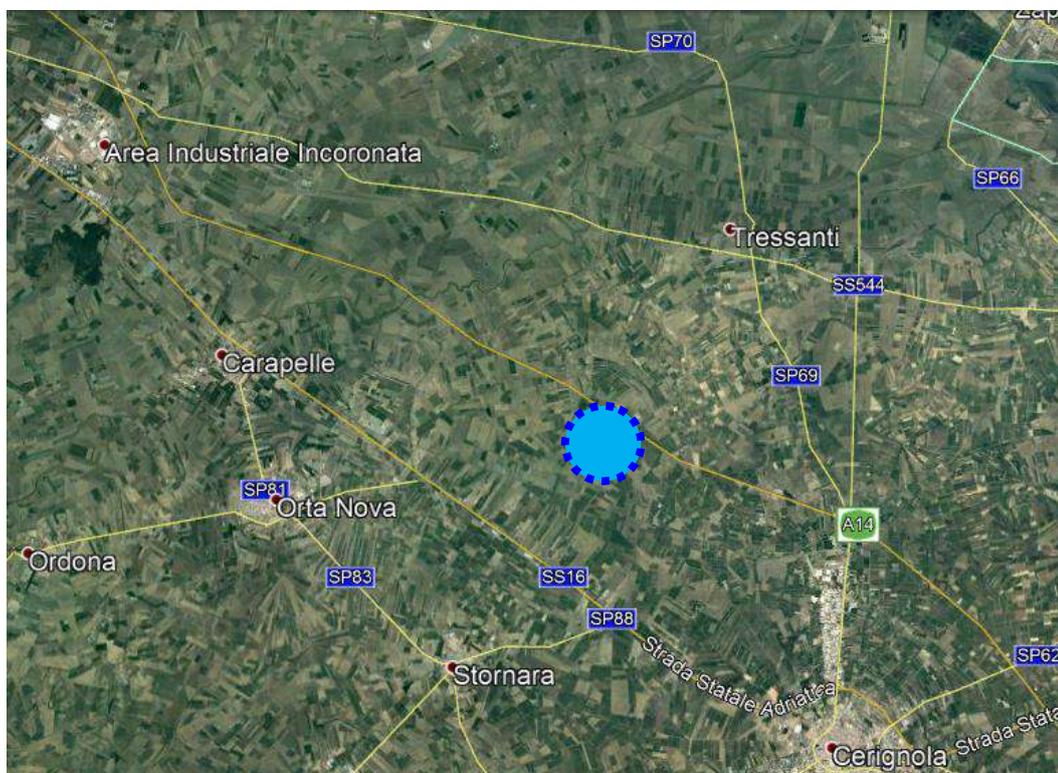


Fig. 1 – Foto aerea generale del sito investigato.



Fig. 2 – Foto aerea generale del sito di indagine.



Fig. 3 – Foto aerea di dettaglio con ubicazione dell'indagine sismica S1.



Fig. 4 – Foto aerea di dettaglio con ubicazione dell'indagine sismica S2.

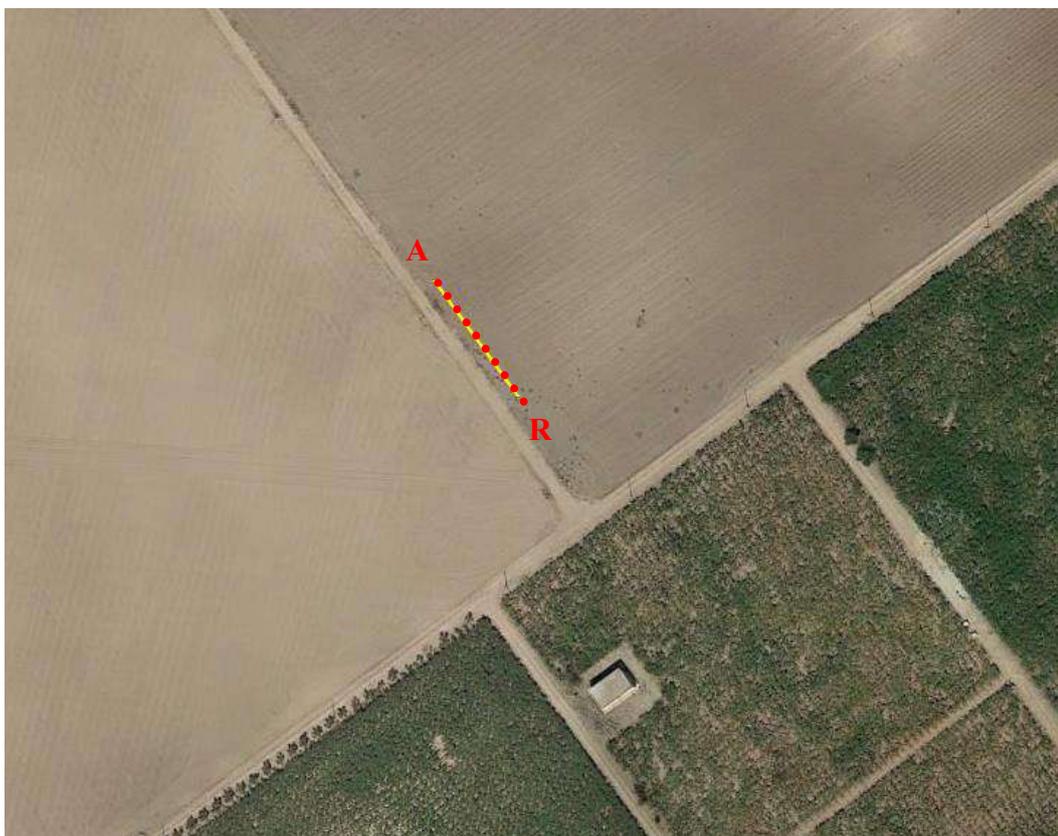


Fig. 5 – Foto aerea di dettaglio con ubicazione dell'indagine sismica S3.

Premessa alle indagini sismiche

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

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 che si vuole indagare. L'equidistanza tra i geofoni ed il loro numero sono in funzione del dettaglio e del target (profondità di indagine, ossia, volume significativo del terreno) e con la misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni si può ricostruire l'andamento e la profondità dei rifrattori e, nel caso di misura anche delle onde secondarie o di taglio (S) come nel nostro caso, di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche del sottosuolo investigato. La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione attraverso una sorgente energizzante (martello da 8 kg nel nostro caso) 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 (Legge di Snell) cioè dal fatto che l'onda sismica si rifrange su superfici di separazione tra due materiali a densità e quindi a modulo elastico differente e nello specifico crescente. 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 la sovrapposizione ottimale fra le due curve sperimentale e teorica, infine, con il parametro V_{Seq} (NTC2018) si individua la categoria del suolo di fondazione.

Strumento utilizzato e configurazione di acquisizione

Le indagini sono state condotte utilizzando 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 (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), di guadagno verticale del segnale (in ampiezza) 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; lo starter di acquisizione, ossia il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un geofono starter nell’istante in cui il sistema energizzante colpisce la base di battuta determinando l’inizio della registrazione. Generalmente per ogni stendimento la profondità massima raggiunta dalla prospezione sismica è funzione sia delle velocità sismiche dei singoli strati sia della lunghezza dei tiri sismici. Indicativamente la spaziatura intergeofonica può variare tra 1/4 ed 1/5 della profondità del target che si intende raggiungere e si devono effettuare almeno tre energizzazioni (diretta, centrale e inversa). La distanza tra punto di scoppio e geofoni fondamentale regola la profondità d’investigazione. Più questa distanza è grande e maggiore sarà la profondità che andrai ad investigare.

Nel nostro caso le indagini sono state eseguite con una configurazione data dal posizionamento di n. 20 geofoni verticali con una spaziatura intergeofonica pari a 2 m e per una lunghezza complessiva dello stendimento pari a un totale di 42 m. Sono state eseguite n. 3 energizzazioni per ogni punto di scoppio e per un totale di n. 5 punti di scoppio (quindi con un totale di n. 15 battute); i punti di scoppio o di battuta sono stati ubicati alle progressive: 0 m, 13 m, 25 m, 33 m e infine 42 m. L’ubicazione degli stendimenti sismici eseguiti nel sito di interesse sono riportate in dettagli rispettivamente in Fig. 3, in Fig. 4 e in Fig. 5, mentre, nella Fig. 2 è riportata l’ubicazione generale e a larga scala delle stesse indagini. L’ubicazione di tutte le indagini è stata dettata da motivazioni operative di cantiere e dall’accessibilità dei luoghi al momento delle indagini; le stesse ubicazioni sono state decise di concerto con il committente della presente indagine e comunque risultano essere congrua a parere dello scrivente con il raggiungimento degli obiettivi per l’intervento in questione.

Di seguito si riportano le specifiche tecniche della strumentazione:

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
- Range dinamico: 144 dB (teorico)
- Distorsione massima: +/-0.0010%
- Banda passante: 2Hz-30KHz
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -120dB a 20 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV
- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB
- Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB
- Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua
- Numero di campioni per evento: da 1024 a 21800 con incrementi di 512
- Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
- Modalità di acquisizione: con trigger esterno su tutti i canali e a tempo su max 12 canali.
- Canali: configurazioni da 12, 24 o 36. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati per ogni acquisizione.
- Test della strumentazione: auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione.
- Filtri digitali: selezione automatica in base alla frequenza di campionatura
- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto.
- Visualizzazione in tempo reale dei segnali provenienti dai geofoni
- Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
- Trigger: positive, negative (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
- Formato dei dati: SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII
- Alimentazione: 12V DC, fornita da apposito power box ricaricabile. Assorbimento medio: 1.5A
- Dimensioni e peso: 40.4x17.4x33 cm, 5 Kg (cavi e sensori esclusi)
- Display: LCD 10.4" with touch-screen, optical bonding
- Condizioni ambientali: -20/80°C
- Sistema Operativo: Windows Embedded Standard

Indagine sismica a rifrazione

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 6/8 m dal p.c., ottenendo i modelli geofisici del terreno di seguito riportati:

Modello del terreno

Dalla consultazione dei dati cartografici del progetto CARG della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Foglio *Cerignola*), e dalla consultazione dei dati inerenti le stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi eseguiti nell'immediato intorno del sito in esame, è emerso per il nostro territorio la presenza in affioramento delle Sabbie di Torre Quarto (STQ - Pleistocene); brevemente tali depositi sono costituiti da sabbie medie e fini di colore giallastro o giallo ocra, poco cementate e con intercalazioni di marne, argille e silt, il cui spessore massimo è pari a 55.

I modelli geofisici (sismo-stratigrafici) ottenuti per i 3 stendimenti sono per il primo e il terzo, ossia S1 ed S3, confrontabili tra loro, mentre, una sostanziale differenza la si osserva per S2 con Vp decisamente inferiori a parità di profondità. Le indagini, inoltre, non permettono di discriminare la presenza all'interno delle STQ di intercalazioni di argille, silt o ancora di arenarie maggiormente cementate o di marne bensì forniscono indicazioni, desunte dai valori di Vp, sul grado di cementazione, sull'assetto bidimensionale dei vari livelli e sui moduli elasto-dinamici dei vari orizzonti (in accoppiamento con i valori delle velocità delle onde S, appunto le Vs). In pratica, per ricostruire la stratigrafia di dettaglio nei siti di indagine sono indispensabili delle prove dirette a carotaggio continuo spinte alla profondità di interesse e i modelli qui proposti pur essendo attendibili e dotati di una elevata bontà possono comunque essere affetti da una certa percentuale di errore al momento non stimabile.

Di seguito nelle Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8 sono riportati i modelli sismo-stratigrafici elaborati e interpretati per i 3 stendimenti di sismica a rifrazione; dalle figure in questione è possibile osservare la profondità dei diversi rifrattori, lo spessore dei singoli livelli e, appunto, le Vp misurate per ognuno di essi.

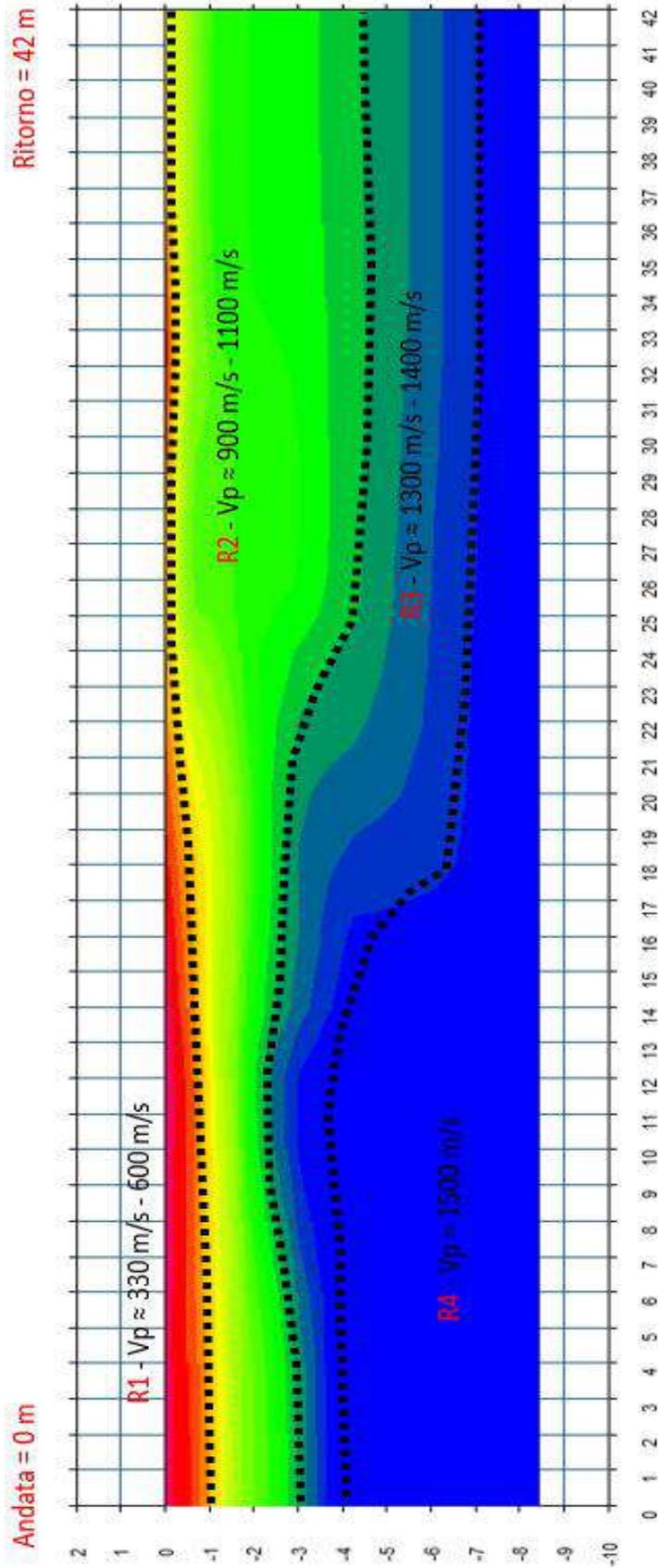


Fig. 6 – Modello sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione (S1).

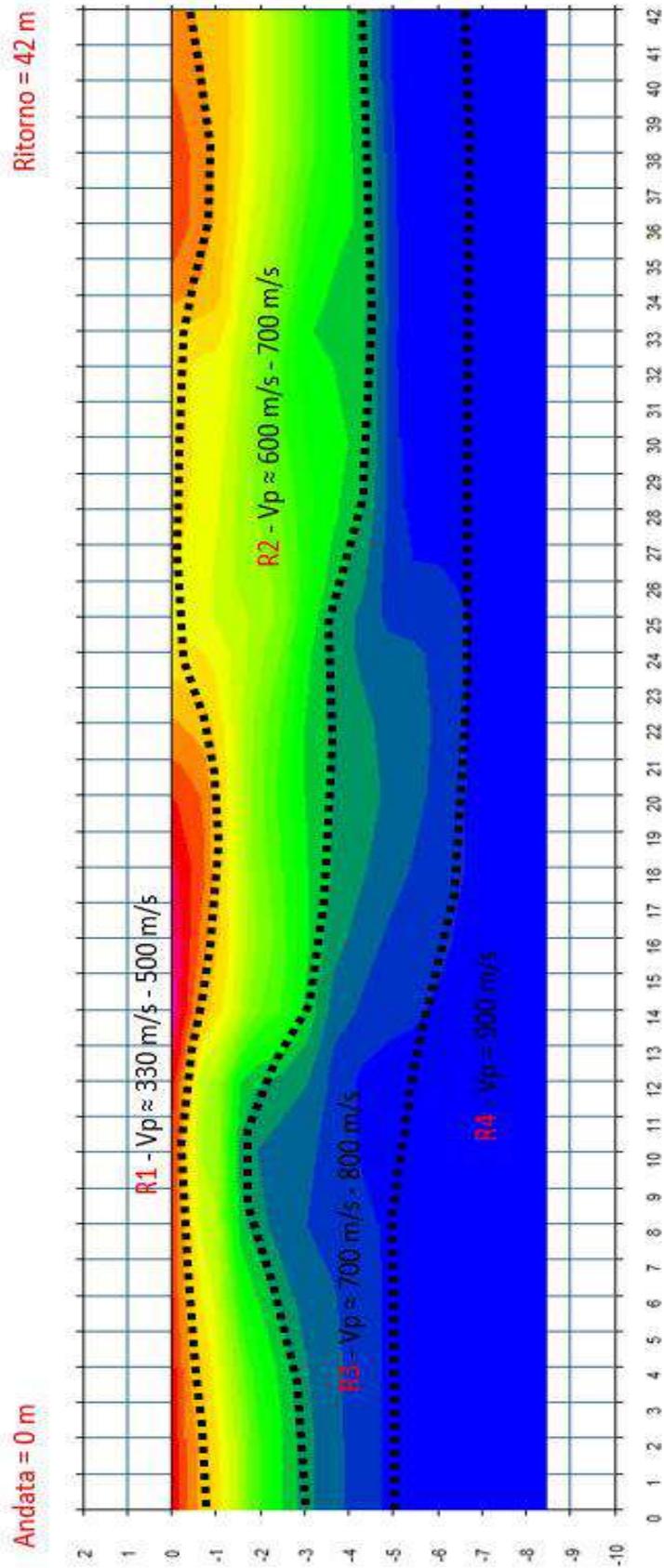


Fig. 7 – Modello sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione (S2).

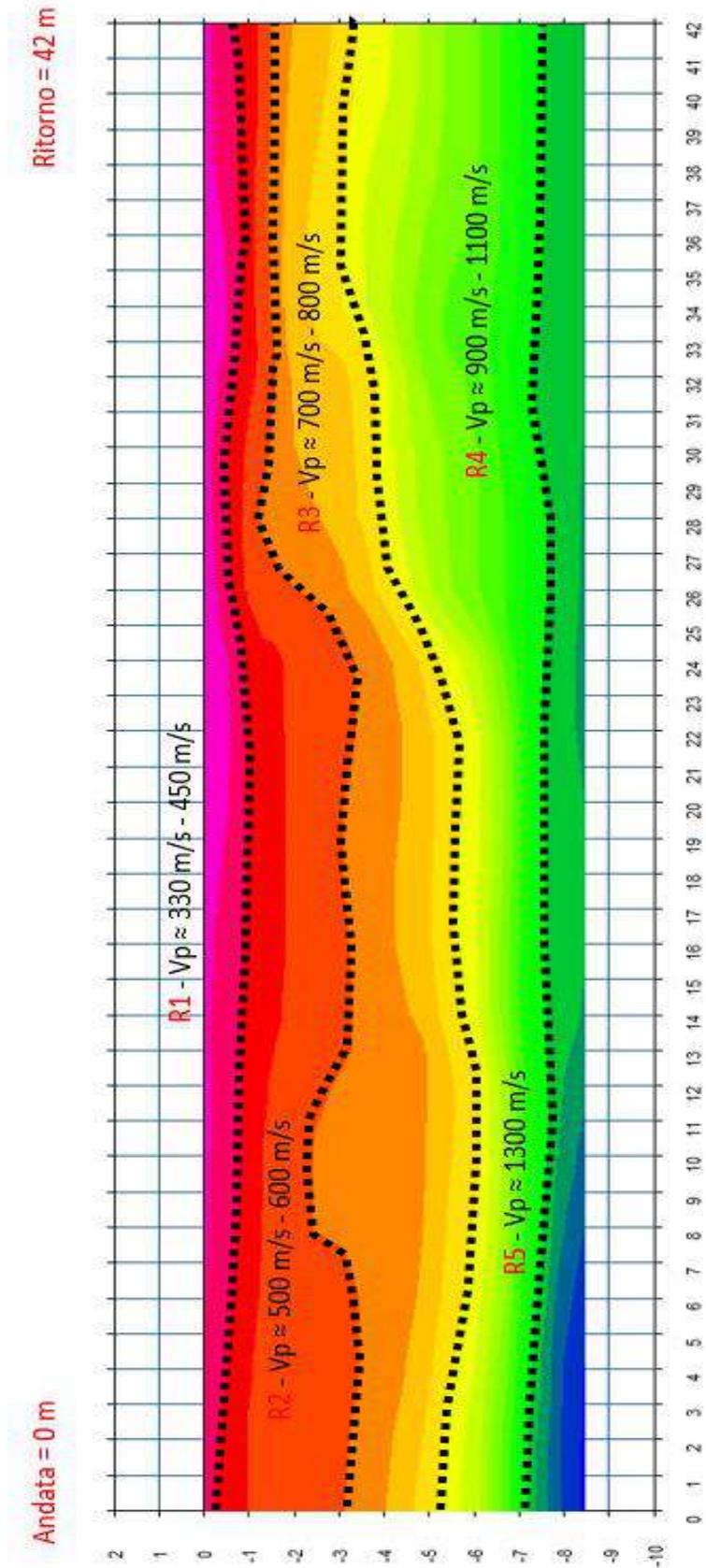


Fig. 8 – Modello sismo-stratigrafico ottenuto con la tomografia in rifrazione (S3).

Indagine sismica MASW

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.

Le indagini MASW per ognuno degli n. 3 stendimenti sismici in data 26/09/2019 hanno avuto i seguenti parametri di acquisizione e di elaborazione:

- Numero tracce: 20
- 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 minima di elaborazione: 1 Hz (4,5 Hz)
- Frequenza massima di elaborazione: 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 S1 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (Vs) in progressivo aumento nel terreno: dal p.c. fino a 1 m di profondità la Vs ha valori di circa 200 m/s; da 1 m dal p.c. a 3 m dallo stesso p.c. la Vs è di circa 340 m/s; dai 3 m ai 22 m arriva a valori di 410 m/s, infine, dai 22 m dal p.c. fino ai 30 m dal p.c. la Vs tocca valori di circa 600 m/s.

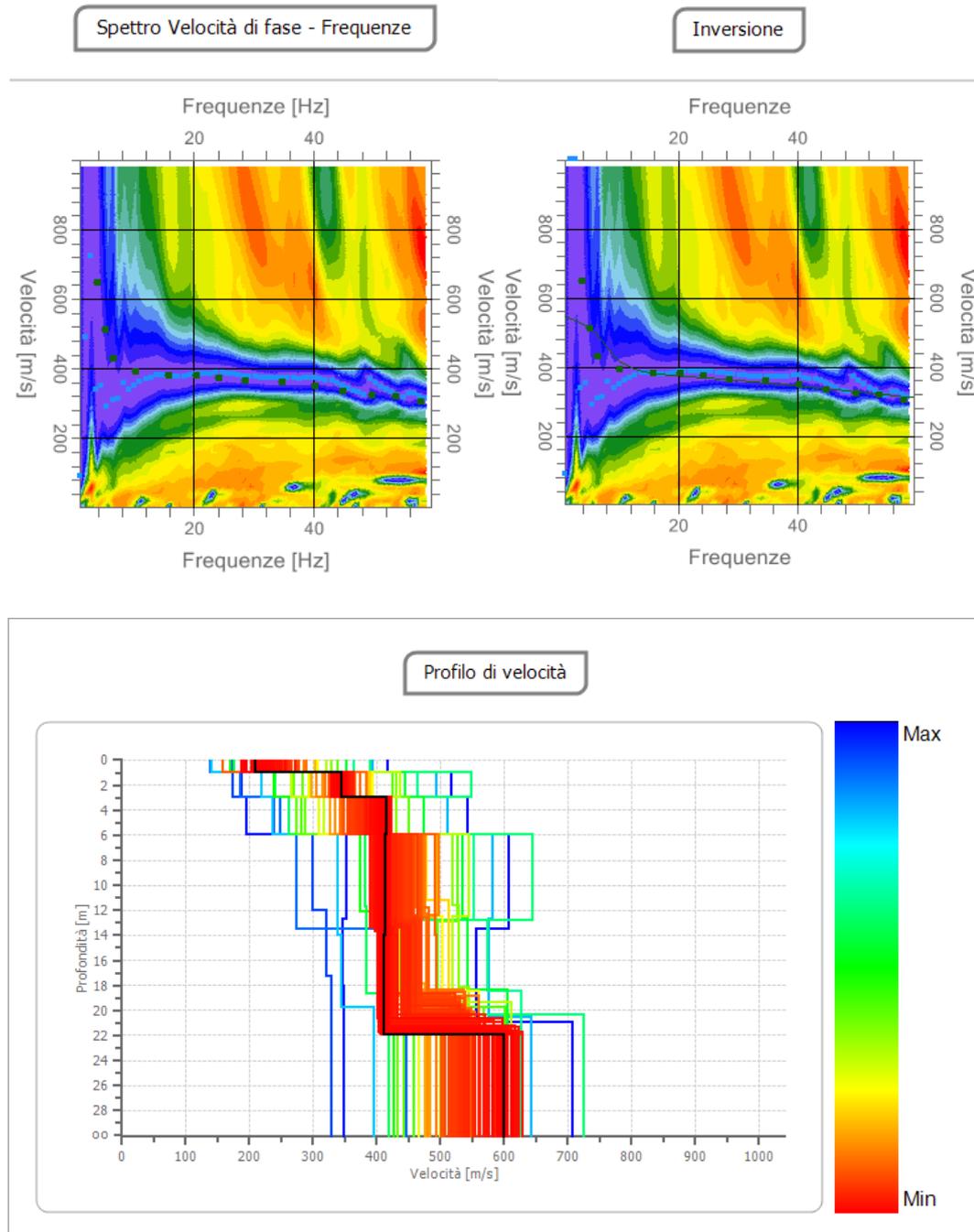


Fig. 9 – Spettro velocità di fase-frequenze, inversione, profilo Vs30 della indagine MASW eseguita nel sito di indagine.

L'indagine MASW S2 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) in progressivo aumento nel terreno: dal p.c. fino a 1,8 m di profondità la V_s ha valori di circa 150 m/s; da 1,8 m dal p.c. a 3,8 m dallo stesso p.c. la V_s è di circa 270 m/s; dai 3,8 m ai 18 m arriva a valori di 310 m/s, infine, dai 18 m dal p.c. fino ai 30 m dal p.c. la V_s tocca valori di circa 440 m/s.

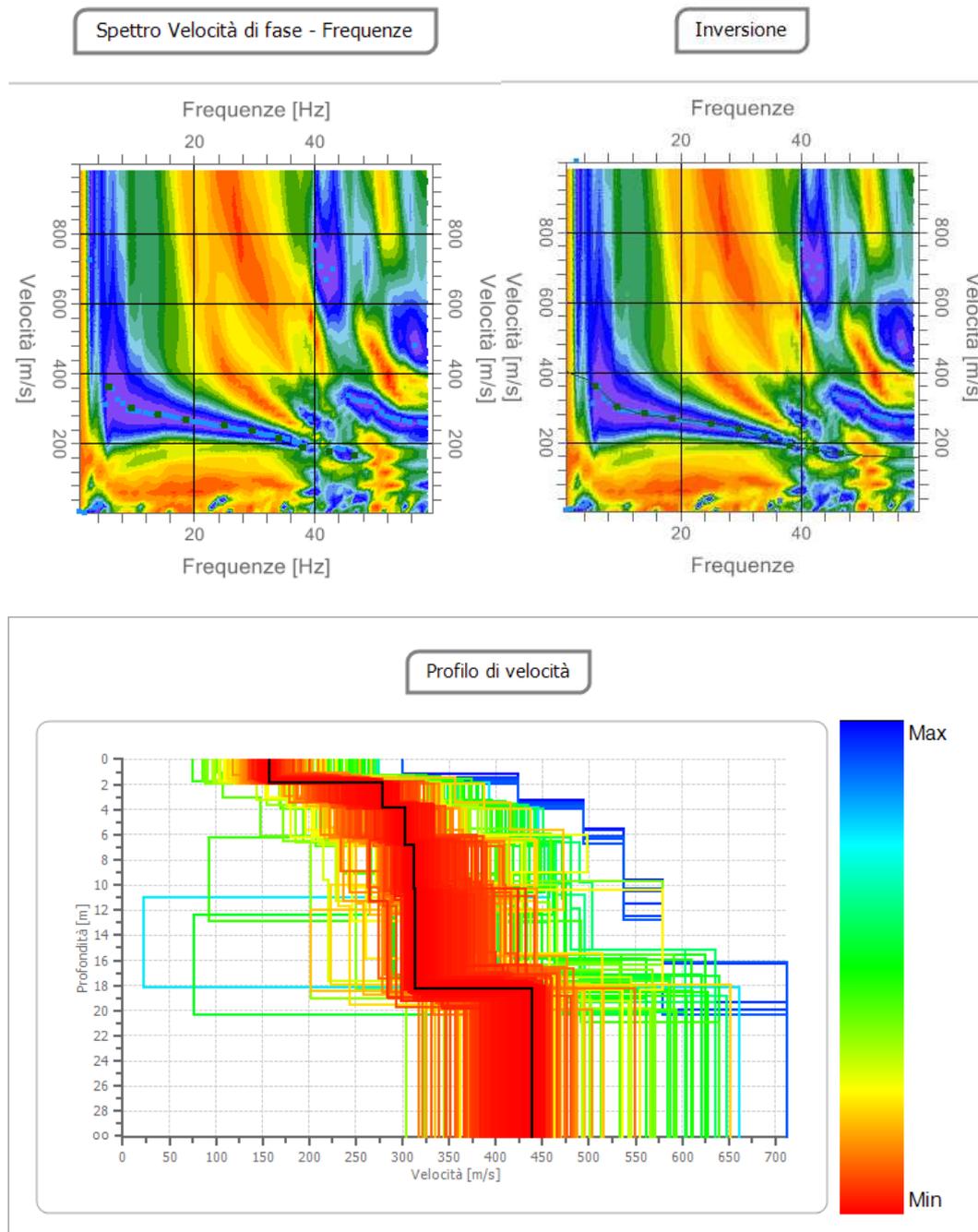


Fig. 10 – Spettro velocità di fase-frequenze, inversione, profilo V_{s30} della indagine MASW eseguita nel sito di indagine.

L'indagine MASW S3 ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) in progressivo aumento nel terreno: dal p.c. fino a 1 m di profondità la V_s ha valori di circa 115 m/s; da 1 m dal p.c. a 3,7 m dallo stesso p.c. la V_s è di circa 240 m/s; da 3,7 m ai 20 m arriva a valori di 330 m/s, infine, dai 20 m dal p.c. fino ai 30 m dal p.c. la V_s tocca valori di circa 540 m/s.

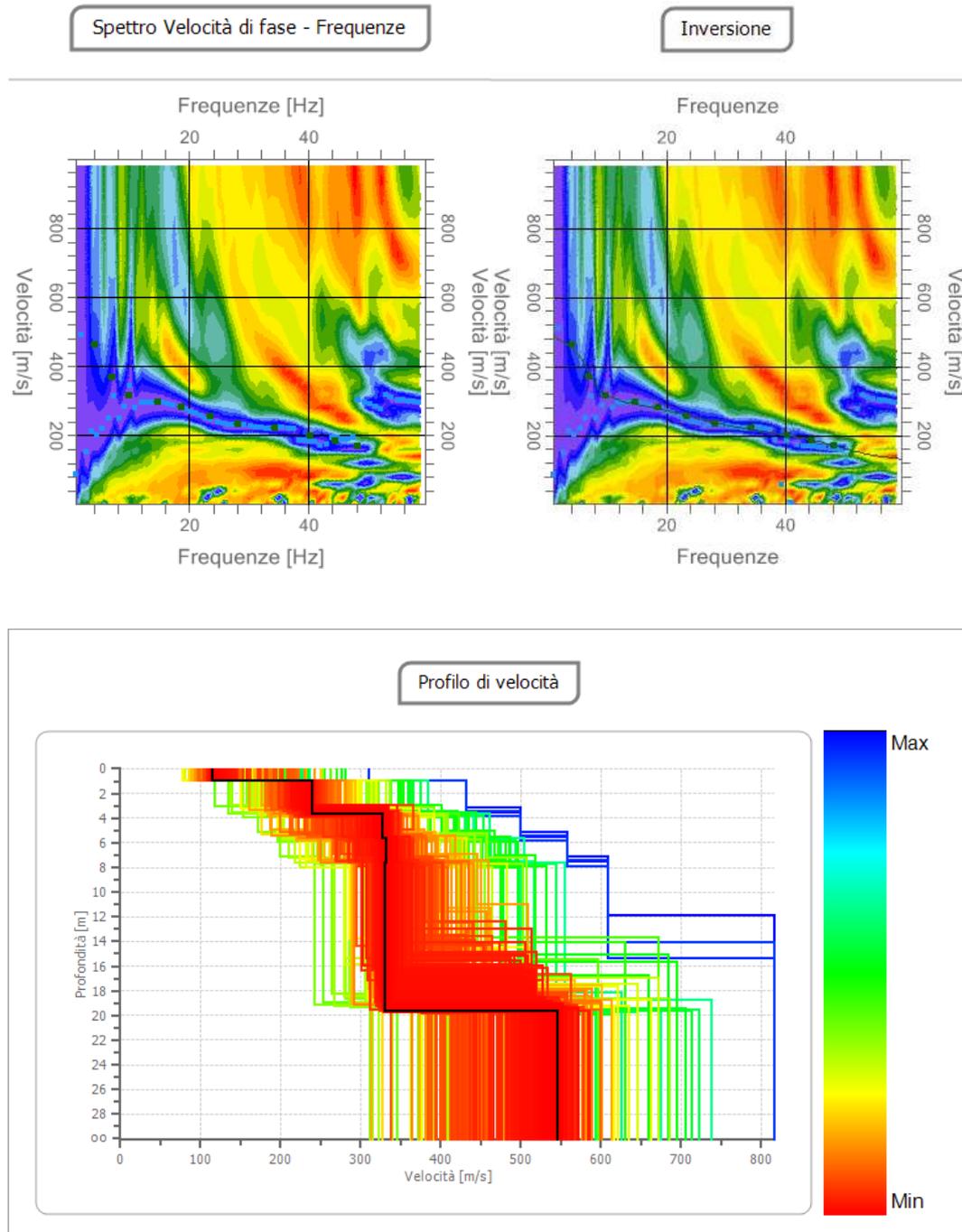


Fig. 11 – Spettro velocità di fase-frequenze, inversione, profilo V_{s30} della indagine MASW eseguita nel sito di indagine.

Moduli elasto-dinamici e caratterizzazione del terreno

Nella tabella sottostante (Tab.1) sono riportati i moduli elasto-dinamici ottenuti dall'elaborazione dei dati del sondaggio sismico S1.

n.	Profondità media [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Mod. di Poisson	Mod. di Bulk [MPa]	Mod. di Young [MPa]	Mod. di shear [MPa]
R1	≈ 0,1/1	330-600	200	0,42	300	180	60
R2	≈ 3/4,5	900-1100	340	0,42	1000	550	180
R3	≈ 4/7	1300-1400	410	0,43	2200	850	250
R4	---	≈ 1500	410	0,44	3000	880	300

Tab. 1 – Parametri ottenuti dall'indagine sismica.

S1 Coesione C (kg/cm ²)	R1 = ---	R2 = 0,1	R3 = 0,2	R4 = 0,2
S1 Angolo di attrito	R1 = ---	R2 = 25	R3 = 27	R4 = 30

Nella tabella sottostante (Tab.2) sono riportati i moduli elasto-dinamici ottenuti dall'elaborazione dei dati del sondaggio sismico S2.

n.	Profondità media [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Mod. di Poisson	Mod. di Bulk [MPa]	Mod. di Young [MPa]	Mod. di shear [MPa]
R1	≈ 0,1/1	330-500	150	0,41	200	100	30
R2	≈ 3/4	600-700	270	0,40	500	300	100
R3	≈ 5/7	700-800	310	0,40	700	400	140
R4	---	≈ 900	310	0,42	1000	430	150

Tab. 1 – Parametri ottenuti dall'indagine sismica.

S2 Coesione C (kg/cm ²)	R1 = ---	R2 = 0,1	R3 = 0,1	R4 = 0,2
S2 Angolo di attrito	R1 = ---	R2 = 25	R3 = 25	R4 = 27

Nella tabella sottostante (Tab.3) sono riportati i moduli elasto-dinamici ottenuti dall'elaborazione dei dati del sondaggio sismico S3.

n.	Profondità media [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Mod. di Poisson	Mod. di Bulk [MPa]	Mod. di Young [MPa]	Mod. di shear [MPa]
R1	≈ 0,3/1	330-450	115	0,43	140	50	20
R2	≈ 2/3	500-600	240	0,40	450	250	90
R3	≈ 3/5	700-800	330	0,40	650	450	170
R4	≈ 7	900-1100	330	0,42	1100	520	180
R5	---	1200-1300	330	0,42	1800	540	190

Tab. 1 – Parametri ottenuti dall'indagine sismica.

S1 Coesione C (kg/cm²) R1 = --- / R2 = 0,1 / R3 = 0,1 / R4 = 0,2 / R5 = 0,25
S1 Angolo di attrito R1 = --- / R2 = 25 / R3 = 26 / R4 = 28 / R5 = 30

I parametri Coesione e Angolo di attrito sono puramente indicativi e potranno essere utilizzati solo in fase preliminare per un primo approccio ingegneristico, mentre, una loro precisa e adeguata definizione necessita gioco forzato di adeguate prove di laboratorio che ne certifichino i valori e permettano, in ultima analisi, di utilizzarli per le fasi successive di progettazione.

Classificazione del suolo di fondazione

Tramite l'esecuzione delle indagini MASW è stata misurata la velocità delle onde sismiche superficiali a diverse frequenze. Per gli stendimenti eseguiti poiché il bedrock è posto sempre oltre i 30 m dal p.c. è stato eseguito il calcolo del parametro V_{S30} . Di seguito si riportano i risultati delle Categorie di suolo di fondazione per i 3 stendimenti eseguiti secondo quanto previsto dalle NTC 2018 nella Tab. 3.2. II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

S1 $V_{S30} = 430$ m/s = Categoria di suolo B;

S2 $V_{S30} = 320$ m/s = Categoria di suolo C;

S3 $V_{S30} = 340$ m/s = Categoria di suolo C.

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>

S1

S2-S3

Conclusioni

Dall'esecuzione dell'indagine sismica a rifrazione è emerso un modello del terreno congruo con i dati reperti dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000) e implementati con il rilevamento sul sito di indagine. Il terreno vegetale è spesso da qualche decimetro (anche pochi centimetri in qualche caso) a un massimo di 1 metro e al di sotto si ritrovano le *Sabbie di Torre Quarto* costituite da sabbie medie e fini di colore giallastro o giallo ocra, poco cementate e con intercalazioni di marne, argille e silt, il cui spessore massimo è pari a 55. .

Tramite l'esecuzione delle indagini MASW è stata misurata la velocità delle onde sismiche V_s e il calcolo del parametro V_{seq} ha permesso di far rientrare il sottosuolo per S1 nella categoria di suolo di fondazione "B" e per S2 ed S3 nella categoria di suolo di fondazione "C" come previsto delle NTC 2018 nella *Tab. 3.2. II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Tanto in ottemperanza dell'incarico ricevuto.

=====

Polignano a Mare, settembre 2019

Geologo **Vito Pellegrini**



Allegati fotografici



Foto 1, 2 e 3 – Vista dello stendimento sismico e della strumentazione adoperata (S1).



Foto 4, 5 e 6 – Vista dello stendimento sismico e della strumentazione adoperata (S2).



Foto 7, 8 e 9 – Vista dello stendimento sismico e della strumentazione adoperata (S3).