



Regione Puglia



Comune di Cerignola



Provincia di Foggia

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
DI UN PARCO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA,
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
Località Riscata - Comune di Cerignola (FG)

PROGETTO DEFINITIVO

**CRG_GEO.01
RELAZIONE GEOLOGICA**

Proponente



Rinnovabili Sud Due
Via Della Chimica, 103 - 85100 Potenza (PZ)

Formato

A4

Scala

Progettista

Dr. Geol. Emanuele Bonanno



Revisione	Descrizione	Data	Preparato	Controllato	Approvato
00	Prima emissione	10/02/2022	Emanuele Bonanno	Emanuele Bonanno	Emanuele Bonanno

Sommario

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1	Lineamenti geologici regionali	4
3.2	Inquadramento geologico dell'area	6
4	LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	8
5	IDROGEOLOGIA DELL'AREA	11
6	COMPATIBILITÀ CON IL PAI	18
7	INDAGINI SUL TERRENO	20
8	MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE DI RIFERIMENTO	20
9	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	21
10	CONCLUSIONI	25
11	ALLEGATI	26
12	REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE	32



1 PREMESSA

Nel seguente elaborato si presenta lo studio geologico realizzato per conto della società Rinnovabili sud Due S.r.l.. La società intende realizzare un parco agro-fotovoltaico per complessivi 36.05 MW, delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da realizzarsi in località Risicata, nel comune di Cerignola, in provincia di Foggia. Tale impianto è finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile in accordo con la Strategia Energetica Nazionale (SEN).

La sua giustificazione intrinseca sta nel fatto di promuovere e realizzare la produzione energetica ricavata da fonte rinnovabile, e quindi con il notevole vantaggio di non provocare emissioni (liquide o gassose) dannose per l'uomo e per l'ambiente in un connubio con l'attività e la produzione agricola del sito stesso. Il progetto riguarda infatti la realizzazione di una tipologia di impianto agro voltaico, ovvero un "ibrido" tra agricoltura locale e infrastruttura fotovoltaica, di modo da poter sfruttare al meglio il potenziale solare senza sottrarre terra utile alla produzione alimentare.

L'energia prodotta dal parco fotovoltaico sarà convogliata (tramite linea interrata MT a 30 kV, di lunghezza paria a circa 10,5 km) nella Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV di nuova costruzione, in cui avverrà l'innalzamento di tensione (30/150 kV) e la successiva consegna (in AT a 150 kV) alla stazione TERNA 380/150 kV di futura realizzazione, che consentirà la connessione anche di altri Utenti Produttori. Le opere necessarie al collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale consistono nella **Sottostazione Elettrica utente (SE Utente)**, un **impianto di accumulo elettrochimico** dell'energia e la **Stazione Elettrica Terna (SE Terna)**.

Il lavoro è condotto con riferimento alle disposizioni riportate nelle *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* D. M. Infrastrutture 17.01.18, e all' O.M. 3274 del 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".

Inoltre, è stato consultato il Piano Stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico dell'Autorità di Bacino della regione Puglia per verificare l'appartenenza dell'area in oggetto ad eventuali zone a rischio idrogeologico.

Sul posto sono stati effettuati una serie di rilievi atti a riconoscere e valutare:

- i lineamenti geomorfologici della zona;
- la conformazione geolitologica dell'area;
- le condizioni geotettoniche nel quale il sito sosta;
- eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto;
- lo stato idrogeologico superficiale;
- la parametrizzazione geomeccanica e sismica dei terreni mediante indagini geognostiche in situ.



In questa fase progettuale, le indagini geognostiche eseguite si riferiscono unicamente all'area del parco agro-fotovoltaico (area impianto) e non all'area di collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in quanto il posizionamento delle opere per la connessione può essere ancora soggetto a modifiche.

I risultati e le considerazioni scaturite nel corso dei rilevamenti effettuati e le conclusioni alle quali si è arrivati sono riportati nella presente relazione, in cui si allega:

- Stralcio Carta Topografica IGM, scala 1:25.000 (Allegato in coda alla presente relazione);
- Stralcio Carta Tecnica Regionale – Area impianto, scala 1:10.000 (Allegato in coda alla presente relazione);
- Stralcio Carta Tecnica Regionale – Area Connessione RTN, scala 1:5.000 (Allegato in coda alla presente relazione);
- Carta ubicazione indagini geognostiche, scala 1:5.000 (Allegato in coda alla presente relazione);
- Sezione Litotecnica di riferimento, scala 1:100 (Allegato in coda alla presente relazione);
- Carta Geologica, scala 1:10.000/1:2.000 (Tavola CRG_GEO.02).

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area su cui si intende realizzare il parco agro-fotovoltaico è ubicata nel territorio del comune di Cerignola, in provincia di Foggia, a circa 8 km a nord-est del centro storico, in località *Risicata*. L'area oggetto dello studio ha un'estensione di circa 55 ettari ed è contenuta all'interno dei fogli mappa n° 422082 e 422083 della Carta tecnica Regionale alla scala 1:5.000, del foglio 176-IV-NO "San Ferdinando di Puglia" della carta IGM in scala 1:25.000 e nel foglio 422 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

Le opere di connessione alla RTN, ossia il tracciato del cavidotto e la stazione elettrica di connessione (SE Utente) alla RTN su Stazione Elettrica Terna di futura realizzazione, sono localizzate anch'esse nel territorio comunale di Cerignola, a circa 8 Km a Nord-Ovest dall'impianto di generazione.



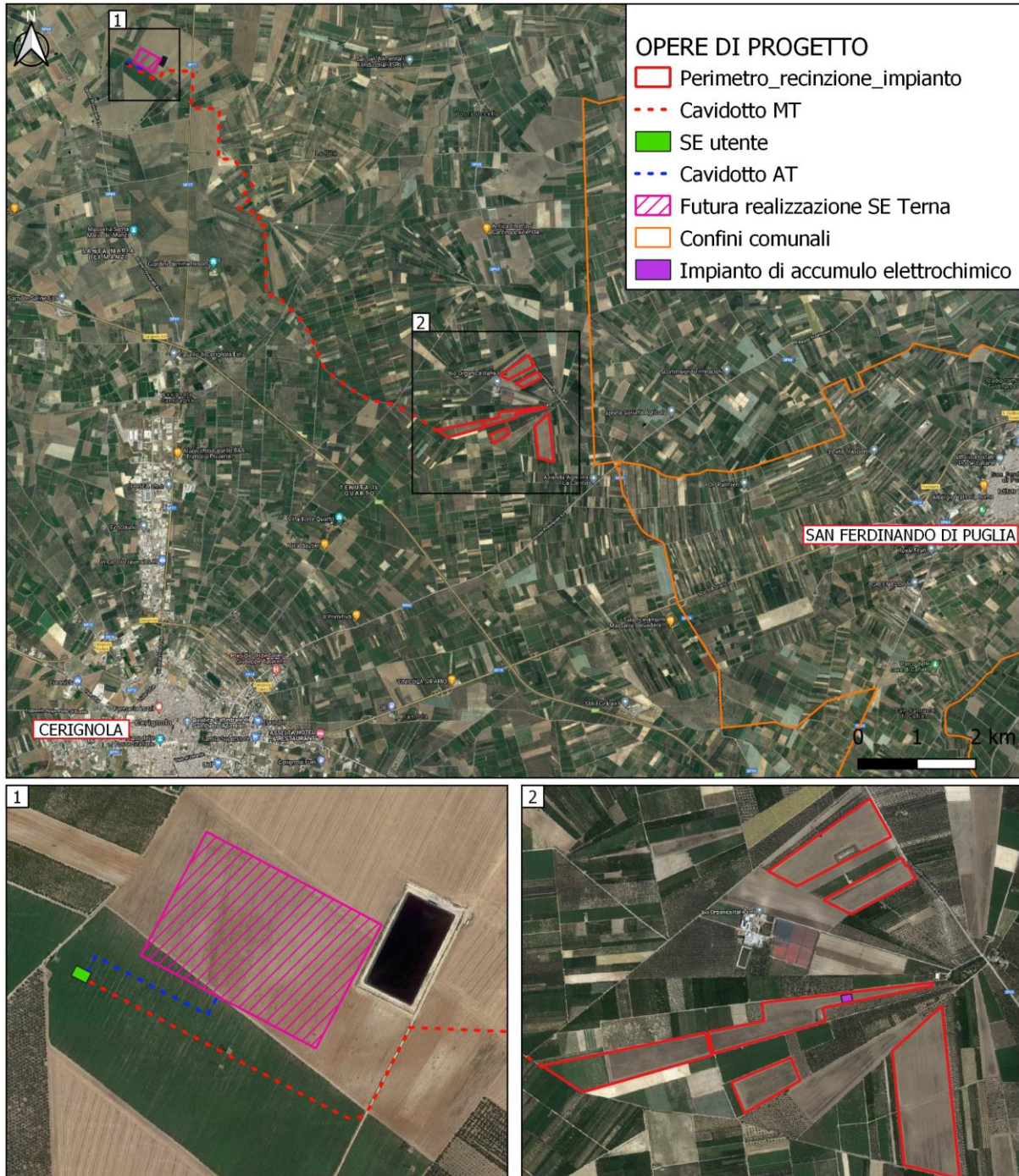


Figura 1. Inquadramento su ortofoto. 1) area collegamento a RTN – 2) area impianto.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Lineamenti geologici regionali

Il territorio in esame si colloca a pochi chilometri a NE dell'abitato di Cerignola nel tavoliere delle Puglie, e poggia al di sopra di depositi marini e continentali di età Pleistocenica. Le



caratteristiche stratigrafiche dell'area in esame, a livello regionale si possono schematizzare in due unità fondamentali: *la piattaforma apulo-garganica* (dominio strutturale di avampaese) costituita da successioni sedimentarie di margine passivo con età dal Permiano al Miocene e spessore di circa 6000 metri; e *l'Unità della fossa Bradanica* (dominio strutturale di avanfossa) di età plio-pleistocenica.

La fossa Bradanica è il bacino di avanfossa plio-pleistocenico del sistema orogenico appenninico meridionale, e si estende, con forma allungata, tra l'appennino meridionale a ovest e l'avampaese apulo a est (Murge e Gargano) (Tropeano et al., 2002). Questa è migrata, con diverse fasi deformative, verso Est durante il Pliocene e parte del Pleistocene e con l'inarcamento (*peripheral bulge*) dell'avampaese apulo, rappresenta la subduzione litosferica della piattaforma Apula o Adria. Dalle Murge in direzione della zona assiale della catena Appenninica, sia le sezioni sismiche che i pozzi profondi mostrano una graduale immersione della piattaforma Apula e della sua copertura terrigena pliocenica al di sotto del fronte esterno dei thrusts alloctoni appenninici. Nell'area di Cerignola l'area di sedimentazione della fossa Bradanica assume un aspetto più ampio, progredendo ulteriormente verso est fino alla linea di costa, e con una copertura terrigena di spessore circa 500 metri.

Il momento principale della storia evolutiva del bacino d'avanfossa bradanica è avvenuto tra la fine del Pliocene ed il Pleistocene inferiore, quando la propagazione verso est del fronte dei thrusts appenninici sepolto veniva impedita dalla rampa tettonica regionale della Piattaforma carbonatica apula, ribassata verso ovest a causa della subduzione litosferica (LAZZARI & PIERI, 2002).

Il riempimento della fossa Bradanica, impostatosi sull'area subsidente dell'Avampaese Apulo, vede alla base le argille subappennine, le quali passano verso l'alto a un sistema regressivo costituito da sabbie di spiaggia che a loro volta evolvono in depositi conglomeratici di ambiente fluvio-deltizio. Sui depositi di riempimento della fossa bradanica si rinvengono depositi alluvionali di età Pleistocene sup. – Olocene in corrispondenza dei principali corsi d'acqua (Carapelle e Ofanto).

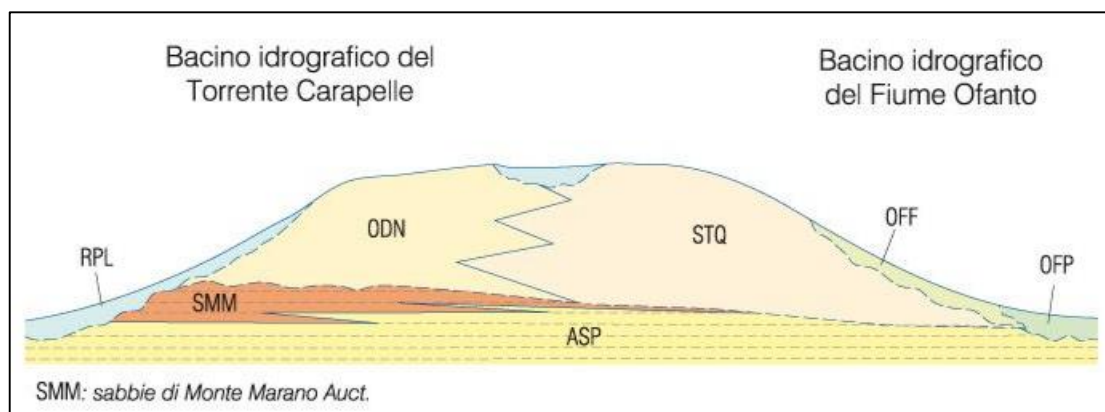


Figura 2. Schema dei rapporti stratigrafici (fonte: carta geologica d'Italia – Foglio 422 "Cerignola" progetto CARG).

3.2 Inquadramento geologico dell'area

L'area in esame è rappresentata nel foglio 422 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Fig. 3) che riporta la presenza estesa delle unità della fossa Bradanica espressa con i seguenti termini:

- nella porzione più superficiale si riconoscono le **Sabbie di Torre Quarto** (STQ) (appartenenti al Sistema di Cerignola - RGL), costituite da sabbie medie e fini di colore giallo ocra generalmente poco cementate in strati di spessore variabile da pochi centimetri a 50 centimetri con intercalazioni di livelli centimetrici e decimetrici di arenarie, argille e silt. Lo spessore massimo è di circa 55 metri. Età Pleistocene medio.
- Al di sotto delle STQ, separate da una superficie di erosione, sono presenti le **Argille Subappennine** grigio azzurre (ASP), costituite da argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio azzurro in strati di spessore decimetrico. Questa formazione può raggiungere spessori notevoli dell'ordine di diverse centinaia di metri. Età Pleistocene inferiore.

Al di sopra dell'unità della fossa Bradanica si termina la serie stratigrafica con il Supersistema del Tavoliere delle Puglie che comprende i depositi alluvionali riferibili a tutti i corsi d'acqua che solcano il Tavoliere.



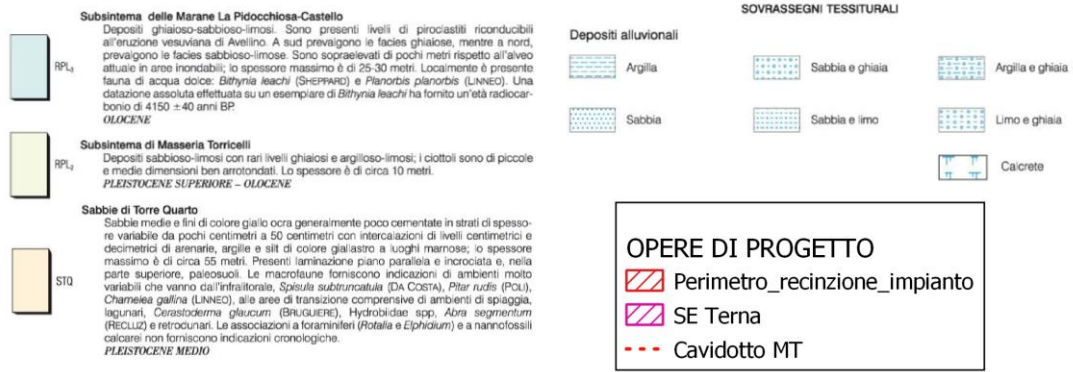
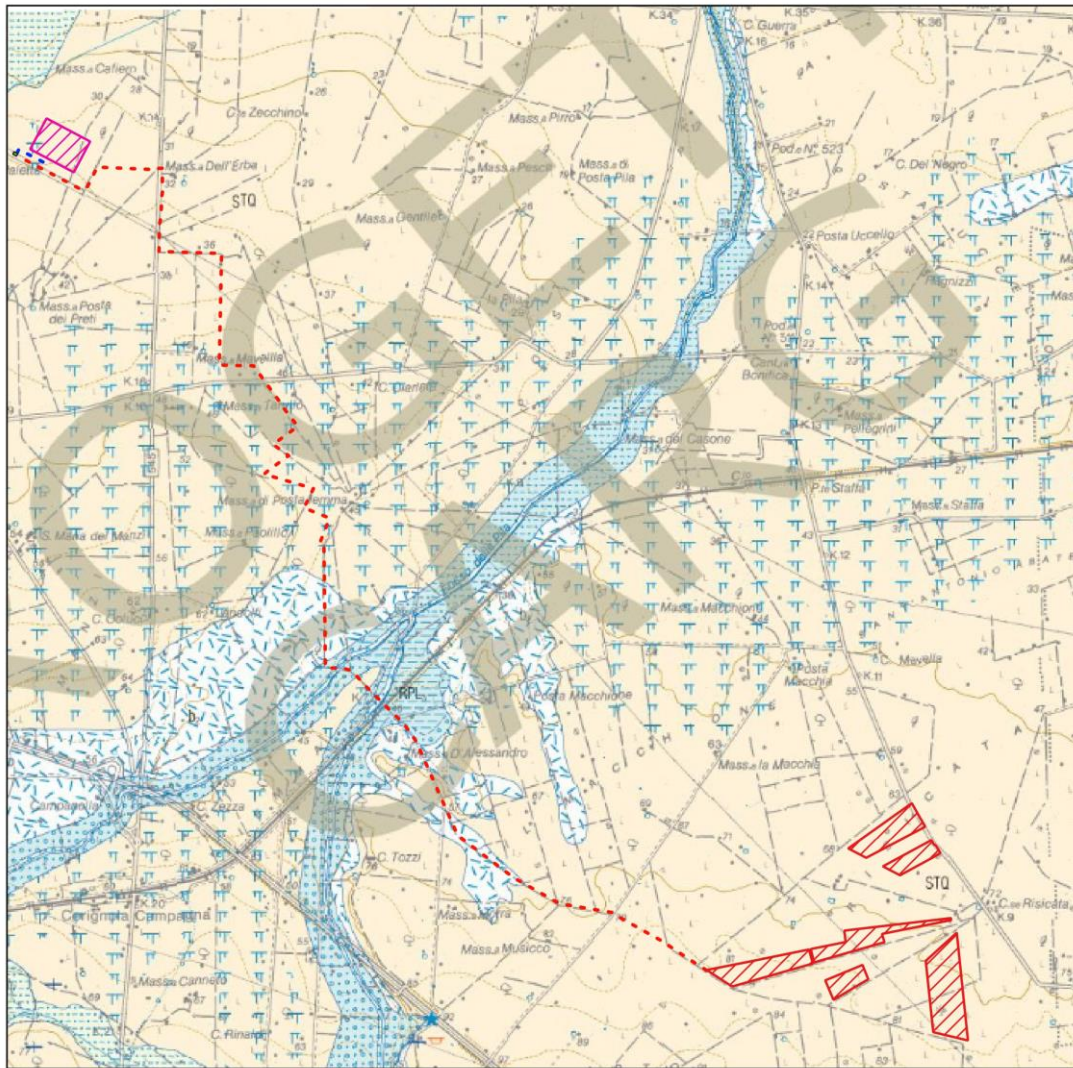


Figura 3. Carta Geologica d'Italia, progetto CARG, foglio 422 "Cerignola".

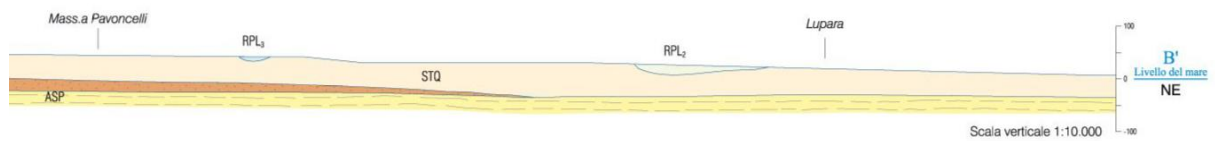


Figura 4. Sezione Geologica B-B', foglio 422 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia, posta a N-O rispetto all'area di studio e con direzione S-O/N-E. ASP: Argille subappennine pleistoceniche. STQ: Sabbie di Torre Quarto pleistoceniche. RPL: depositi alluvionali – pleistocene superiore

Dal punto di vista tettonico-strutturale, nelle vicinanze dell'area si individuano faglie di tipo prevalentemente diretto sepolte con andamento tipico appenninico NO-SE, che interessano originariamente la piattaforma carbonatica apula. Dal catalogo dell'ISPRA (progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults)) non risultano presenti nell'area di studio faglie attive o capaci nelle immediate vicinanze. L'elemento tettonico più vicino considerato come faglia attiva e capace è la faglia denominata "Foggia – Cerignola Sud" (codice 44101) (Fig. 4) posizionata a circa 15 km a sud-ovest dell'area di studio, avente una cinematica di tipo normale, una direzione NO-SE e ultima attività inferiore a 3000 anni.

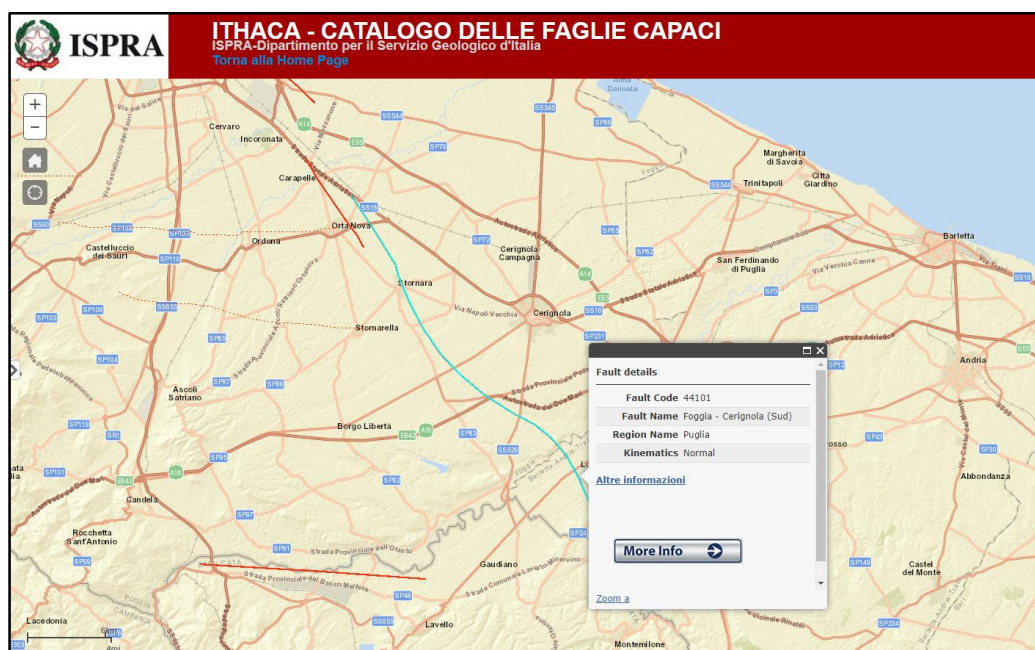


Figura 5. Stralcio della mappa delle faglie attive e capaci riportate nel catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) di ISPRA.

4 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

L'area di studio risiede all'interno dell'elemento geografico del Tavoliere di Puglia che occupa una superficie di oltre 4.000 km². L'unico elemento geomorfologico significativo di area vasta è rappresentato da una superficie sub-pianeggiante, geneticamente identificabile a un terrazzamento marino, avente una leggera pendenza verso nord-est e solcata da alcuni corsi d'acqua minori tipicamente chiamati "marane". Questo ripiano è compreso fra il Fiume Ofanto e il Torrente Carapelle e fa parte di una superficie che si estende da Ascoli Satriano al Golfo di Manfredonia, come a raccordare i rilievi appenninici alla piana costiera (Fig. 5).

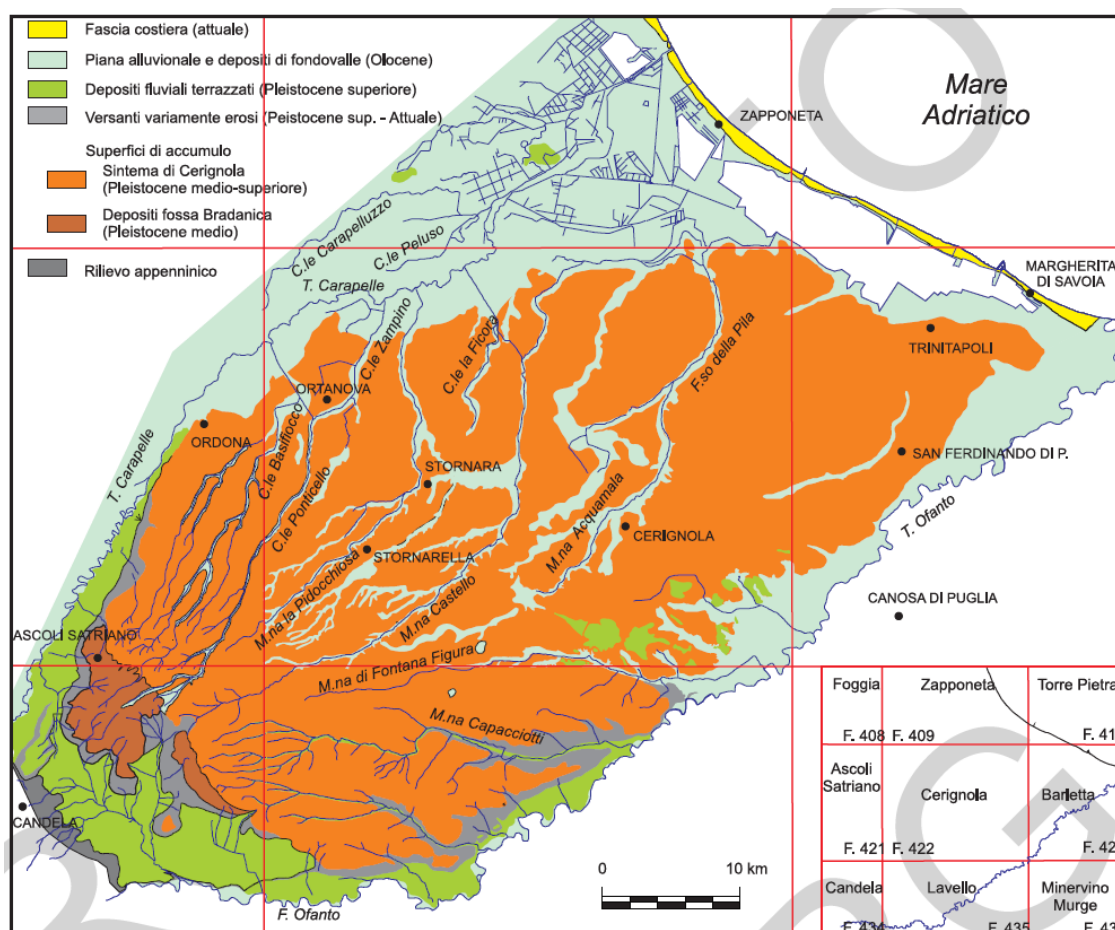


Figura 6. Schema geomorfologico (fonte: note illustrative della carta geologica d'Italia – Foglio 422 “Cerignola” progetto CARG)

Dal punto di vista morfologico si tratta di una superficie di accumulo di tipo complesso (*superficie di accumulo di Cerignola*) generata dall'accumulo e progradazione di una piana costiera legata alle fasi di sollevamento e rimodellata dagli agenti esogeni. In altri termini essa mostra l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico.

Il territorio si presenta sprovvisto di forme peculiari, fatta eccezione per una serie di ripe di erosione esposte prevalentemente lungo le sponde dei corsi d'acqua. Si tratta di gradini o scarpate modellate per erosione laterale lungo le sponde di un corso d'acqua. È sempre lungo i corsi d'acqua che a tratti si trovano degli orli di scarpate che delimitano delle superfici spianate.

La rete idrografica si presenta piuttosto scarsa e caratterizzata soprattutto da corsi d'acqua a carattere torrentizio. Questo è dovuto essenzialmente alle caratteristiche geologiche delle formazioni affioranti, che mostrano una permeabilità medio-alta e all'assenza di rilievi montuosi.

In questo settore geografico e morfologico, i corsi d'acqua scorrono in ampie valli dall'aspetto rettilineo ma dagli argini non ben definiti e tutti si allineano in direzione prevalente SO-NE.

Nell'intorno dell'area di studio, a 4,5 km a Nord-Ovest scorre il "Fosso della Pila" e a 8,3 km a Sud-Est scorre il "fiume Ofanto" dall'aspetto meandriforme e recettore di corsi d'acqua affluenti minori.

L'area di studio risiede a una quota compresa tra gli 80 e 60 metri s.l.m., in un'area estesamente pianeggiante con pendenze che non superano i 2° (Fig. 7) e dista circa 13 km dalla linea di costa Adriatica.

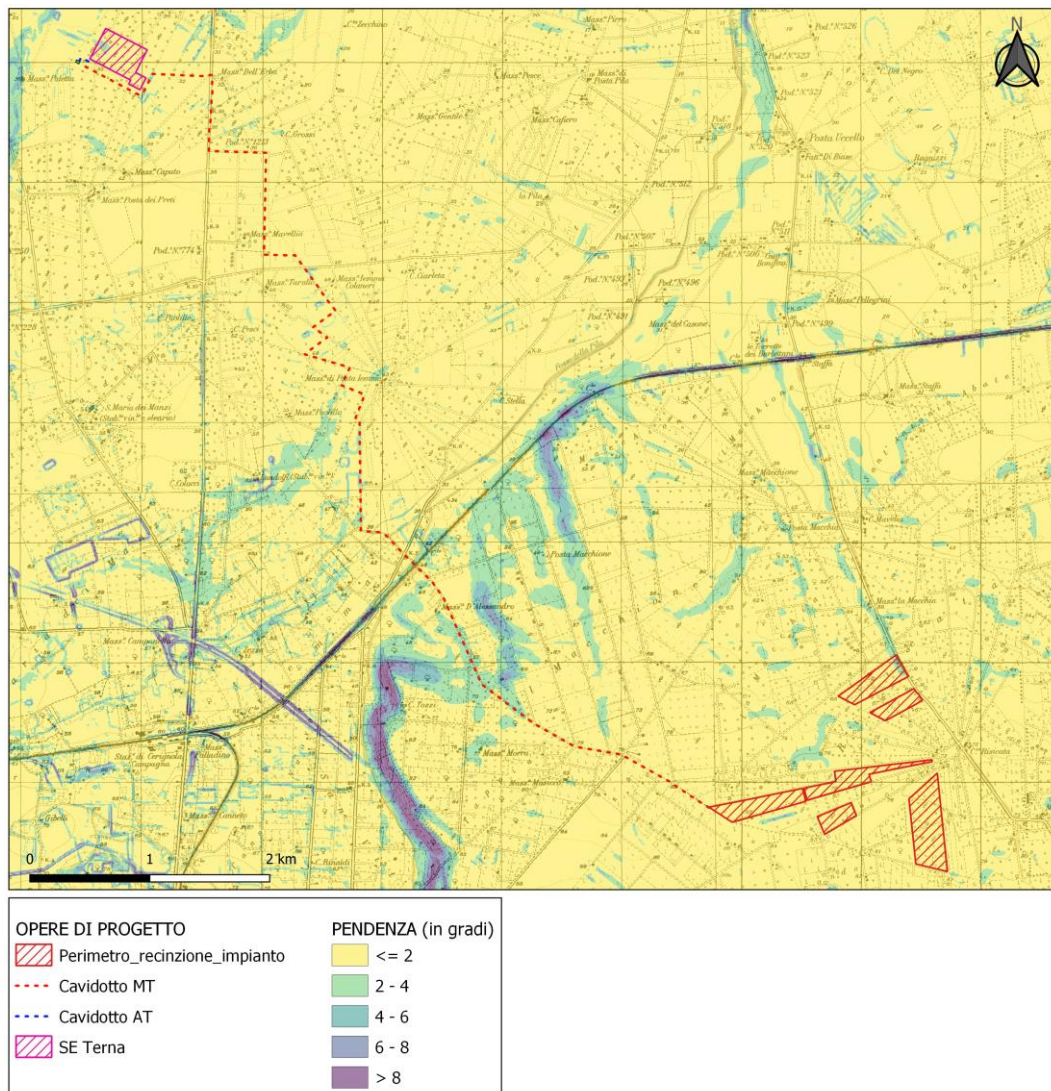


Figura 7. Carta delle pendenze, prodotta partendo da un DTM di risoluzione 8x8 metri.

L'area di connessione RTN è posta a una quota di circa 30 m.s.l.m. su un'area a bassissima pendenza (tra 0 e 4°) immergente verso N-E.



Dall'analisi morfologica, eseguita tramite lo studio delle carte aerofotogrammetriche e tramite rilievi sul terreno, non sono emersi nell'area particolari fenomeni di dissesto in atto o potenziali, tali da poter compromettere le attività progettuali.

5 IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Le particolari condizioni geologico-strutturali che caratterizzano il tavoliere di Foggia, hanno determinato la formazione di una triplice circolazione idrica sotterranea, in acquiferi con caratteristiche idrogeologiche profondamente differenti (Fig. 6). Procedendo dal basso verso l'alto, la successione si presenta nel modo seguente:

- Acquifero fessurato-carsico profondo;
- Acquifero poroso profondo
- Acquifero poroso superficiale

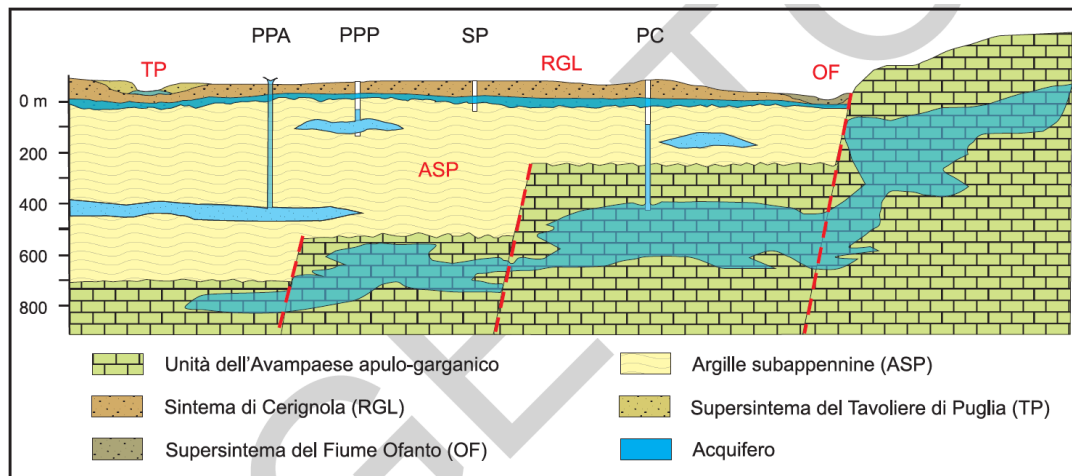
L'**acquifero fessurato-carsico profondo** trova la roccia reservoir nei carbonati del substrato prepliocenico dell'Avanfossa appenninica ed è in continuità, per il settore sud-orientale, con la falda carsica murgiana. Considerando il tipo di acquifero, la circolazione idrica sotterranea è condizionata fortemente sia dalle numerose faglie che dislocano le unità sepolte della Piattaforma Apula che dal conseguente stato di fratturazione e carsismo della roccia calcarea (Grassi & Tadolini, 1992). In prossimità del bordo ofantino, quindi poco a sud-est dell'area di studio, l'acquifero fessurato carsico profondo è alimentato dalle acque del sottosuolo murgiano (Grassi et al., 1986).

L'**acquifero poroso profondo** può rinvenirsi nei livelli sabbioso-limosi e, in minor misura nei corpi ghiaiosi, presenti a diverse altezze nella successione argillosa plio-pleistocenica (Maggiore et al., 2004). I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare localizzati a profondità variabile tra i 150 e i 500 m dal piano campagna e il loro spessore non supera le poche decine di metri. In tale contesto risulta difficile attribuire delle geometrie e una distribuzione a tali corpi acquiferi. La falda è ovunque in pressione, ma la produttività dei livelli idrici, pur mantenendo una certa variabilità, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo. In generale, la produttività diminuisce rapidamente a partire dall'inizio dell'esercizio del pozzo facendo registrare, in alcuni casi, l'esaurimento della falda.

L'**acquifero poroso superficiale** si rinviene nei depositi quaternari che ricoprono con continuità laterale le formazioni argillose pleistoceniche. Le stratigrafie di numerosi pozzi per acqua messi a disposizione da ISPRA evidenziano una successione di terreni sabbioso-ghiaiosi-ciottolosi, permeabili ed acquiferi intercalati da livelli limo-argillosi a minore permeabilità. I diversi livelli in cui l'acqua fluisce costituiscono orizzonti idraulicamente interconnessi, formando di fatto un unico sistema acquifero. Nella parte più interna prevalgono i sedimenti a granulometria grossolana e svolgono il ruolo di acquifero mentre procedendo verso la costa aumentano i sedimenti sabbioso-limosi meno permeabili che costituiscono l'acquitrando. In questo contesto l'acqua circola in condizioni freatiche nelle aree più interne ed in pressione man mano che ci si avvicina lungo la costa (Cotecchia, 1956; Maggiore et al., 2004). Il maggiore contributo all'alimentazione delle falde superficiali è dato dalle acque di



precipitazione, ma un'altra fonte di ravvenamento potrebbe essere data, secondo alcuni autori, dai corsi d'acqua che attraversano aree a substrato permeabile (Colacicco, 1953; Cotecchia, 1956; Maggiore et al., 1996).



Legenda:

PC = acquifero fessurato-carsico profondo
PPA = acquifero poroso profondo artesiano

PPP = acquifero poroso profondo in pressione
SP = acquifero poroso superficiale

Figura 8. Schema idrogeologico del Tavoliere di Puglia adattato al Foglio Cerignola (fonte: carta geologica d'Italia – Foglio 422 "Cerignola" progetto CARG)

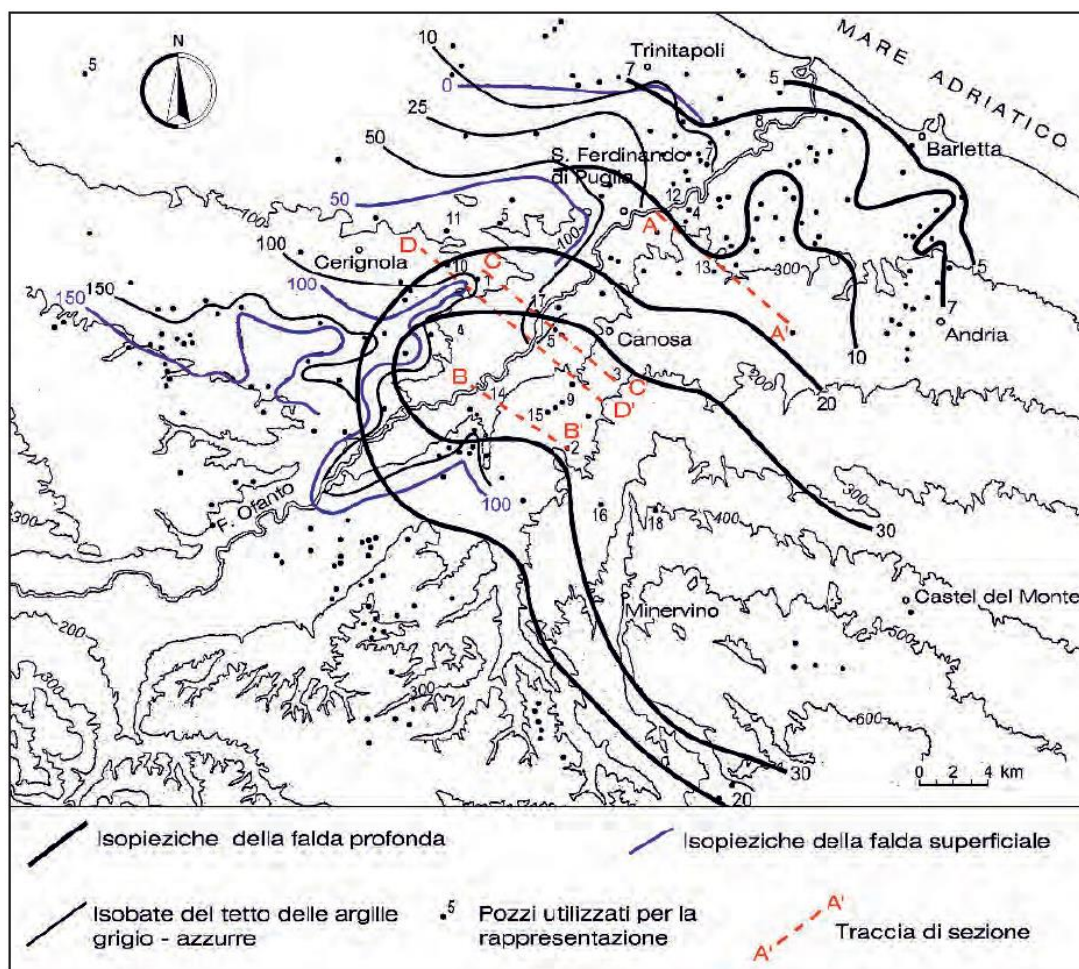


Figura 9. Andamento della superficie piezometrica della falda carbonatica profonda, della falda superficiale del Tavoliere e delle isobate del tetto delle argille dell'area posta a cavallo tra la Murgia e il Tavoliere.




Per quanto riguarda le sorgenti, nell'area di studio e nel suo intorno non si registrano venute a giorno delle acque sotterranee.




Di seguito vengono riportate la posizione, stratigrafia e profondità della falda di tre pozzi realizzati in prossimità dell'area di studio i cui dati sono messi a disposizione da ISPRA e presi dall'Archivio Nazionale delle Indagini nel sottosuolo (legge 464/1984).

Il primo (codice 199531), posizionato poco a sud dell'area di studio ha raggiunto una profondità di 35 metri, con una falda rilevata alla profondità di 28 metri da p.c. avente uno spessore di circa 6 metri; il secondo (codice 199671) posizionato a qualche centinaio di metri a nord dell'area indagata ha raggiunto una profondità di 52 metri, con una falda attestata alla profondità di 22 metri da p.c. e spessore di circa 14 metri; il terzo (codice 207270) posto a sud-est dell'area di studio ha profondità di 69 metri e falda attestata alla profondità di 35 metri da p.c..



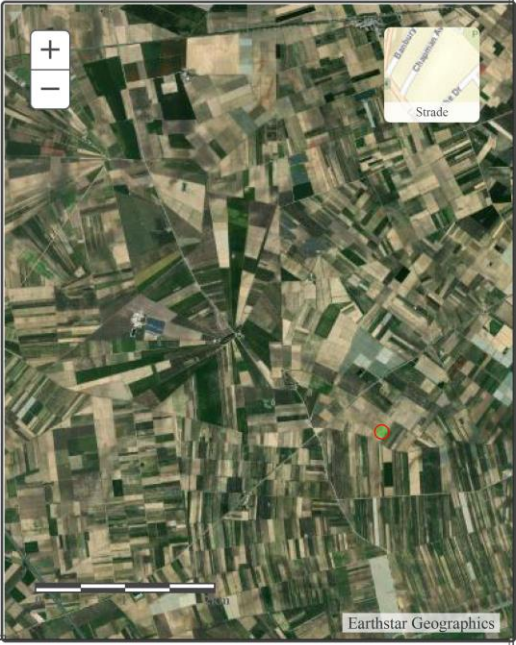
In tutte le stratigrafie si assiste alla presenza di strati argillosi alternati a strati sabbioso-arenacei. L'alternanza di questi strati a permeabilità differente permette la formazione di falde a diverse profondità e diverso spessore, con gli strati sabbioso-arenacei che fanno da *reservoir*

per le acque di infiltrazione e gli strati a prevalente composizione argillosa che fungono da acquiclude/acquitardo.

 		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale			
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)					
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
<p> Codice: 199531 Regione: PUGLIA Provincia: FOGGIA Comune: CERIGNOLA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 35,00 Quota pc slm (m): 83,00 Anno realizzazione: 2003 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 4,000 Portata esercizio (l/s): 2,000 Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 5 Longitudine WGS84 (dd): 15,966161 Latitudine WGS84 (dd): 41,305111 Longitudine WGS84 (dms): 15° 57' 58.18" E Latitudine WGS84 (dms): 41° 18' 18.40" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia </p>					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	35,00	35,00	2000	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	28,00	34,00	6,00		
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
apr/2003	28,00	34,00	6,00	4,000	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00		TERRENO NERO
2	2,00	20,00	18,00		TERRENO ARGILLOSO
3	20,00	28,00	8,00		TERRENO ARENARIA GIALLA CON STRATI DURI
4	28,00	35,00	7,00		FALDA
5	35,00	35,00	0,00		CALCARENITE ED ARENARIE

 		<p style="text-align: center;">Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</p>			
<p>Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</p>					
<p style="text-align: center;">Dati generali</p>		<p style="text-align: center;">Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</p>			
<p> Codice: 199671 Regione: PUGLIA Provincia: FOGGIA Comune: CERIGNOLA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 52,00 Quota pc slm (m): 53,00 Anno realizzazione: 1992 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 4,000 Portata esercizio (l/s): 4,000 Numero falde: 2 Numero filtri: 0 Numero piezometriche: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 9 Longitudine WGS84 (dd): 15,959769 Latitudine WGS84 (dd): 41,329839 Longitudine WGS84 (dms): 15° 57' 35.17" E Latitudine WGS84 (dms): 41° 19' 47.43" N </p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>					
<p>DIAMETRI PERFORAZIONE</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	52,00	52,00	420	
<p>FALDE ACQUIFERE</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	22,00	36,00	14,00		
2	41,00	48,00	7,00		
<p>MISURE PIEZOMETRICHE</p>					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
feb/1992	22,00	45,00	23,00	4,000	
<p>STRATIGRAFIA</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	4,00	3,00		SABBIONE GIALLO
3	4,00	10,00	6,00		ARGILLA GIALLA
4	10,00	14,00	4,00		SABBIA GIALLA CON CROSTA
5	14,00	22,00	8,00		ARGILLA GIALLA
6	22,00	36,00	14,00		SABBIA GIALLA CON CROSTA (ACQUA)
7	36,00	41,00	5,00		ARGILLA BLE
8	41,00	48,00	7,00		ARENARIA GRIGIA CON ACQUA
9	48,00	52,00	4,00		ARGILLA BLE



 		<p align="center">Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</p>			
<p align="center">Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</p>					
<p align="center">Dati generali</p>		<p align="center">Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</p>			
<p> Codice: 207270 Regione: PUGLIA Provincia: BARLETTA-ANDRIA-TRAN Comune: TRINITAPOLI Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 69,00 Quota pc slm (m): 35,00 Anno realizzazione: ND Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 14,000 Portata esercizio (l/s): 10,000 Numero falde: 0 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 3 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 9 Longitudine WGS84 (dd): 15,996719 Latitudine WGS84 (dd): 41,304281 Longitudine WGS84 (dms): 15° 59' 48.20" E Latitudine WGS84 (dms): 41° 18' 15.41" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia </p>					
<p align="center">DIAMETRI PERFORAZIONE</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	69,00	69,00	450	
<p align="center">POSIZIONE FILTRI</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	35,00	40,00	5,00	273	
<p align="center">MISURE PIEZOMETRICHE</p>					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
mag/2002	35,00	55,00	20,00	10,000	
mag/2002	35,00	41,00	6,00	4,000	
mag/2002	35,00	47,00	12,00	8,000	
<p align="center">STRATIGRAFIA</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00		TERRENO VEGETALE
2	2,00	4,00	2,00		CAPPELLO
3	4,00	9,00	5,00		SABBIA GIALLA
4	9,00	15,00	6,00		ARGILLA GIALLA
5	15,00	25,00	10,00		SABBIA GIALLA
6	25,00	37,00	12,00		SABBIA ALTERNATA A COMPATTA STR. C/FALDE
7	37,00	40,00	3,00		GHIAIA C/FALDA
8	40,00	55,00	15,00		ARGILLA GIALLA
9	55,00	69,00	14,00		ARGILLA BLE



La Carta Idrogeomorfologica della Puglia riporta i terreni interessanti l'area impianto e l'area della SE Terna come *unità prevalente componente siltoso-sabbiosa o arenitica* (Fig. 10).

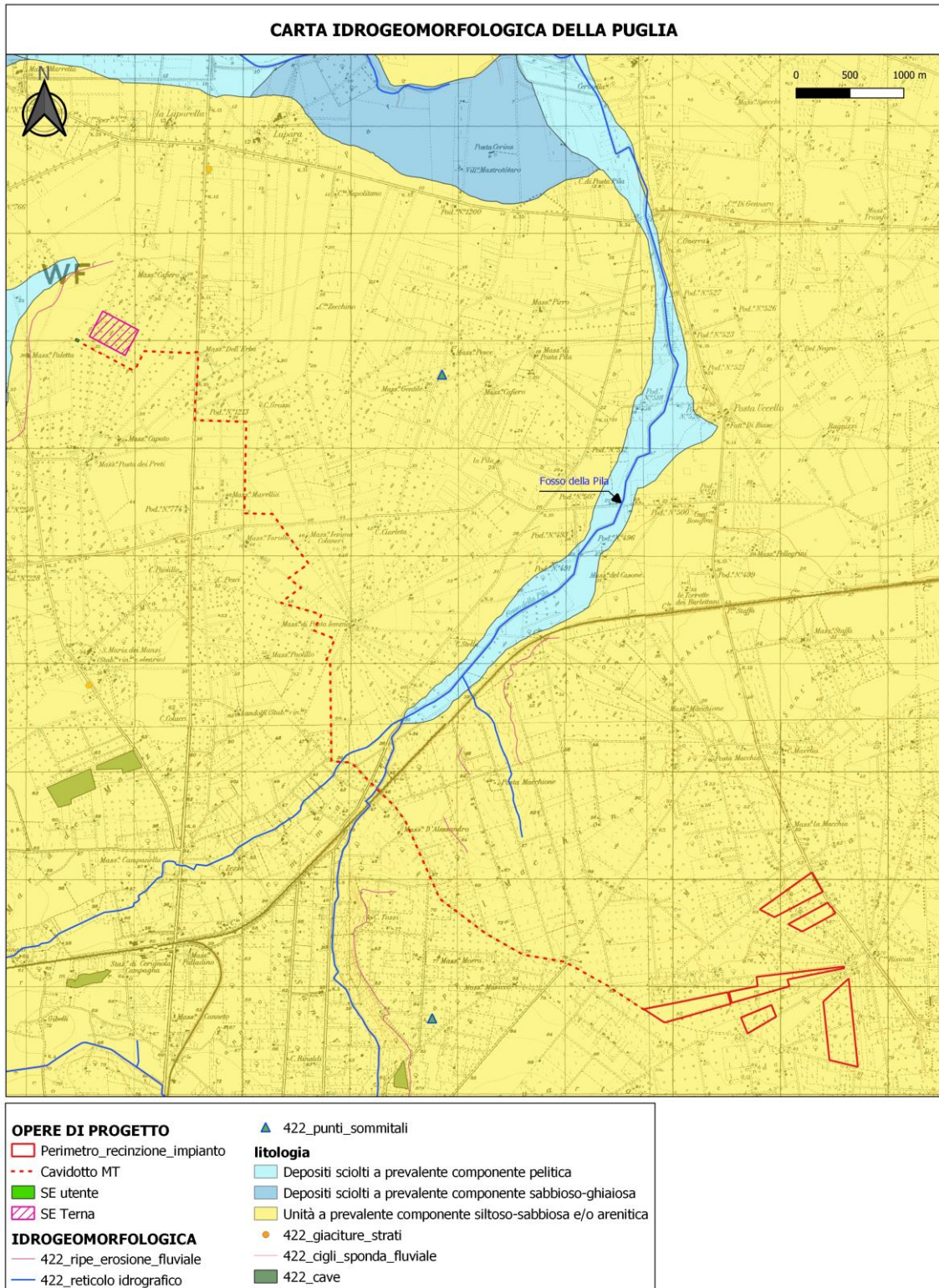


Figura 10. Carta Idrogeomorfologica della Puglia con sovrapposizione opere di progetto su base IGM in scala 1:25.000.

Da quanto riportato dalla cartografia ufficiale e dai rilievi e indagini effettuate sul terreno si può definire che i terreni caratterizzanti l'intera area di impianto hanno permeabilità medio-alta ($10^{-6} < K < 10^{-3}$, con K espresso in m/s). La permeabilità riscontrata, trattandosi principalmente di terreni sciolti, è unicamente di tipo primario sin-genetica, quindi legata alla porosità (spazi intergranulari più o meno interconnessi).

Nel contesto appena descritto, si ha una buona capacità di infiltrazione delle acque piovane a svantaggio del ruscellamento, ostacolato anche dalle bassissime pendenze e come testimoniato dalla presenza di un reticolo idrografico molto carente. In profondità, oltrepassata la zona vadosa (di estensione variabile a seconda del periodo dell'anno), persistono caratteristiche idrogeologiche idonee alla formazione di livelli di falda freatica a diverse profondità e di spessore variabile tipiche della tipologia di acquiferi multifalda.

6 COMPATIBILITÀ CON IL PAI

Dalla sovrapposizione dell'area impianto e dell'area di connessione RTN con il Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico della Puglia non risultano aree contrassegnate dal PAI come aree a pericolosità idrogeologica o idraulica nell'area di studio. Solo una porzione del cavidotto MT di collegamento tra l'impianto e la SE Terna attraversa un'area a Pericolosità geomorfologica 1 (PG1) per una lunghezza di circa 680 metri, corrispondente a "area a pericolosità geomorfologica media e moderata" (Fig. 11, vedi anche Tav. CRG_PAI.01).



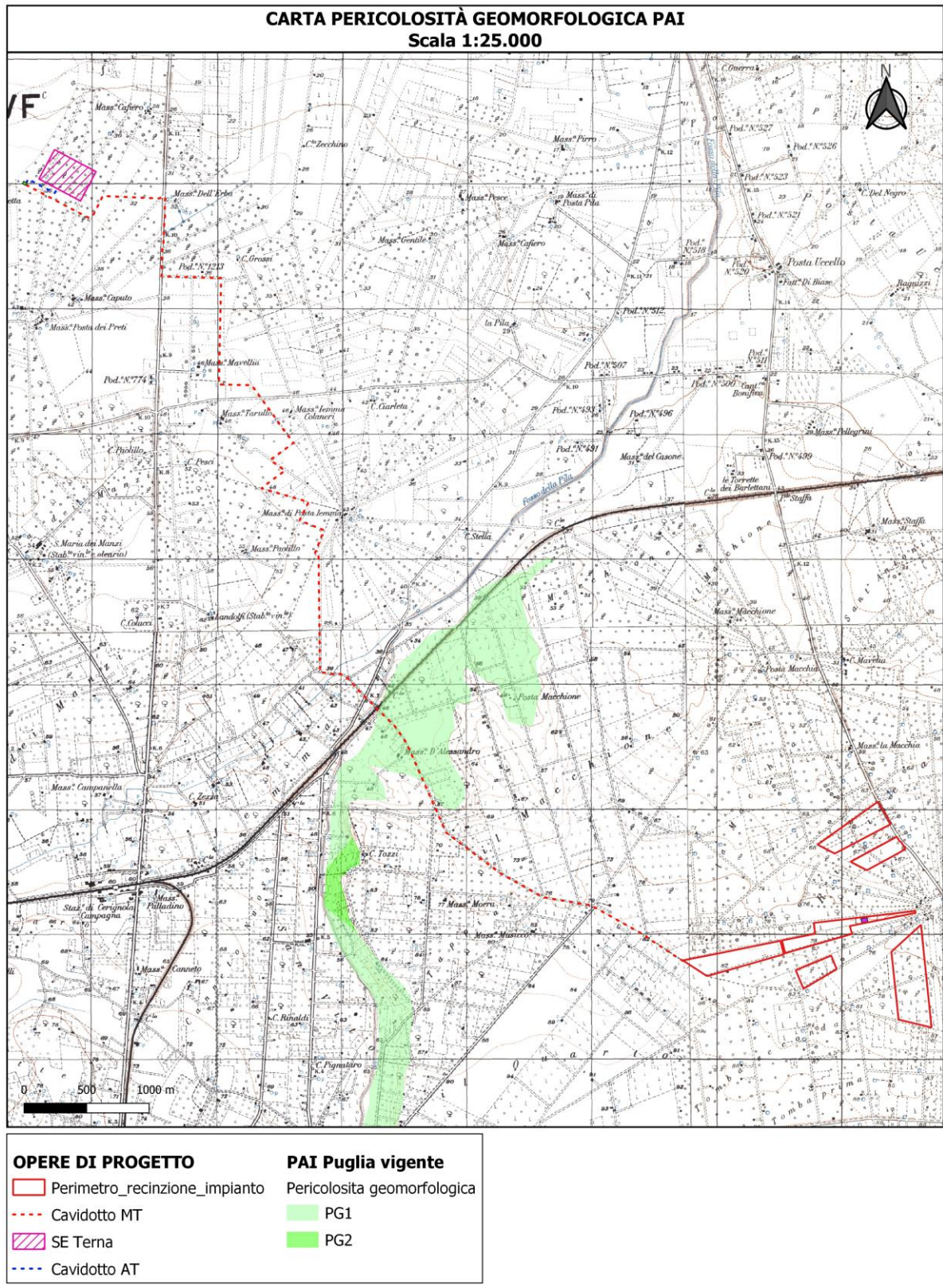


Figura 11. Carta della pericolosità geomorfologica PAI della Puglia con sovrapposizione opere di progetto su base IGM in scala 1:25.000.



7 INDAGINI SUL TERRENO

In questa fase progettuale si è programmata una campagna indagini in sito comprendente di n.3 stendimenti sismici a rifrazione di tipo MASW, con lo scopo di determinare la categoria di sottosuolo dal punto di vista sismico secondo le NTC 2018 e a dare una preliminare indicazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di sedime.

I risultati delle indagini eseguite sono riportati in coda alla presente relazione e la loro ubicazione nell'area di studio è riportata nell'allegato "Carta ubicazione indagini geognostiche".

In questa fase progettuale le indagini hanno riguardato unicamente l'area impianto e non l'area di connessione RTN in quanto il posizionamento delle opere di connessione può essere soggetto a modifiche.

8 MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE DI RIFERIMENTO

Con le indagini e i rilievi eseguiti e dall'analisi della bibliografia si è potuto avere un quadro preliminare delle caratteristiche sismiche e geotecniche medie dei terreni indagati.

Data la vastità del territorio in esame e l'uniformità dei dati riscontrati dalle indagini geognostiche in situ, si è optato per definire un unico modello geologico-tecnico dell'intera area impianto, attribuendo alle unità litotecniche i parametri sismici e geotecnici medi più cautelativi, per come riportato nella seguente serie stratigrafica e nell'allegato "Sezione Litotecnica di riferimento":

0.00 - 1.50 m Unità Litotecnica L1a: Terreno vegetale sabbioso-limoso, alterato, rimaneggiato e scarsamente consistente, a cui si associano i seguenti intervalli dei parametri geomeccanici e sismici: $\gamma = 17-18 \text{ KN/m}^3$; $\varphi = 18^\circ - 22^\circ$; $C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$; $E_y \text{ Young} = 50-80 \text{ Mpa}$; $\text{Poisson} = 0.50-0.48$; $V_s = 100-140 \text{ m/s}$.

1.50 - 3.00 m Unità Litotecnica L2a: alternanza di strati a prevalente componente sabbiosa con livelli a prevalente componente argillitica, di spessore variabile dal decimetrico al metrico, alterato e poco consistente, a cui si associano i seguenti intervalli dei parametri geomeccanici e sismici: $\gamma = 17.5-18.5 \text{ KN/m}^3$; $\varphi = 22^\circ - 25^\circ$; $C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$; $E_y \text{ Young} = 180-220 \text{ Mpa}$; $\text{Poisson} = 0.48-0.46$; $V_s = 180-210 \text{ m/s}$.

3.00 - 13.00 m Unità Litotecnica L2b: alternanza di strati a prevalente componente sabbiosa con livelli a prevalente componente argillitica, di spessore variabile dal decimetrico ad alcuni metri e con locali intervalli ghiaiosi, mediamente consistente, a cui si associano i seguenti intervalli dei parametri geomeccanici e sismici: $\gamma = 18.5-19.5 \text{ KN/m}^3$; $\varphi = 25^\circ - 30^\circ$; $C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$; $E_y \text{ Young} = 500-530 \text{ Mpa}$; $\text{Poisson} = 0.44-0.45$; $V_s = 280-320 \text{ m/s}$.



13.00 – 25.00 m Unità Litotecnica L2c: alternanza di strati a prevalente componente sabbiosa con livelli a prevalente componente argillitica, di spessore variabile dal decimetrico ad alcuni metri e con locali intervalli ghiaiosi, consistente a cui si associano i seguenti intervalli dei parametri geomeccanici e sismici: $\gamma = 19.5-20.5 \text{ KN/m}^3$; $\varphi = 30^\circ - 40^\circ$; $C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$; $E_y \text{ Young} = 1000-1500 \text{ Mpa}$; $\text{Poisson} = 0.43-0.42$; $V_s = 410-500 \text{ m/s}$.

25.00 – oo m Unità Litotecnica L2d: alternanza di strati a prevalente componente sabbiosa con livelli a prevalente componente argillitica, di spessore variabile dal decimetrico ad alcuni metri e con locali intervalli ghiaiosi, molto consistente, a cui si associano i seguenti intervalli dei parametri geomeccanici e sismici: $\gamma = 21.0-22.00 \text{ KN/m}^3$; $\varphi = > 40^\circ$; $C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$; $E_y \text{ Young} = 3000-3500 \text{ Mpa}$; $\text{Poisson} = 0.41-0.40$; $V_s = 650-800 \text{ m/s}$.

In considerazione dei valori di velocità delle onde di taglio V_s riscontrati nei vari stati emersi dalle indagini MASW si riporta di seguito i valori delle V_s equivalenti nei primi 30 metri di profondità utili alla definizione della classe di amplificazione.

MASW_01

$V_{s_{eq}} = 381 \text{ m/sec}$ al piano campagna

MASW_02

$V_{s_{eq}} = 403 \text{ m/sec}$ al piano campagna

MASW_03

$V_{s_{eq}} = 362 \text{ m/sec}$ al piano campagna

Da tali valori di $V_{s_{eq}}$ si può classificare l'area di studio come:

Categoria di sottosuolo di tipo 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 fra 360 m/s e 800 m/s."

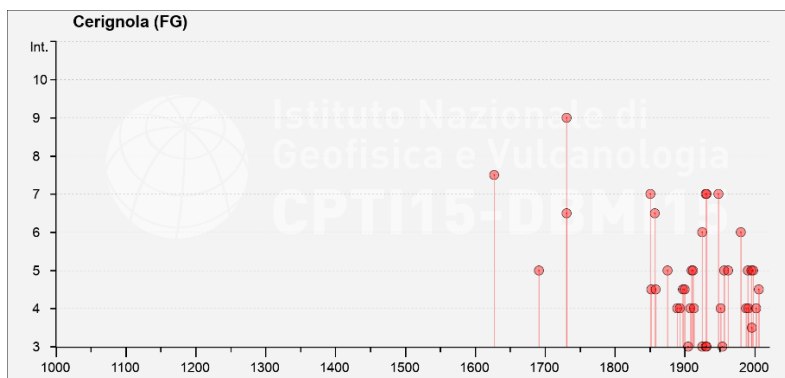
Categoria topografica T1.

La presente stratigrafia unitamente alla carta geologica costituisce il modello geologico di riferimento.

9 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

I terremoti che hanno avuto ripercussioni nell'area d'indagine dal 1000 in poi si possono osservare dalla tabella di seguito riportata, dove l'intensità è da riferirsi alla scala Mercalli Modificata che è basata sull'osservazione degli effetti superficiali causati da un terremoto.





Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	1627	07	30	10	50		Capitanata	64	10	6.66
5	1691	09	26				Tavoliere delle Puglie	1	5	4.16
9	1731	03	20	03			Tavoliere delle Puglie	49	9	6.33
6-7	1731	10	17	11			Tavoliere delle Puglie	6	6-7	4.86
7	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
4-5	1852	12	09	21	15		Gargano	12	5	4.31
6-7	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
4-5	1858	05	24	09	20		Tavoliere delle Puglie	13	4-5	4.35
5	1875	12	06				Gargano	97	8	5.86
2-3	1882	06	06	05	40		Isernino	50	7	5.20
4	1889	12	08				Gargano	122	7	5.47
NF	1892	06	06				Isole Tremiti	68	6	4.88
4	1893	01	25				Vallo di Diano	134	7	5.15
4-5	1897	05	28	22	40	02	Ionio	132	6	5.46
4-5	1900	12	23	22	30		Gargano	20	5	4.37
3	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
2	1905	11	26				Irpinia	122	7-8	5.18
NF	1908	09	16	20	15		Gargano	14	3-4	3.72
4	1908	12	28	04	20	27	Stretto di Messina	772	11	7.10
5	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
5	1912	07	02	07	34		Tavoliere delle Puglie	49	5	4.55
4	1913	10	04	18	26		Molise	205	7-8	5.35
6	1925	07	28	03	33		Tavoliere delle Puglie	6	5	4.20
3	1925	08	25	05	10		Gargano	14	5	4.92
7	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
3	1930	11	06	21	56		Alta Murgia	16	5	4.41
3	1931	05	10	10	48	55	Irpinia	43	5-6	4.64
7	1931	12	03	09	32		Tavoliere delle Puglie	12	6	4.59
7	1948	08	18	21	12	20	Gargano	58	7-8	5.55
4	1951	01	16	01	11		Gargano	73	7	5.22
3	1954	08	06	19	21	12	Potentino	13	5-6	5.18
NF	1955	02	09	10	06		Gargano	31	6-7	5.05
NF	1955	07	12	04	02		Gargano	8	5	4.16



Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
2	1956	01	09	00	44		Materano	45	6 4.72
5	1956	09	22	03	19	39	Gargano	57	6 4.64
2-3	1962	01	19	05	01	25	Gargano	31	5 4.42
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9 6.15
NF	1978	09	24	08	07	44	Materano	121	6 4.75
6	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
NF	1984	04	29	05	02	59	Umbria settentrionale	709	7 5.62
4	1988	04	26	00	53	4	Adriatico centrale	78	5.36
NF	1990	02	18	20	10	4	Adriatico centrale	46	4.24
5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375	5.77
4	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7 5.08
2-3	1992	11	05	13	34	2	Gargano	32	5 4.34
5	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6 5.15
3-4	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6 4.90
5	1998	04	07	21	36	0	Valle dell'Ofanto	45	5 4.31
4	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7 5.72
NF	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5 4.44
NF	2004	09	03	00	04	1	Potentino	156	5 4.41
4-5	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384	4.64
2	2006	12	10	11	03	4	Adriatico centrale	54	4.48

Figura 12 – Storia sismica del Comune di Cerignola tratta dal Database Macrosismico Italiano redatto dall'INGV

Con l'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 allegato 1 e successive modifiche, il territorio di Cerignola viene classificato come Zona sismica 2 con $0,15 \leq a_g \leq 0,25$. Di seguito viene riportato il record attinente al Comune di Cerignola (Elenco dei Comuni ad elevato rischio sismico ai sensi dell'art. 12 della Legge 27.12.1997, n. 449) contenuto nell'Ordinanza del P.C.M. del 12-06-1998 "Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio Nazionale".

Codice ISTAT	Regione	Provincia	Comune	Popolazione residente (1991)	Abitazioni (1991)	Grado di Sismicità	Data di classificazione	Indice di rischio	Intensità massima osservata (MCS)
16071020	PUGLIA	FOGGIA	CERIGNOLA	55052	21776	9	07/03/81	0,0520	9

Tab.1 – Comune di Cerignola

L'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", nell'Allegato 1B "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale", riporta in carta, per territorio nazionale, la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/s). In tale elaborato l'area di sedime è compresa nel tratto di territorio comunale di Cerignola ricadente nella fascia di accelerazione: $0,150 < a_{max} < 0,175$.



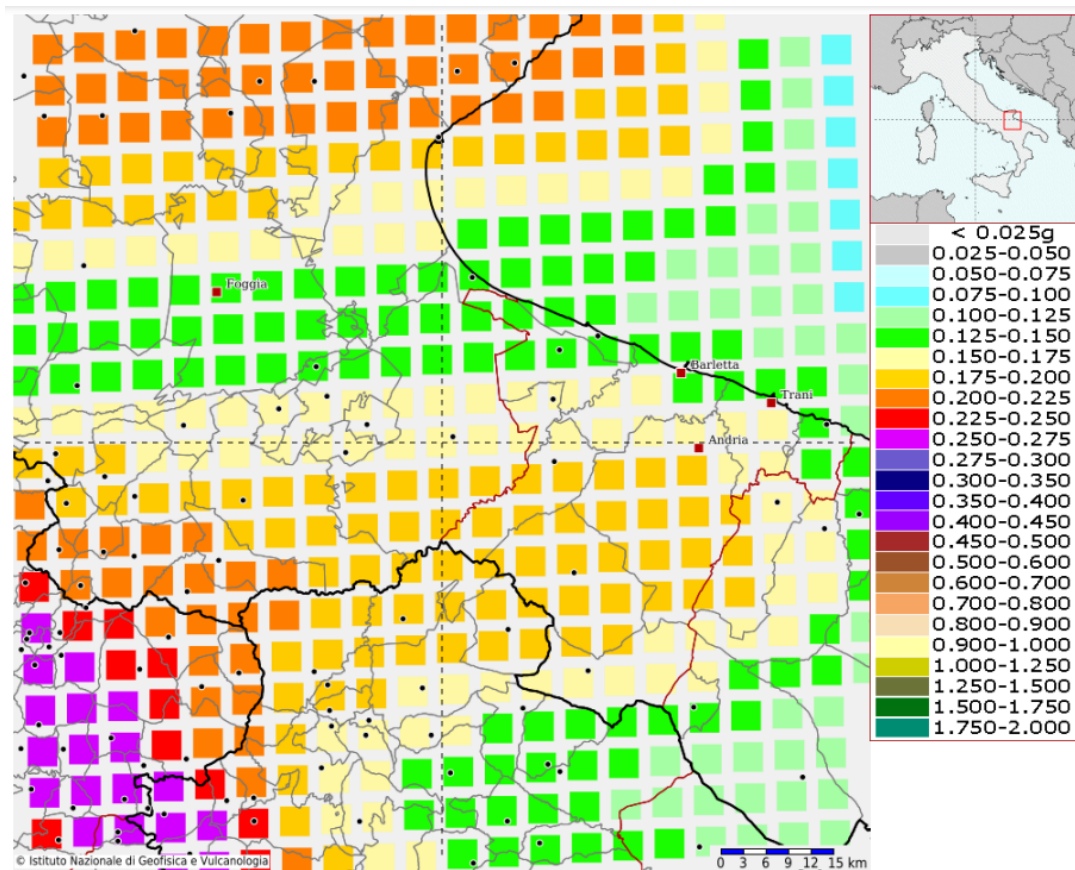


Figura 13. Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004) Informazioni sul nodo con ID: 31227 - Latitudine: 41.260 - Longitudine: 15.885

Il D.M. del 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”, nell’Allegato B: “Tabelle dei parametri che definiscono l’azione sismica”, fornisce, per 10.751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno TR (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c da utilizzare per definire l’azione sismica nei modi previsti dalle NTC.

Per l’area di studio (ED50: 41.314080, 15.969824) i parametri che definiscono l’azione sismica sono i seguenti:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c [s]
Operatività (SLO)	30	0,041	2,536	0,278
Danno (SLD)	50	0,053	2,559	0,305
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,148	2,548	0,417
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,201	2,506	0,427

Dove: a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T^*c il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

10 CONCLUSIONI

A seguito degli studi svolti è stato possibile ottenere un quadro dell'area di progetto, i cui risultati sono sintetizzati nei seguenti punti:

- Per quanto concerne le norme tecniche di attuazione del Piano Stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (PAI), emanate dall'Autorità di Bacino della Puglia, non risultano aree contrassegnate dal PAI come aree a pericolosità idrogeologica o idraulica nell'area di studio. Solo una porzione del cavidotto MT di collegamento tra l'impianto e la Stazione Utente attraversa un'area a Pericolosità geomorfologica 1 (PG1) per una lunghezza di circa 680 metri, corrispondente a "area a pericolosità geomorfologica media e moderata".
- La stratigrafia dei terreni affioranti nell'area è caratterizzata da depositi di età Pleistocenica costituiti da sabbie medie e fini con intercalazioni limoso-argillose. Il grado di consistenza aumenta con la profondità;
- Tramite le indagini in situ eseguite si sono determinate le caratteristiche geolitologiche, geomeccaniche preliminari e sismiche dei terreni di sedime, con il quale è stato determinato il modello geologico preliminare;
- Dall'analisi delle caratteristiche litologiche, geomeccaniche, topografiche, sismiche il terreno in progetto viene definito con categoria di sottosuolo **B** e categoria topografica **T1**;
- Non sono stati rilevati particolari fenomeni di dissesto in atto o potenziali all'interno dell'area tali da compromettere la realizzazione dell'opera di progetto.
- Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D. M. Infrastrutture 17.01.18 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" e soddisfa i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica per cui costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione a edificare. In corso d'opera si dovrà controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il modello geotecnico ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

In virtù delle informazioni oggi acquisite e secondo il modello geologico di riferimento, si può affermare che il sito in esame risulta essere idoneo alle finalità progettuali.

Geol. Emanuele Bonanno, PhD

Ordine dei Geologi della Calabria n° 1275



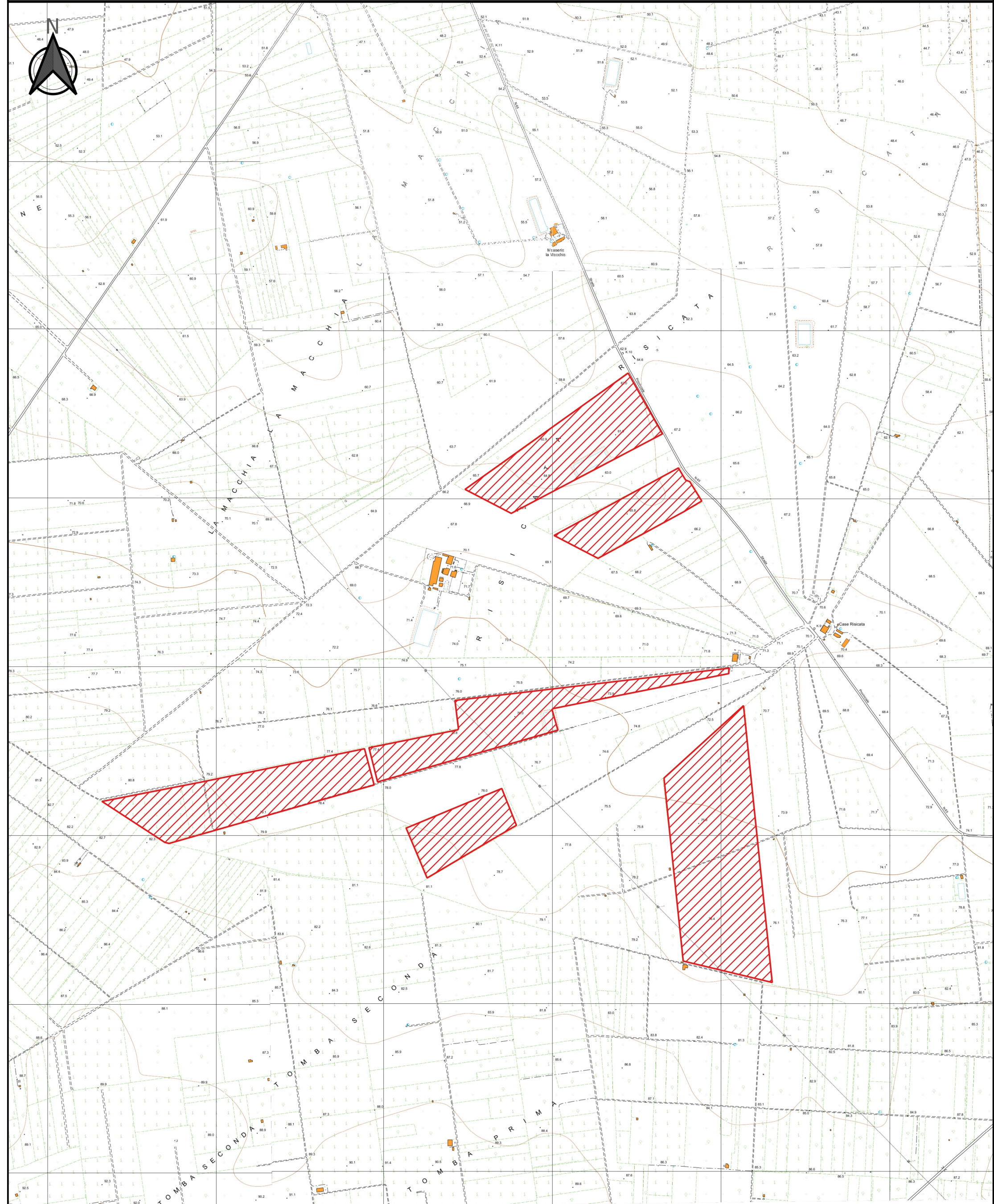
11 ALLEGATI

- Stralcio Carta Topografica IGM, scala 1:25.000;
- Stralcio Carta Tecnica Regionale – Area impianto, scala 1:10.000;
- Stralcio Carta Tecnica Regionale – Area connessione RTN, scala 1:5.000;
- Carta ubicazione indagini geognostiche, scala 1:5.000;
- Sezione Litotecnica di riferimento, scala 1:100.



STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE - AREA IMPIANTO

Scala 1:10.000



0 500 1000 m

 Perimetro_recinzione_impianto

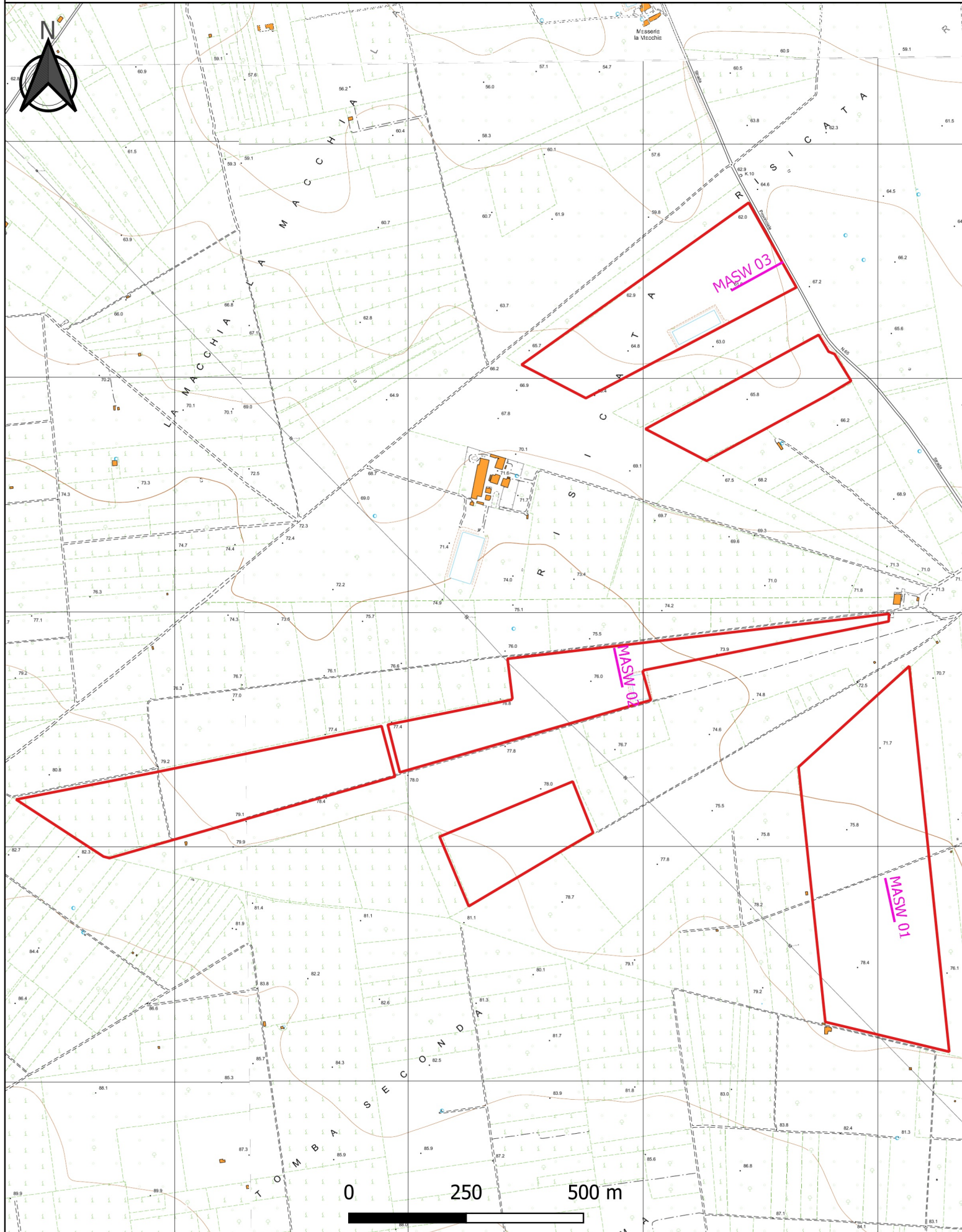
CARTA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Scala 1:10.000

MASW

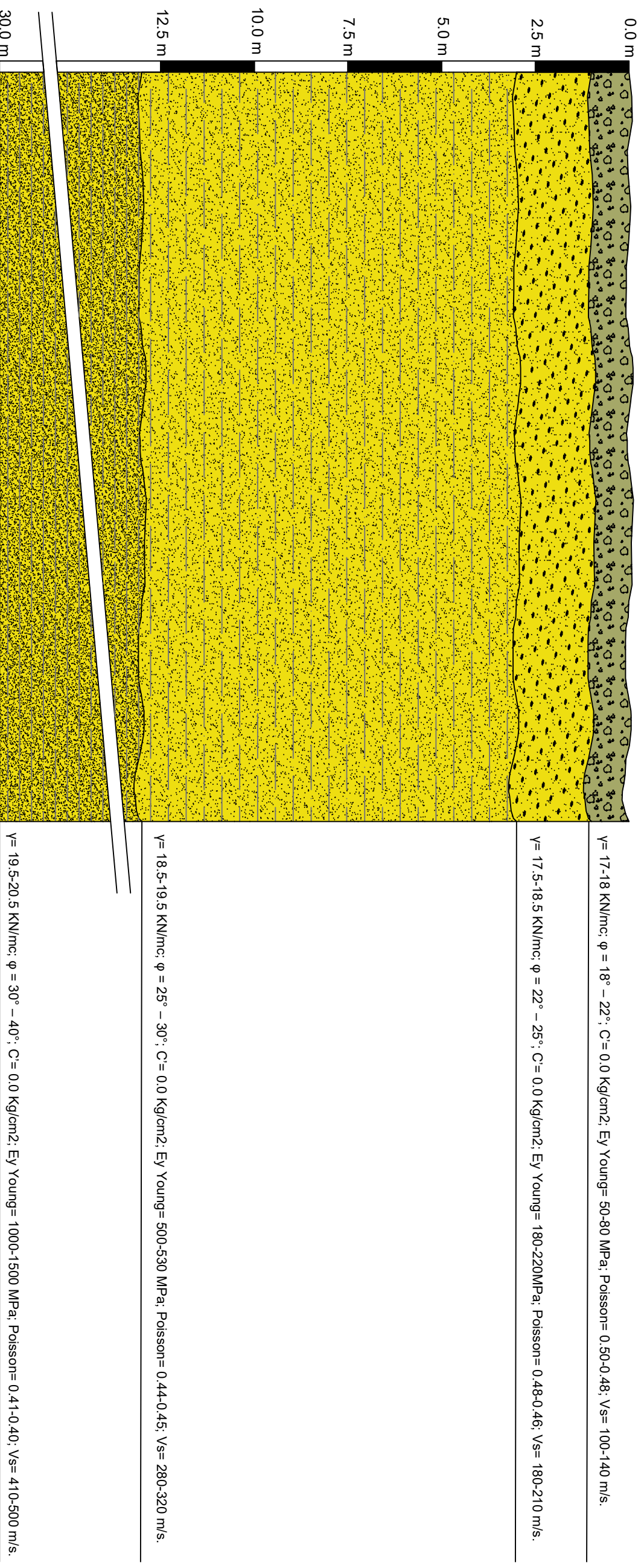
Stendimento sismico MASW

Perimetro impianto



SEZIONE LITOTECNICA DI RIFERIMENTO

Scala 1:100



12 REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE





G. & G.I.S.
Geological & Geophysical Investigation Service

Geological & Geophysical Investigation Service
del Dott. Geologo Potenza Galileo
Via dei Gerani, 59/B - 85100 - Potenza - (PZ)
E-Mail: galileopz@virgilio.it - Cell. - 3207644905
C.F. : PTN GLL 71C20G942V P.I. : 01677970764

**REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA
COMUNE CERIGNOLA**

Progetto per la realizzazione di un parco agrovoltaiico per la produzione di energia elettrica, delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili - località Risicata, Comune di Cerignola (FG)

**DITTA ESECUTRICE INDAGINI
GEOFISICHE**



G. & G.I.S.
Geological & Geophysical Investigation Service

Geological & Geophysical Investigation Service
del Dott. Geologo Potenza Galileo
Via dei Gerani, 59/B - 85100 - Potenza - (PZ)
E-Mail: galileopz@virgilio.it - Cell. - 3207644905
C.F. : PTN GLL 71C20G942V P.I. : 01677970764

Data: Dicembre 2021

Il committente :

RINNOVABILI SUD DUE S.R.L.,
VIA DELLA CHIMICA 103, 85100 POTENZA
P.IVA: 02079470767

IL Tecnico:

Dott. Geol Galileo Potenza

UBICAZIONE:

Comune di Cerignola (FG)

➤ **INDAGINE SISMICA ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018**

INDICE

1 - PREMESSA3

2 - DESCRIZIONE DELLE PROVE GEOFISICHE IN SITO.....4

3 - PROSPEZIONE SISMICA MASW5

 3.1 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 3.....7

 3.2 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 4.....11

 3.3 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 5.....15

4 – VALUTAZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE19

1 - PREMESSA

Nel sito oggetto di studio, in merito al progetto in oggetto, è stata eseguita una campagna d'indagini geofisiche dalla ditta **Geological & Geophysical Investigation Service del Dott. Geologo Potenza Galileo Via dei Gerani, 59/B - 85100 - Potenza - (PZ)**.

La presente relazione di indagini indirette relaziona sulle opportune e puntuali indagini effettuate in sito, al fine di determinare le caratteristiche sismiche di sito e fisicomeccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo dei diversi punti investigati.

Allo scopo di localizzare le aree più significative e successivamente:

- verificare eterogeneità significative (variazioni litostratigrafiche);
- caratterizzare i principali parametri geologico-sismici di sito ove sia richiesta una elevata risoluzione e precisione spaziale;
- determinare i parametri geotecnici dei terreni di fondazione;

nel sito oggetto di studio si è proceduto ad analisi e confronti di inversioni con metodi di array sismico, mediante l'acquisizione complessiva di:

- **N 3** stendimenti sismici MASW, per la determinazione della curva di dispersione Multichannel Analysis of Surface Waves metodologia che consente di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love;

Le misure sismiche effettuate ed i parametri calcolati con la strumentazione utilizzata in questo lavoro, il "Sismografo multicanale digitale SoilSpy Rosina", utilizzando tecniche di registrazione passive e attive, possono essere utilizzati nell'ambito della nuova normativa vigente in materia di costruzioni ("Nuove Norme tecniche per le costruzioni", D.M. 17 gennaio 2018), anche per quanto riguarda le opere di fondazione, sostegno e scavo.

Per la caratterizzazione di tutti gli elementi utili alla esatta interpretazione dei requisiti **sismo-stratigrafici** e di **amplificazione** di sito, si è proceduto ad una campagna di indagini multidisciplinare che ha consentito, attraverso la correlazione dei diversi dati, di limitare il numero di incertezze e di delineare un modello di sottosuolo affidabile.

2 - DESCRIZIONE DELLE PROVE GEOFISICHE IN SITO

Nel sito oggetto di studio, è stato realizzato uno stendimento multicanale con strumentazione SoiSpy Rosina 25 canali, effettuato distanziando i geofoni di 5.0 m l'uno dall'altro e con geometria a lineare. Sullo stendimento è stata effettuata una prova di sismica attiva di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), utilizzando geofoni per la misurazione delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s). La prospezione, denominata MASW 1, lunga 60.00 m, è stata posizionata in campo in direzione circa N - S (vedi Planimetria indagini allegata). Per la tecnica MASW, gli scoppi, sono stati ottenuti mediante percussione con mazza da 10 Kg verticalmente su piastra metallica. Gli scoppi sono stati posizionati in testa allo stendimento e a circa 5 m dal geofono n° 1.

La metodologia MASW consente di ottenere un modello verticale delle V_s , a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love contenute nel segnale provocato dalle energizzazioni.

Dal segnale registrato sono stati ricavati i grafici di dispersione frequenziale relativi ad ogni Staking, ed il piking è stato eseguito manualmente al centro della curva di dispersione.

Le curve di dispersione, ottenute mediante le procedure sopra citate, sono state invertite creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e Love nel modo fondamentale e nei modi superiori, in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alla curva sperimentale.

3 - PROSPEZIONE SISMICA MASW

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

Moto del segnale sismico

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

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

Onde di Rayleigh – “R”

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

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione.

La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

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

Modi di vibrazione

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

Profondità di indagine

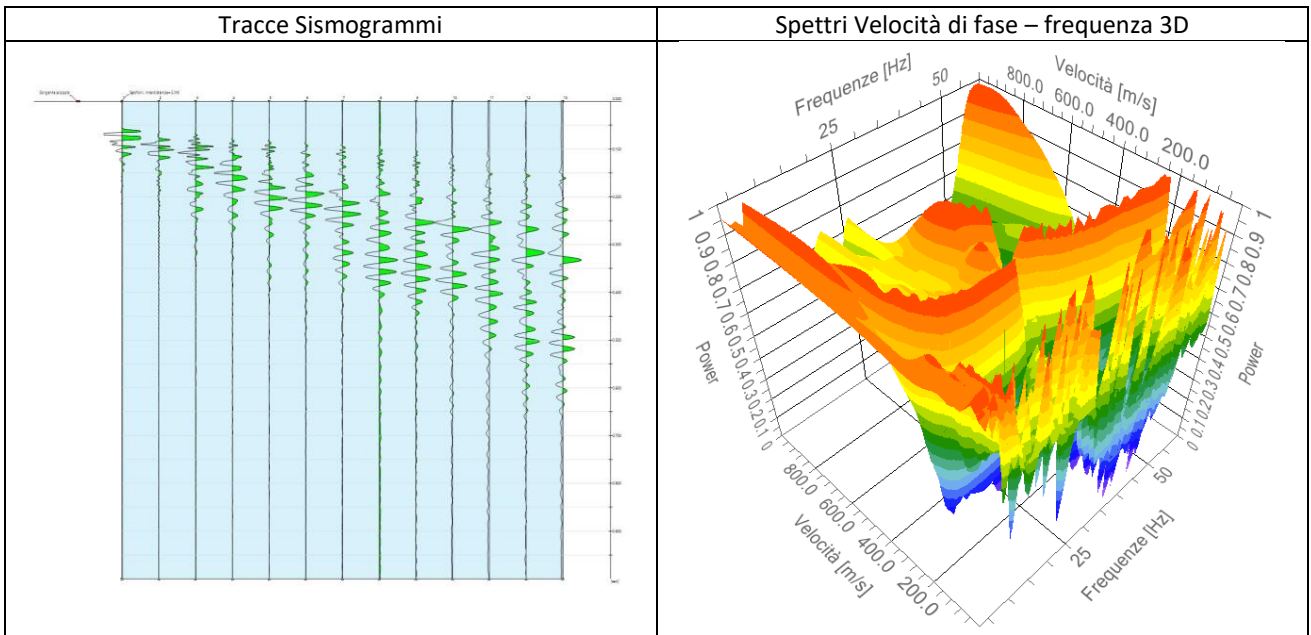
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

3.1 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 3

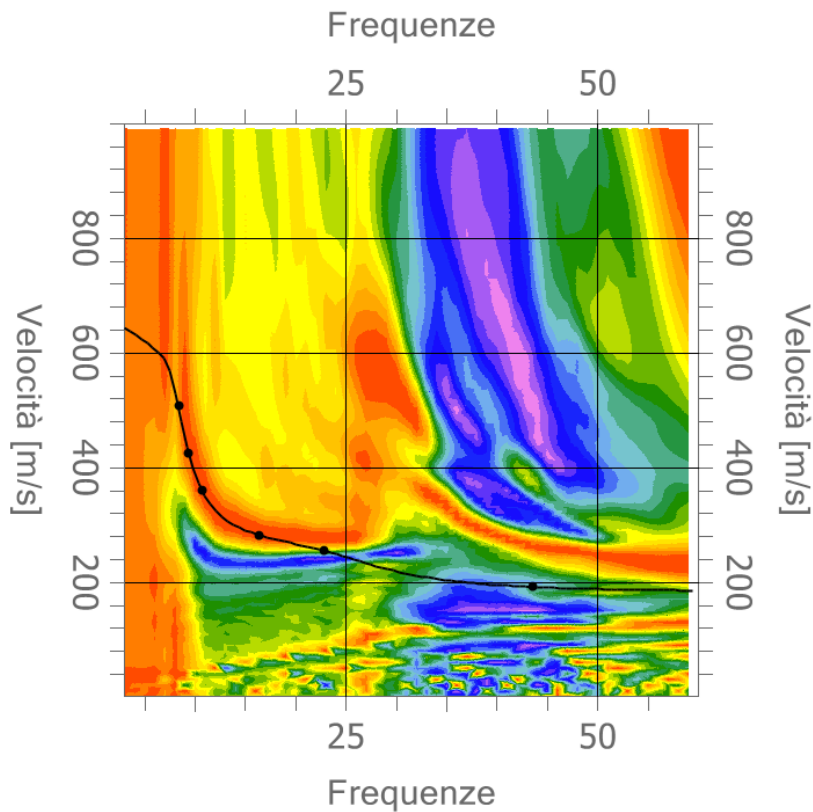


Durata registrazione: 0h00'02". Freq. campionamento: 1024 Hz

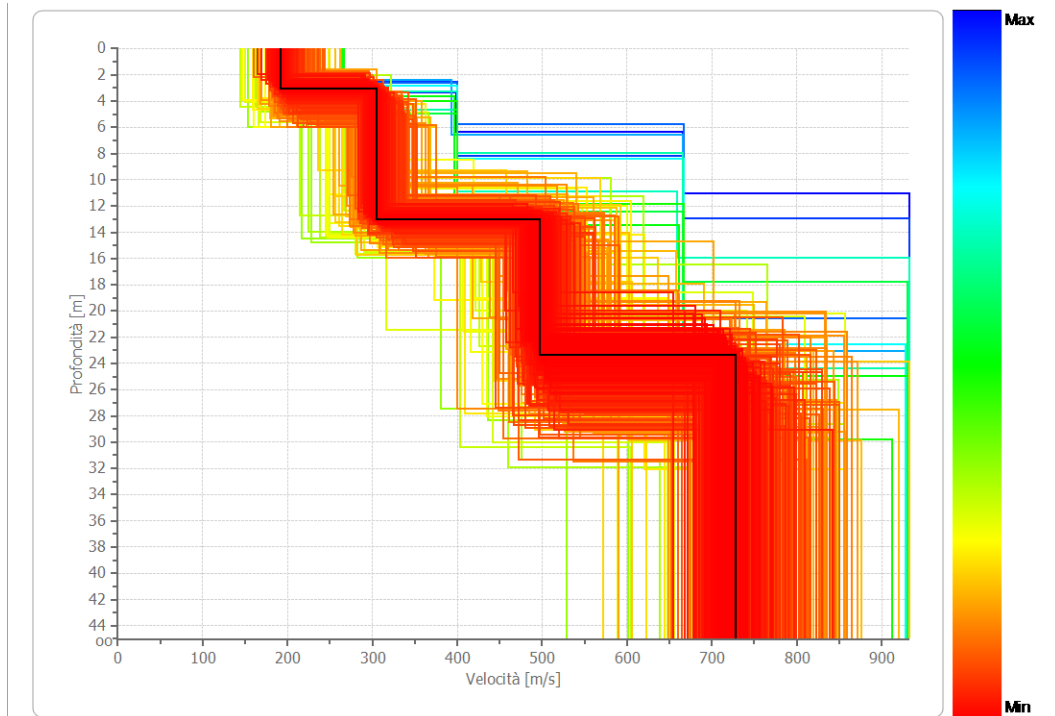
Array geometry (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 m.



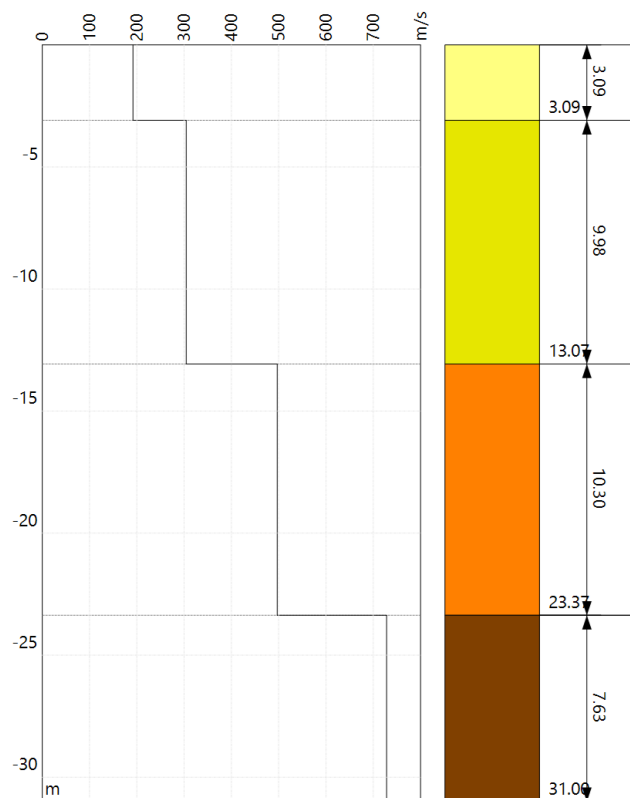
Spettro velocità di fase-frequenza (curva di dispersione)



PROFILO DI VELOCITA' Vs



STRATIGRAFIA SISMICA



RISULTATI	
Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	381
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici empirici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.09	3.09	191	978	1800	0.48	66	1723	1635	196
2	13.07	9.98	304	1009	1900	0.45	176	1936	1702	510
3	23.37	10.30	496	1418	2000	0.43	493	4021	3363	1412
4	oo	oo	728	1784	2100	0.40	1113	6683	5198	3119

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

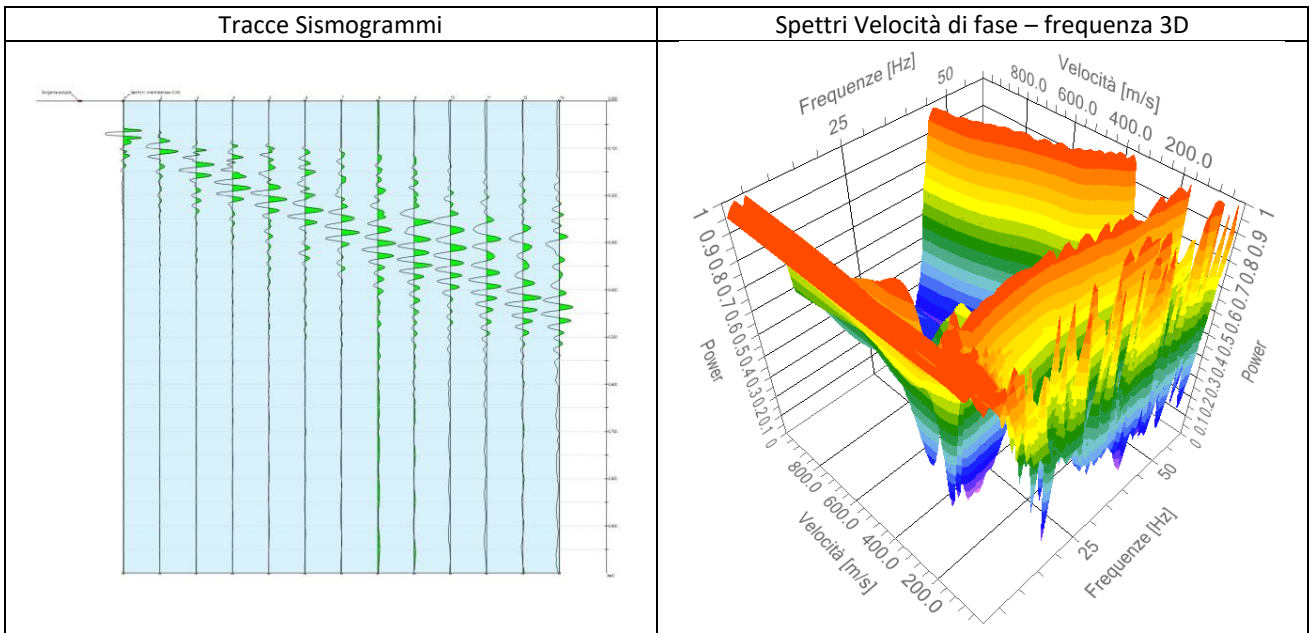
Ey: Modulo di Young;

3.2 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 4

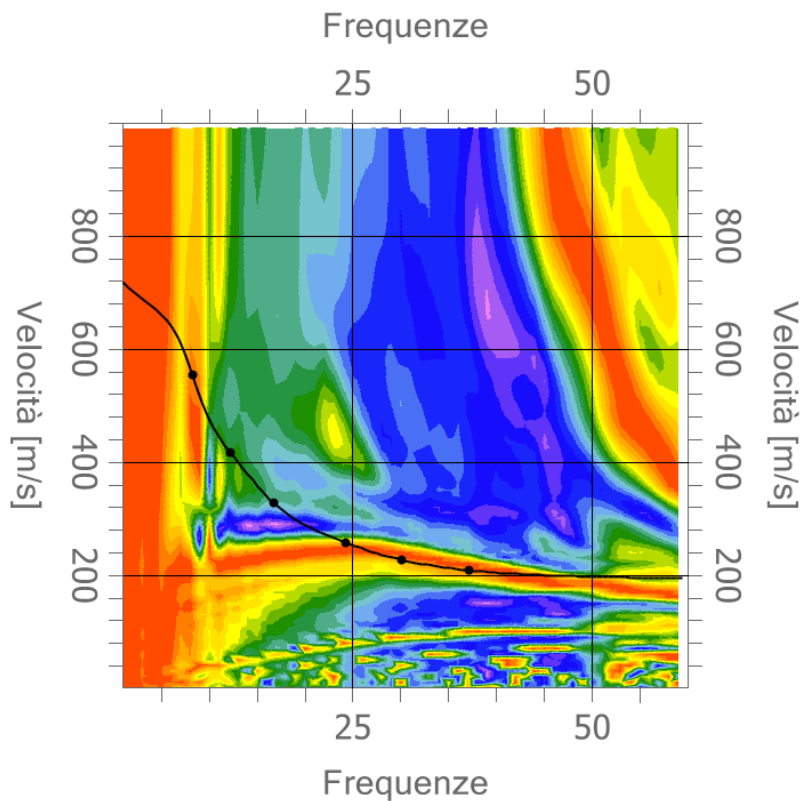


Durata registrazione: 0h00'02". Freq. campionamento: 1024 Hz

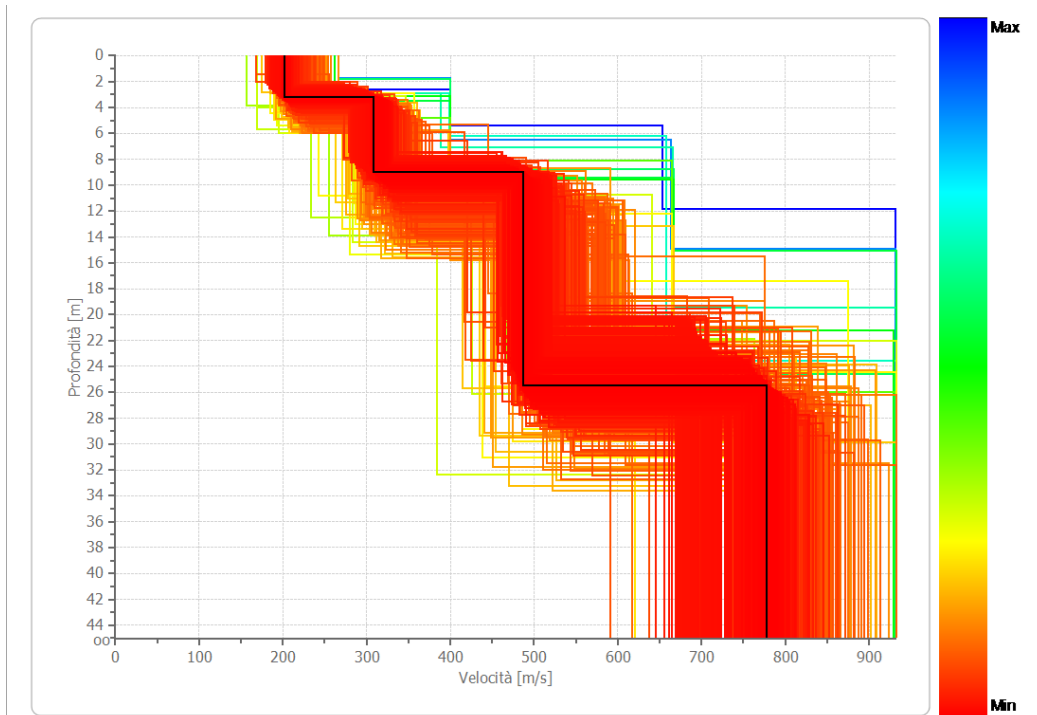
Array geometry (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 m.



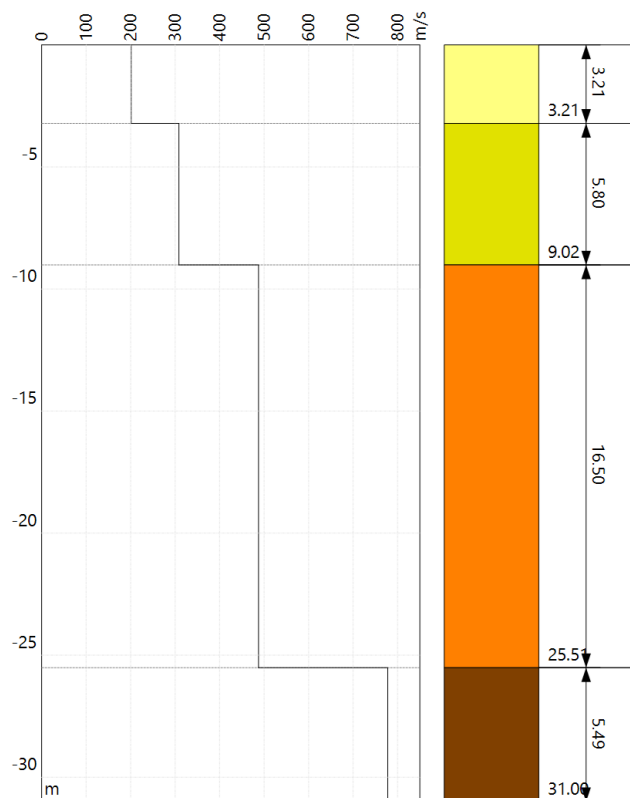
Spettro velocità di fase-frequenza (curva di dispersione)



PROFILO DI VELOCITA' Vs



STRATIGRAFIA SISMICA



RISULTATI	
Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	403
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici empirici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.21	3.21	201	1026	1800	0.48	73	1897	1800	216
2	9.02	5.80	308	1023	1900	0.45	180	1988	1747	524
3	25.51	16.50	487	1390	2000	0.43	475	3867	3234	1358
4	oo	oo	777	1905	2100	0.40	1270	7624	5929	3558

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

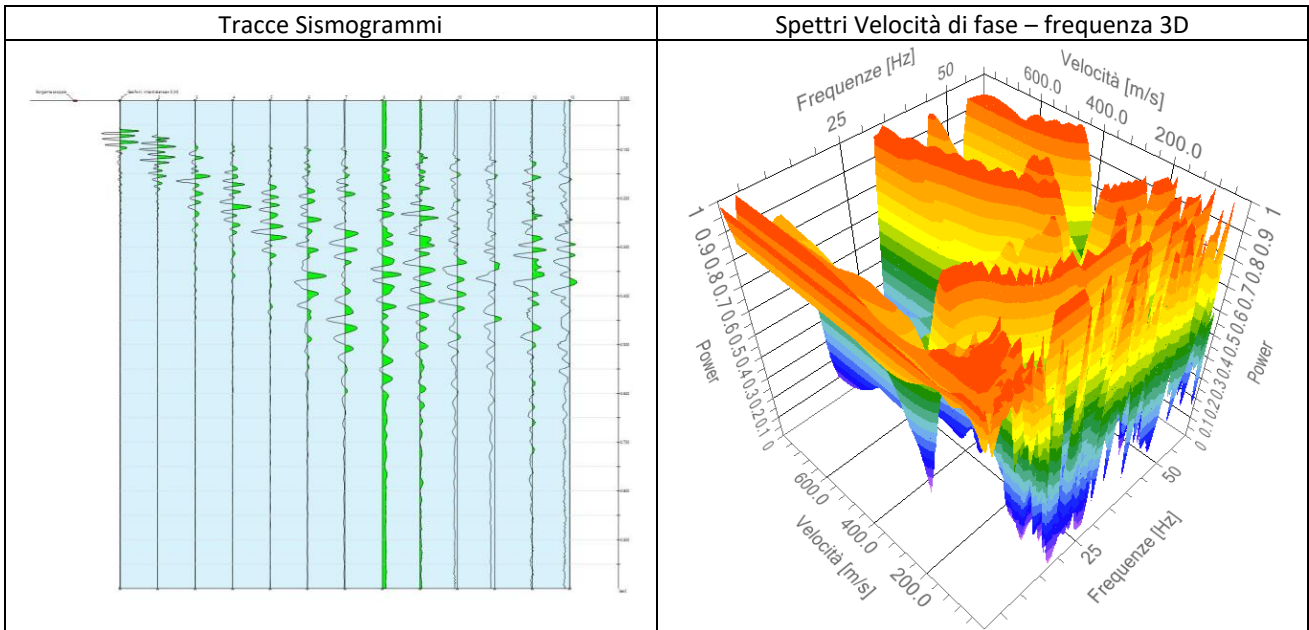
3.3 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 5



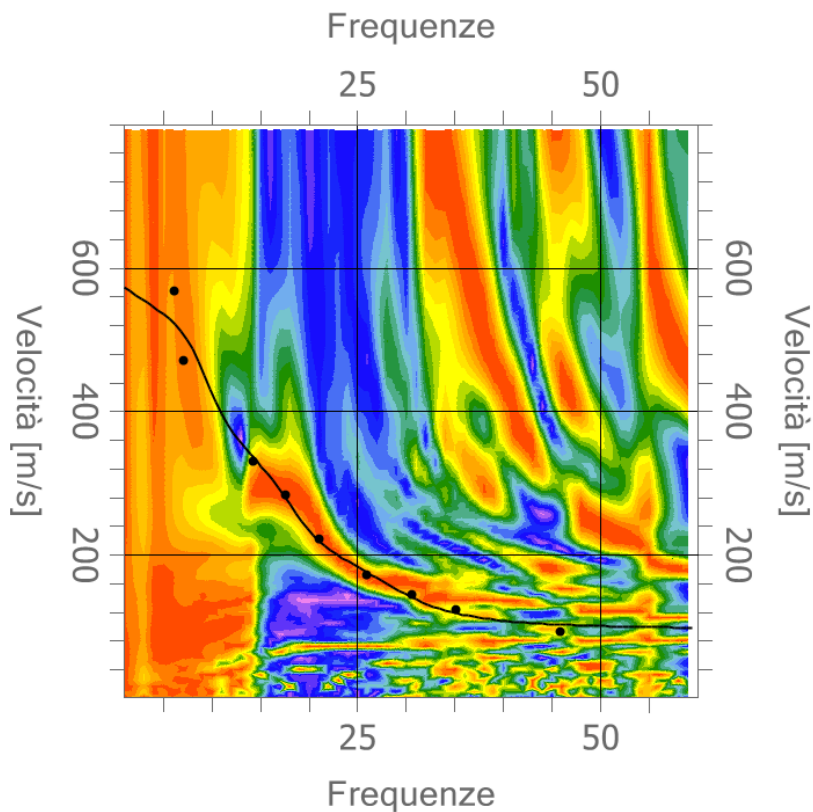
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL INVESTIGATION SERVICE DEL DOTT. GEOLOGO POTENZA
 GALILEO - VIA DEI GERANI 59/B - 85100 - POTENZA - (PZ) -
 E-MAIL..GALILEOPZ@VIRGILIO.IT - CELL. - 3207644905
 C.F. : PTN GLL 71C20G942V P.I. : 01677970764

Durata registrazione: 0h00'02". Freq. campionamento: 1024 Hz

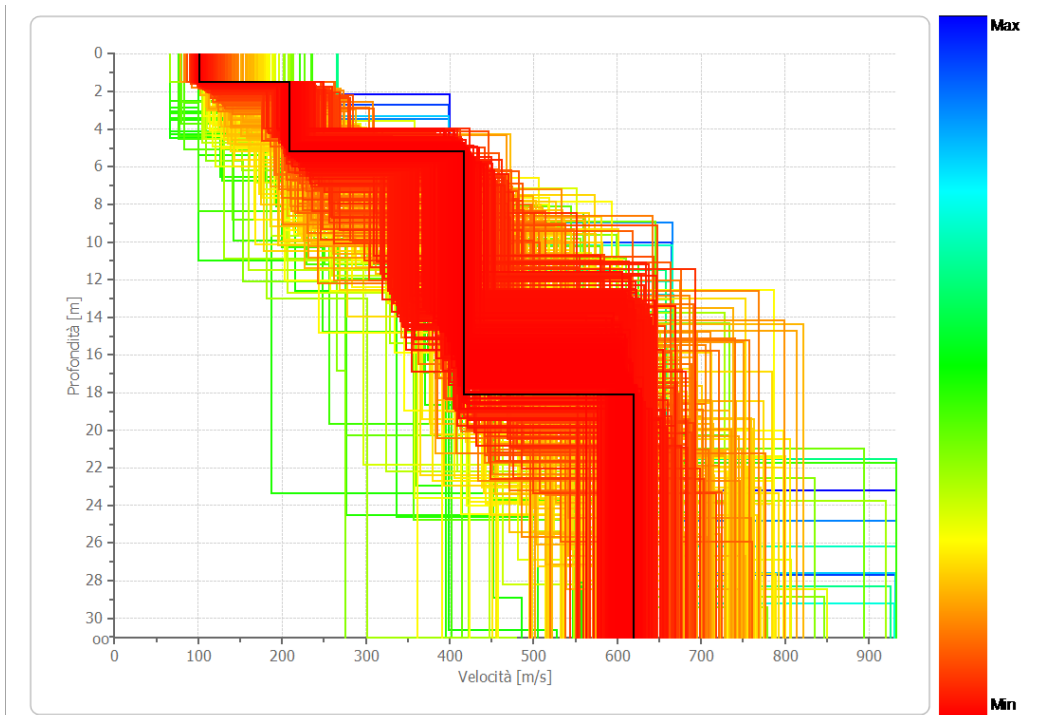
Array geometry (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 m.



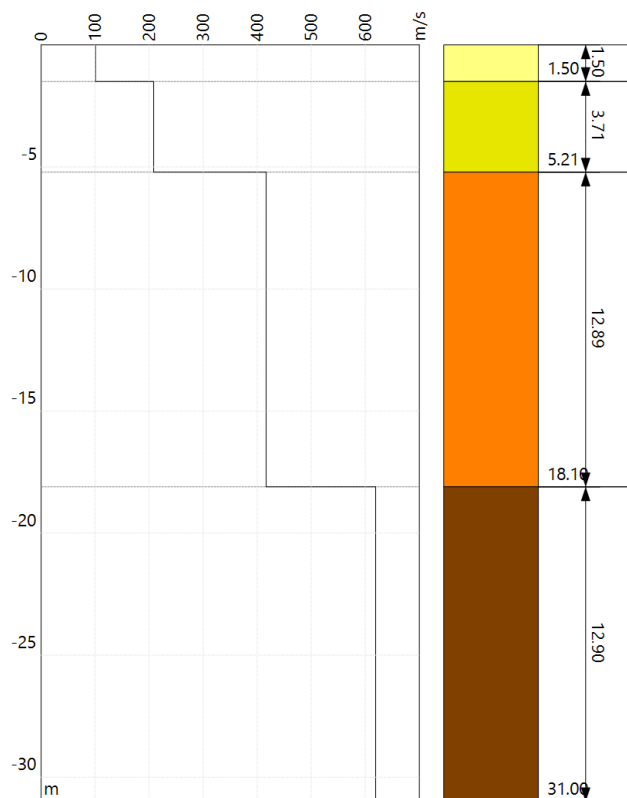
Spettro velocità di fase-frequenza (curva di dispersione)



PROFILO DI VELOCITA' Vs



STRATIGRAFIA SISMICA



RISULTATI	
Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	362
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici empirici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.50	1.50	100	513	1800	0.48	18	475	451	54
2	5.21	3.71	208	691	1900	0.45	82	907	797	239
3	18.10	12.89	416	1188	2000	0.43	346	2824	2362	992
4	oo	oo	619	1516	2100	0.40	805	4830	3756	2254

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

4 – VALUTAZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE

I profili sismici MASW sono stati realizzati nelle aree di maggiore interesse per la committenza, così come indicato nelle planimetrie allegate, con l'intento di ricostruire l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo ed individuare lo spessore di ogni singolo sismostrato.

I profili di velocità delle onde di taglio risultante dall'indagine MASW, evidenzia la presenza delle diverse unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

Il profilo sismico, denominato MASW 3, è stato realizzato nell'area di interesse così come indicato nella planimetria allegata, con l'intento di ricostruire l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo ed individuare lo spessore di ogni singolo sismostrato.

Il profilo di velocità delle onde di taglio risultante dall'indagine **MASW 3**, evidenzia la presenza di quattro unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- **primo sismostrato** costituito prevalentemente da terreno vegetale e primo sottosuolo alterato, con spessore medio di circa 3.09 m, Vs di **191 m/s**, con bassa rigidità sismica;
- **secondo sismostrato** mediamente addensato, con spessore medio di circa 9.98 m e Vs di **304 m/s**, con media rigidità sismica;
- **terzo sismostrato** addensato, con spessore medio di circa 10.30 m e Vs di **496 m/s**, con buona rigidità sismica;
- **i sismostrati sottostanti** addensati, sono caratterizzati da Vs superiori a **728 m/s**, alta rigidità sismica e non producono contrasti di impedenza sismica significativi.

Il profilo sismico, denominato MASW 4, è stato realizzato nell'area di interesse così come indicato nella planimetria allegata, con l'intento di ricostruire l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo ed individuare lo spessore di ogni singolo sismostrato.

Il profilo di velocità delle onde di taglio risultante dall'indagine MASW 1, evidenzia la presenza di quattro unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- **primo sismostrato** costituito prevalentemente da terreno vegetale e primo sottosuolo alterato, con spessore medio di circa 3.21 m, Vs di **201 m/s**, con bassa rigidità sismica;

- **secondo sismostrato** mediamente addensato, con spessore medio di circa 5.80 m e Vs di **308 m/s**, con media rigidità sismica;
- **terzo sismostrato** addensato, con spessore medio di circa 16.50 m e Vs di **487 m/s**, con buona rigidità sismica;
- **i sismostrati sottostanti** addensati, sono caratterizzati da Vs superiori a **777 m/s**, alta rigidità sismica e non producono contrasti di impedenza sismica significativi.

Il profilo di velocità delle onde di taglio risultante dall'indagine MASW 5, evidenzia la presenza di quattro unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- **primo sismostrato** costituito prevalentemente da terreno vegetale e primo sottosuolo alterato, con spessore medio di circa 1.50 m, Vs di **100 m/s**, con bassa rigidità sismica;
- **secondo sismostrato** scarsamente addensato, con spessore medio di circa 3.71 m e Vs di **208 m/s**, con media rigidità sismica;
- **terzo sismostrato** addensato, con spessore medio di circa 12.89 m e Vs di **416 m/s**, con buona rigidità sismica;
- **i sismostrati sottostanti** addensati, sono caratterizzati da Vs superiori a **619 m/s**, alta rigidità sismica e non producono contrasti di impedenza sismica significativi.

La classificazione del terreno di fondazione viene effettuata sulla base del valore di Vs,eq valutato dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

hi = spessore dell'i-esimo strato;

VS,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

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

Il modello di Vs,eq ci dà informazioni riguardanti gli spessori e le velocità dei singoli sismostrati, per definire l'azione sismica di progetto e la categoria del terreno di fondazione del sito oggetto di studio.

In materia di microzonazione sismica, nel sito oggetto di studio sono stati determinati con le metodologie sopra citate i valori di $V_{s,eq}$, partendo dal piano campagna, che risultano essere di **381 m/s** per la **MASW 3**, di **403 m/s** per la **MASW4** e **362 m/s** eper la **MASW 5** dato che conferma l'appartenenza del sottosuolo alla categoria **B per tutti i siti**.

Alla luce delle categorie previste dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 17 gennaio 2018, e dalle misure effettuate in sito, i terreni di fondazione esaminati si collocano in categoria "**B**" descritta in normativa come: *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.*



Del Dott. Geol. Galileo Potenza

