



COMUNE DI FOGGIA



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO AGRI-FOTOVOLTAICO: IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE DI TIPO FOTOVOLTAICO INTEGRATO CON RIQUALIFICAZIONE AGRONOMICA

Committente:

Green Genius Italy Utility 11 s.r.l.

Corso Giuseppe Garibaldi, 49
20121 Milano (MI)



StudioTECNICO
Ing. Marco G Balzano

Via Canello Rotto, 3
70125 BARI | Italy
+39 331.6794367
www.ingbalzano.com



Spazio Riservato agli Enti:

REV	DATA	ESEGUITO	VERIFICA	APPROV	DESCRIZ
R0	12/07/2021	Geol. Gigante	Geol. De Giorgio	MBG	Prima Emissione

Numero Commessa:

SV304

Data Elaborato:

12/07/2021

Revisione:

R0

Titolo Elaborato:

Relazione Geologica

Progettista:

ing.MarcoG.Balzano

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.9341
Professionista Antincendio Elenco Ministero degli Interni BA09341101837
Consulente Tecnico d'Ufficio (CTU) Tribunale Bari

Elaborato:

V.01

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. UBICAZIONE DELL'AREA.....	4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO.....	6
5. GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA DEL TERRITORIO.....	8
6. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....	10
7. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	11
7.1 IL METODO DELLA SISMICA A RIFRAZIONE.....	11
7.2 METODO MASW.....	11
7.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	12
8. UBICAZIONE DEGLI STENDIMENTI GEOFISICI REALIZZATI.....	13
9. ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE.....	15
9.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	15
9.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	17
9.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	19
10. ANALISI MASW.....	21
10.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	21
10.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	24
10.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	27
11. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE DEI SITI DI PROGETTO.....	30
11.1 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO AA'.....	30
11.2 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO BB'.....	31
11.3 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO CC'.....	31
12. CARATTERIZZAZIONE ELASTICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	32
13. CARATTERI GEOLOGICI SITO SPECIFICI.....	33
14. CENNI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA.....	35
14.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	35
14.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (D.M. 17/01/2018).....	35
14.2.1 Categoria di sottosuolo di riferimento.....	35
14.2.2 Condizioni topografiche.....	35
14.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	35
14.4 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE.....	36
15. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	38

1. Premessa

La presente relazione geologica, redatta dal sottoscritto dott. Geol. Giuseppe Gigante su incarico di STUDIO TECNICO Ing. Marco Balzano integra la documentazione a corredo del *Progetto per la Realizzazione di impianto fotovoltaico Utility Scale* da realizzare su lotto posizionato nel territorio comunale di Foggia, su cui verranno installati pannelli fotovoltaici e denominato “**FOG06-Faraniello**”. L’iniziativa nello specifico, prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico destinato alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Lo studio è stato esteso oltre al sito su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici anche alle aree interessate dalla realizzazione delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili alla perfetta funzionalizzazione dell’impianto su indicato, ossia l’elettrodotto di collegamento e la sottostazione di servizio.

A tal riguardo il presente documento fornisce un’analisi geologico-strutturale, geomorfologica ed idrogeologica del sito oggetto di studio e delle aree circostanti, orientata all’individuazione di fonti di rischio geologico, idraulico, idrogeologico e sismico con l’intento ultimo di definire il *Modello Geologico del Sottosuolo* di riferimento.

A tal proposito, si è proceduto all’acquisizione, elaborazione ed articolazione di dati geologici rivenienti da indagini indirette geofisiche (sismica a rifrazione e MASW) eseguite nell’area, anticipate da un rilevamento geologico di superficie, ed integrati da informazioni acquisite da fonti di tipologia diverse (lavori scientifici, professionali, cartografie esistenti, ecc.).

Per una ottimale definizione del Modello Geologico del Sottosuolo lo studio è stato focalizzato sull’individuazione e definizione degli aspetti principali dell’ambito territoriale in esame quali: la sequenza litostratigrafia, l’assetto strutturale e geomorfologico dell’ammasso roccioso nel suo complesso, l’idrografia superficiale, i caratteri idrogeologici, la definizione delle principali proprietà fisiche e meccaniche dei litotipi affioranti, la classificazione sismica nelle aree di intervento.

In relazione alla finalità dello studio quindi, le attività sono state articolate sviluppando il seguente programma:

- analisi della bibliografia esistente;
- analisi delle immagini satellitari della zona di studio;
- prospezione geologica e geomorfologica di superficie;
- realizzazione di n.3 tomografie sismiche per la valutazione della stratigrafia e dei caratteri tecnici dei litotipi costituenti gli strati superficiali del sottosuolo e interessati come terreno di fondazione delle strutture;
- realizzazione di n.3 indagini MASW (Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves) per la definizione della categoria di sottosuolo di fondazione, come richiesto dall’attuale normativa vigente in materia antisismica e disciplinato dalle Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018.

2. Normativa di riferimento

Nella redazione della presente relazione è stata presa in considerazione la vigente normativa tecnica italiana, ed in particolare, le seguenti disposizioni:

- D.M. 17 gennaio 2018: *"NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"* (G.U. del 20 febbraio 2018 Suppl. Ordinario n.42) e Circolare Applicativa C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019 n.7: *"ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018"* (G.U. n.35 del 11 febbraio 2019 - Suppl. Ordinario n.5);
- D.G.R. 15 settembre 2009 n.1626: *"D.M. 14.01.2008 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI. DISPOSIZIONE IN MERITO ALLE PROCEDURE DA ADOTTARE IN MATERIA DI CONTROLLI E/O AUTORIZZAZIONI, AI SENSI E PER GLI EFFETTI DI CUI AGLI ARTT. 93 E 94 DEL D.P.R. N. 06.06.2001, N. 380 E s.m.i."* (Boll. Uff. Regione Puglia n.151 del 29.9.2009);
- Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (12/11/04 e nota 25/CT del 15/12/04), in vigore dal Dicembre 2005;
- OPCM n.3274 del 20 marzo 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"* successive modificazioni e collegata normativa regionale;
- Piano Urbanistico Territoriale Tematico / Paesaggio (PUTT/P), approvato con Del. GR. n.1748 del 15 dicembre 2000, in adempimento di quanto disposto dalla legge n. 431 del 8 Agosto 1985 e dalla legge regionale n.56 del 31 Maggio 1980.
- Piano Paesaggistico Territoriale Regionale della Puglia (PPTR), adottato con Del. GR n.1435 del 2 agosto 2013 (Boll. Uff. Regione Puglia n.108 del 06.08.2013).

Inoltre, la presente relazione è stata redatta tenuto conto di quanto espresso dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (12/11/04 e nota 25/CT del 15/12/04) e relativi aggiornamenti, dal Piano di Tutela delle Acque (deliberazione della Giunta Regionale n. 883 del 19.06.2007) e dagli strumenti urbanistici e di tutela operanti sul territorio (P.R.G., P.R.G./ P.U.T.T. Paesaggio, ecc.).

3. Ubicazione dell'area

L'area interessata dall'opera in parola è situata nella zona settentrionale del Comune di Foggia (Fg), nell'area interna del Tavoliere delle Puglie.

Nelle seguenti immagini si riporta la cartografia di riferimento con ubicazione dell'area interessata dalle opere:

- Stralcio della Carta Topografica d'Italia IGMI: F°164 III NE "Borgo Tavernola" e F°164 III NO "Foggia": fonte: www.pcn.minambiente.it (fig.1a);
- Immagine satellitare anno 2016; fonte: www.sit.puglia.it (fig.1b).
- Carta Tecnica Regionale elemento 408124-408121-408111 della Regione Puglia (fig.1c).

Inoltre il sito ricade nel Foglio 408 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

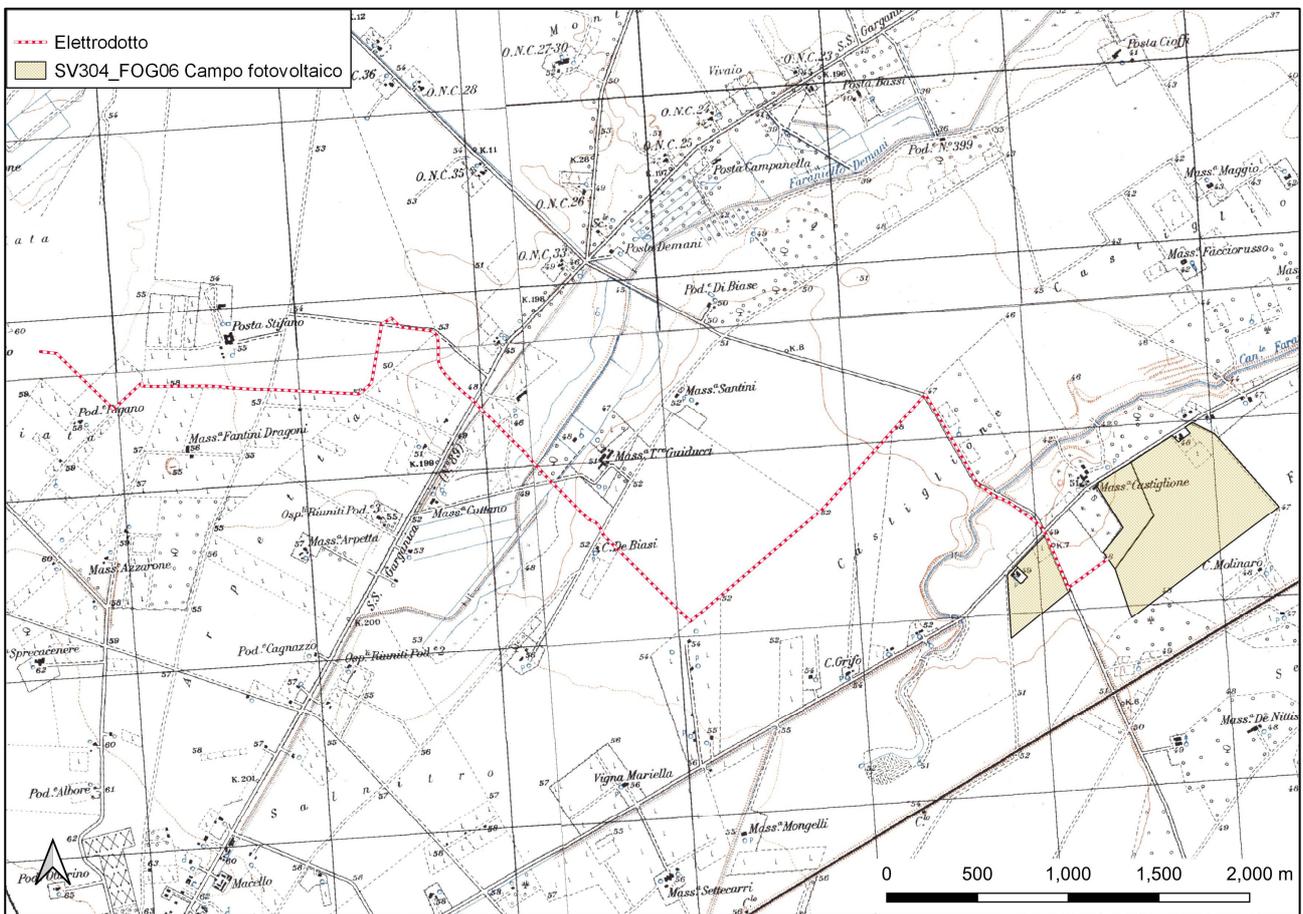


Fig. 1a - Stralcio delle Tavole IGMI F°164 III NE "Borgo Tavernola" e F°164 III NO "Foggia". Fonte: www.pcn.minambiente.it.

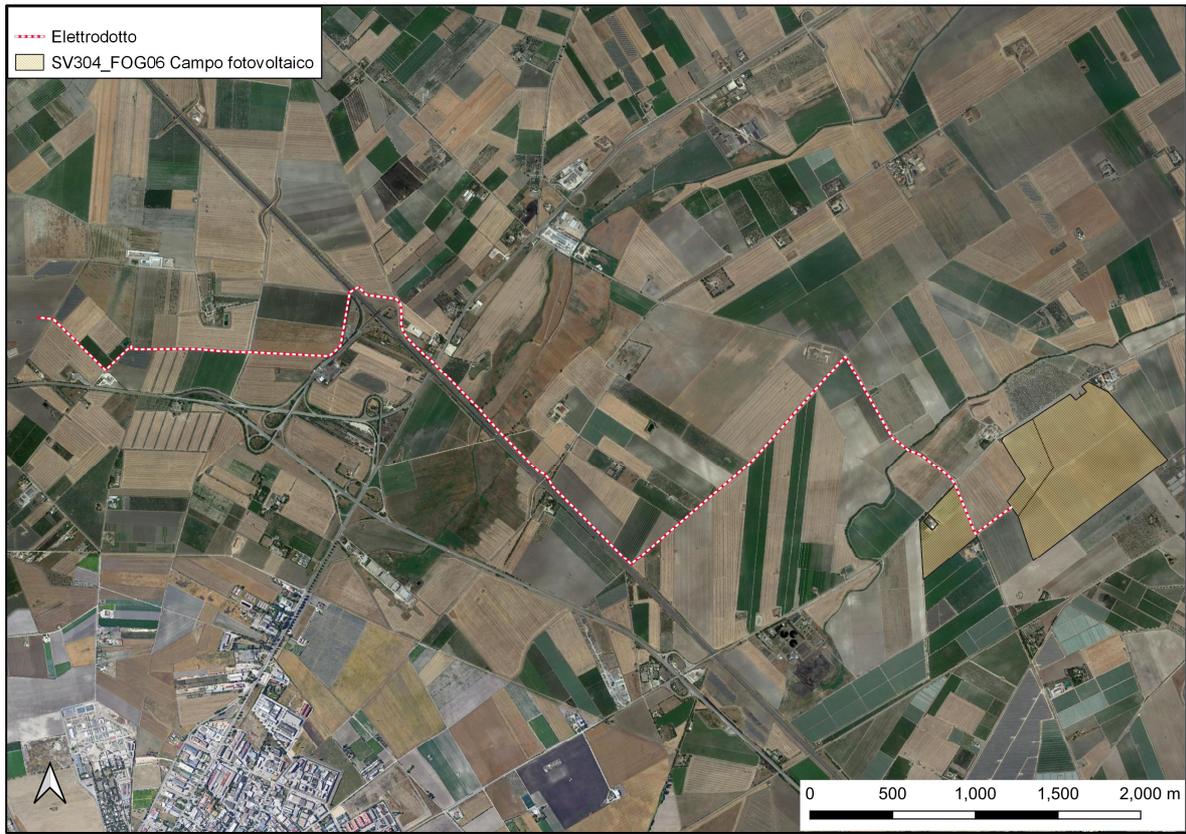


Figura 1b - Ubicazione del sito su Immagine satellitare del 2016. Fonte: www.sit.puglia.it

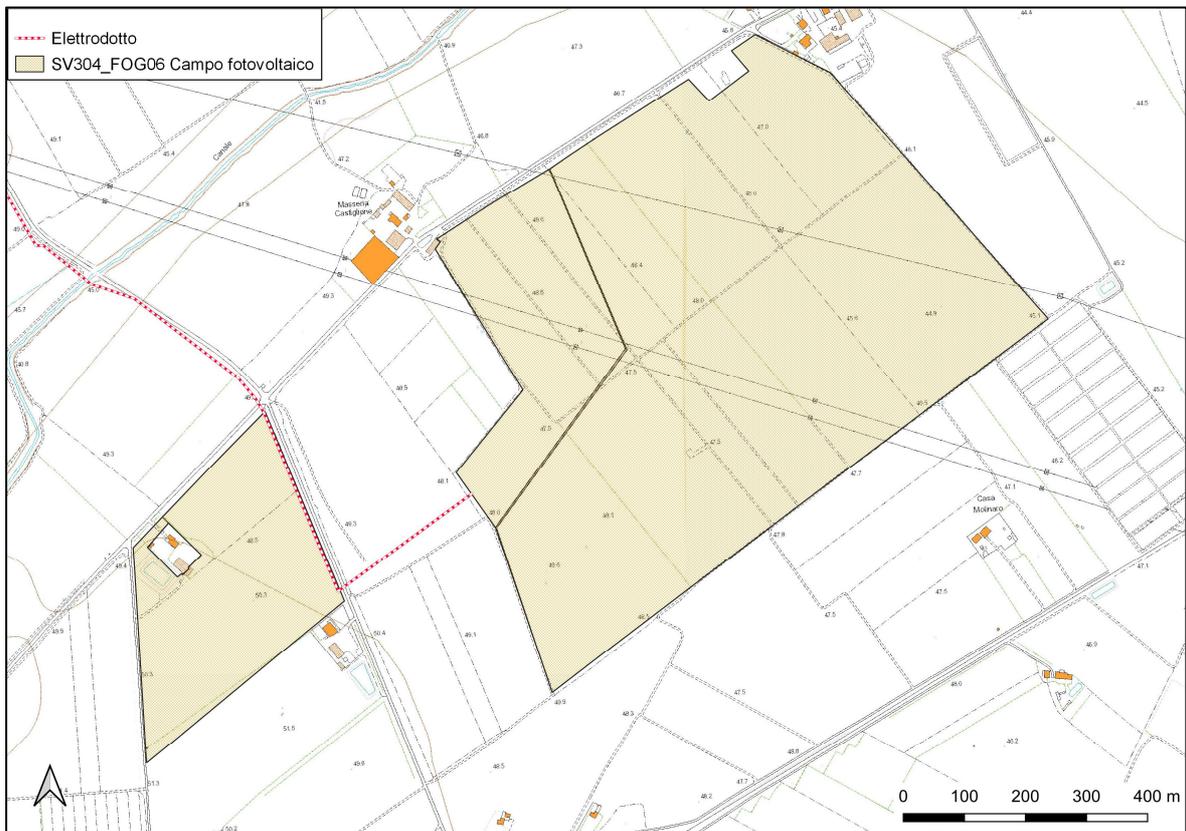


Figura 1c - Ubicazione del sito su CTR Regionale. Fonte: www.sit.puglia.it

4. Inquadramento geologico generale dell'area di studio

L'area in esame risulta inserita nella piana del Tavoliere delle Puglia, unità geografica appartenente al dominio geostrutturale dell'avanfossa bradanica, e costituita da depositi silicoclastici di riempimento di età pliocenica e infrapleistocenica e da depositi marini e alluvionali delle coperture medio-supra pleistoceniche e oloceniche della piana. Tali depositi, rinvenuti nel sottosuolo nel corso delle numerose perforazioni eseguite per la ricerca di idrocarburi, sono il prodotto dell'intensa attività sedimentaria, tipica di un bacino subsidente, che ha interessato l'Avanfossa appenninica a partire dal Pliocene inferiore. Si tratta di argille indicate con il generico termine di "Argille grigio azzurre" per via del loro colore tipico che, nella parte più superficiale, tende al giallastro a causa dei fenomeni di alterazione. All'interno della successione argillosa, sono presenti, a diverse altezze stratigrafiche, interstrati sabbiosi formanti corpi lenticolari di modesto spessore. La deposizione di questa unità litologica ha avuto inizio nel Pliocene e si è conclusa nel Pleistocene Superiore, ed il suo spessore risulta particolarmente elevato spingendosi fino a raggiunge diverse centinaia di metri. Al di sopra dell'unità delle Argille grigio azzurre si rinvengono i depositi Quaternari che vanno a costituire un'estesa copertura in grado di raggiungere o superare le decine di metri in potenza e sono rappresentati da un'alternanza lenticolare di sedimenti alluvionali ghiaiosi, sabbiosi e argillosi, in parte limosi, di facies continentale che si incrociano e anastomizzano di frequente. Questi rappresentano il risultato dei numerosi episodi deposizionali che hanno interessato il Tavoliere. Le alluvioni del Tavoliere contengono, nella parte più superficiale, una crosta evaporitica di natura calcarea, il cui spessore può raggiungere anche gli 8 o 10 metri e la cui genesi sarebbe riconducibile al fenomeno della risalita capillare e al clima fortemente arido che in passato ha caratterizzato l'area. Verso la costa, affiorano i depositi palustri e di colmata olocenici, costituiti essenzialmente da limi. Il quadro stratigrafico si completa con i depositi costieri, anch'essi dell'Olocene, costituiti da sabbie e ghiaie formanti una stretta spiaggia delimitata verso terra da cordoni dunari.

L'area oggetto di studio ricade, come detto in precedenza, nella zona centrale del Tavoliere, in corrispondenza della zona centrale del Foglio 408 "Foggia", area generalmente caratterizzata dalla presenza in affioramento di depositi recenti che vanno dal Pleistocene inferiore all'Olocene. All'interno di questi sedimenti, dall'analisi dei dati di perforazione, è stato possibile individuare importanti superfici di discontinuità, che hanno costituito la base per la suddivisione del record sedimentario in unità stratigrafiche a limiti inconformi di diverso rango gerarchico (SALVADOR, 1987, 1994) ed hanno permesso l'elaborazione dello schema stratigrafico riportato in figura 2.



Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici del settore settentrionale del F°408 "Foggia" in cui ricade l'area di studio, indicata nel riquadro nero. Fonte:www.isprambiente.gov.it

Con riferimento allo schema dei rapporti stratigrafici presente in figura 2, è possibile evidenziare in corrispondenza del sito di progetto risultano presenti in affioramento, sia nell'area interessata dal campo fotovoltaico, che in quella lungo cui si svilupperà l'elettrodotto, la seguente unità litostratigrafica:

- Sintema di Foggia (TGF);

Non affiorante, ma costituente il substrato su cui poggiano in contatto erosivo tutte le unità menzionate, è l'Unità delle Argille subappennine (ASP), il cui tetto si rinviene a profondità differenti in relazione alla zona interessata e caratterizzata nella zona di contatto, da alterazioni che la portano ad assumere una colorazione tendente al giallastro.

Il sintema elencato è parte integrante del Supersintema del Tavoliere di Puglia, di età Calabriano-Olocene, che comprende in tutto 8 sintemi in genere alluvionali, che dal più antico al più recente sono posti ad altezze topografiche via via decrescenti sugli alvei attuali e poggiano in contatto erosivo sulle Argille subappennine o su depositi alluvionali più antichi.

Nel seguito si riportano le caratteristiche principali dei corpi sedimentari elencati, a partire dal più antico:

Argille Subappennine (ASP)

Questa unità è costituita da silt argillosi e marne siltose grigie a stratificazione poco evidente, con intercalazioni di argille siltose e di sottili strati di sabbia medio-fine.

Sintema di Foggia (TGF)

Depositi alluvionali terrazzati del V ordine costituiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose. Nel sottosuolo si intercalano conglomerati poligenici ed eterometrici di spessore variabile. Lo spessore del sintema varia, in base alla zona, tra 10 e 40 metri.

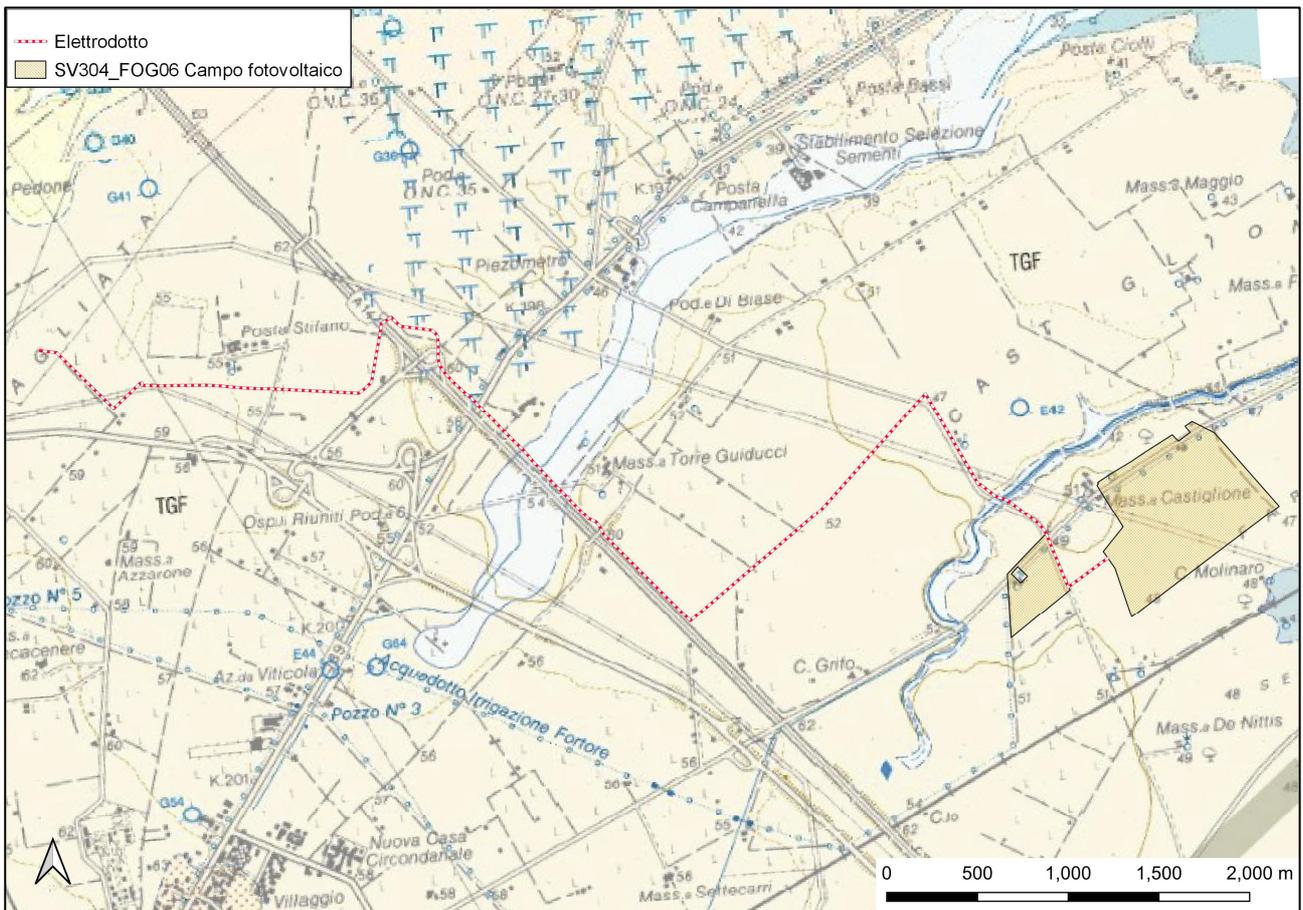


Figura 3 – Stralcio del Foglio 408 “Foggia” con indicazione dell’area in cui saranno installati i pannelli fotovoltaici e dell’elettrodotto
Fonte: www.isprambiente.gov.it

5. Geomorfologia e idrografia del territorio

I caratteri morfologici e idrografici del sito di studio sono quelli tipici del Tavoliere delle Puglie, caratterizzato da una serie di superfici pianeggianti, più o meno estese, interrotte dai principali corsi d'acqua e da locali canali e/o marane a deflusso spiccatamente stagionale. In tali aree l'evoluzione dei caratteri morfologici è stata evidentemente condizionata dalla natura del substrato geologico presente; gli affioramenti topograficamente più elevati, in corrispondenza dei quali spesso sorgono i centri urbani, sono caratterizzati dalla presenza di una litologia più resistente all'azione modellatrice degli agenti esogeni, al contrario le aree più depresse sono la testimonianza di una litologia meno competente e quindi più facilmente modellabile. Nel complesso l'area di progetto non è interessata dalla presenza di fenomeni erosivi in senso lato né è soggetta a rapida evoluzione e rimodellamento morfologico (inteso esclusivamente in termini di agenti esogeni naturali), in quanto questo si esercita in forma marginale ed attenuata e del tutto trascurabile ai fini degli interventi previsti.

Il sito dove saranno installati i pannelli fotovoltaici è posizionato in destra orografica del Canale Faraniello, su un'area pianeggiante e leggermente digradante verso l'alveo del Canale. L'elettrodotto invece, partendo dalla zona orientale del sito, si svilupperà per circa 9 km in direzione ovest.

Sia il campo fotovoltaico che il tracciato dell'elettrodotto interesseranno i depositi sabbiosi e siltosi di terrazzo.

Per quanto attiene il reticolo idrografico inoltre, dall'analisi delle perimetrazioni del PAI Puglia presenti e visionabili sul sito dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale è possibile osservare quanto segue.

L'area in cui saranno installati i pannelli fotovoltaici, indicata in figura dal retino giallo, non è interessata da perimetrazioni di pericolosità idraulica (Fig.5).

Per quanto concerne il tracciato su cui si svilupperà l'elettrodotto invece, è possibile osservare che sarà interessato da zone a pericolosità idraulica in corrispondenza dei due attraversamenti del reticolo fluviale. In particolare, in corrispondenza del *canale Faraniello*, poco distante dal campo fotovoltaico, ed in corrispondenza del *Faraniello Demani*.

Per l'attraversamento di questi due reticoli è prevista la tecnologia TOC, con quota di attraversamento attestata a 2,00 m di profondità dall'alveo dei due reticoli menzionati.

La sottostazione di servizio infine, è posizionata in una zona non interessata da pericolosità idraulica.

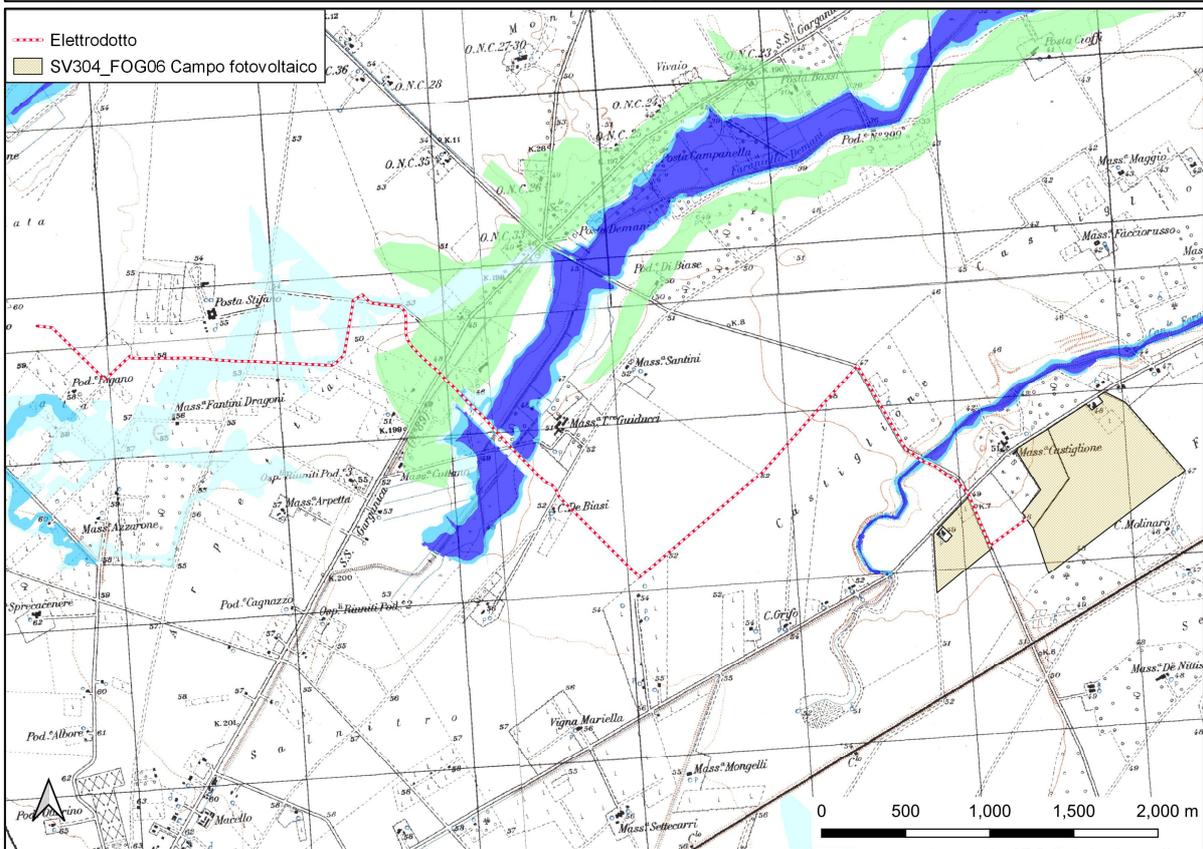
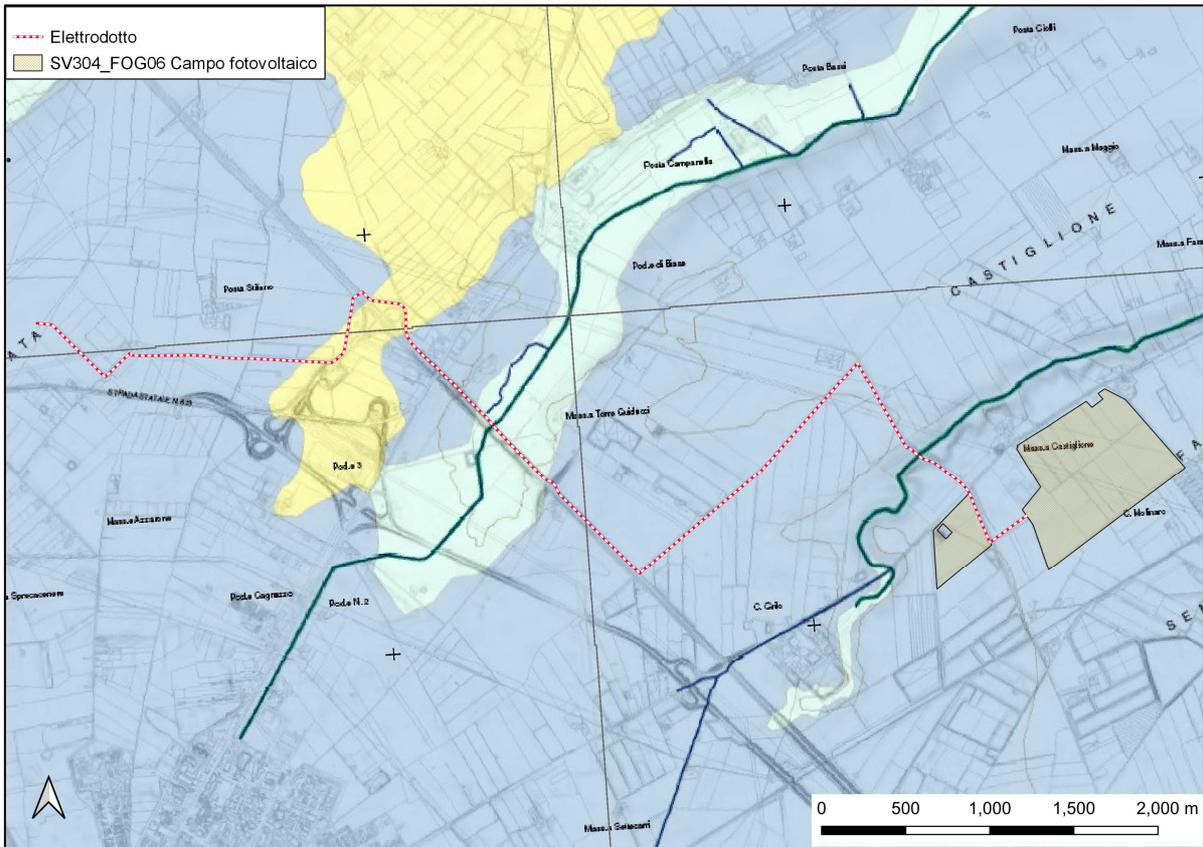


Fig.4 a,b - Stralcio della Carta Idrogeomorfologica e della cartografia PAI della Regione Puglia con indicazione delle aree di intervento e delle strutture connesse (www.adb.puglia.it).

6. Lineamenti idrogeologici

Dal punto di vista idrogeologico, l'area di studio è interessata dalla presenza dell'acquifero poroso superficiale del Tavoliere, la cui falda è ospitata nei depositi quaternari di copertura di questa unità fisiografica.

Detti depositi, il cui spessore aumenta procedendo da SE verso NW, ospitano una estesa falda idrica generalmente frazionata su più livelli. Le stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua realizzati in zona, evidenziano infatti l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaioso, permeabili ed acquiferi, intercalati a livelli limo-argillosi a minore permeabilità, con ruolo di acquitardi.

La base della circolazione idrica è rappresentata dalle argille grigio-azzurre (argille subappennine) la cui profondità di rinvenimento risulta progressivamente maggiore procedendo da SE verso NW. I diversi livelli in cui l'acqua fluisce non costituiscono orizzonti separati ma idraulicamente interconnessi, dando luogo ad un unico sistema acquifero.

L'acqua si rinviene in condizioni di falda libera nei livelli idrici più superficiali e in pressione in quelli più profondi. A tale sistema acquifero, nel suo complesso, si dà il nome di falda superficiale del Tavoliere.

Trattandosi di un acquifero eterogeneo, sia in termini di spessore che di granulometria, la potenzialità, come pure la trasmissività idraulica, variano sensibilmente da zona a zona. L'andamento delle isopieze, ricostruite sulla base dei dati raccolti in un recente monitoraggio, mostra una generale corrispondenza con la topografia: le quote piezometriche, infatti, tendono a diminuire procedendo da SO verso NE consentendo di definire una direttrice di deflusso preferenziale in tal senso. Per le considerazioni su menzionate e per le caratteristiche dei litotipi che insistono nell'area oggetto di studio, questi ultimi rientrano nell'”**Acquifero poroso superficiale**”.

Nell'area di interesse, attualmente, sulla base delle indicazioni e delle cartografie redatte per il PTA. Il Piano di Tutela delle Acque, la superficie piezometrica della falda acquifera, in stato di quiete, è compreso tra 50 m slm e 35 m slm (Fig.5).

In corrispondenza del sito di progetto, la falda, sulla base delle informazioni desunte da alcuni pozzi per il prelievo idrico presenti nel database dell'ISPRA, è posizionata a circa 25 metri di profondità dal piano campagna, e pertanto non dovrebbe interessare le strutture di fondazione su cui saranno installati i tracker dei pannelli fotovoltaici. Tuttavia è possibile il rinvenimento di acquiferi sospesi sostenuti alla base da orizzonti a permeabilità bassa, a profondità inferiori dal piano campagna, a cui si dovrà prestare attenzione in fase di installazione dei moduli fotovoltaici.

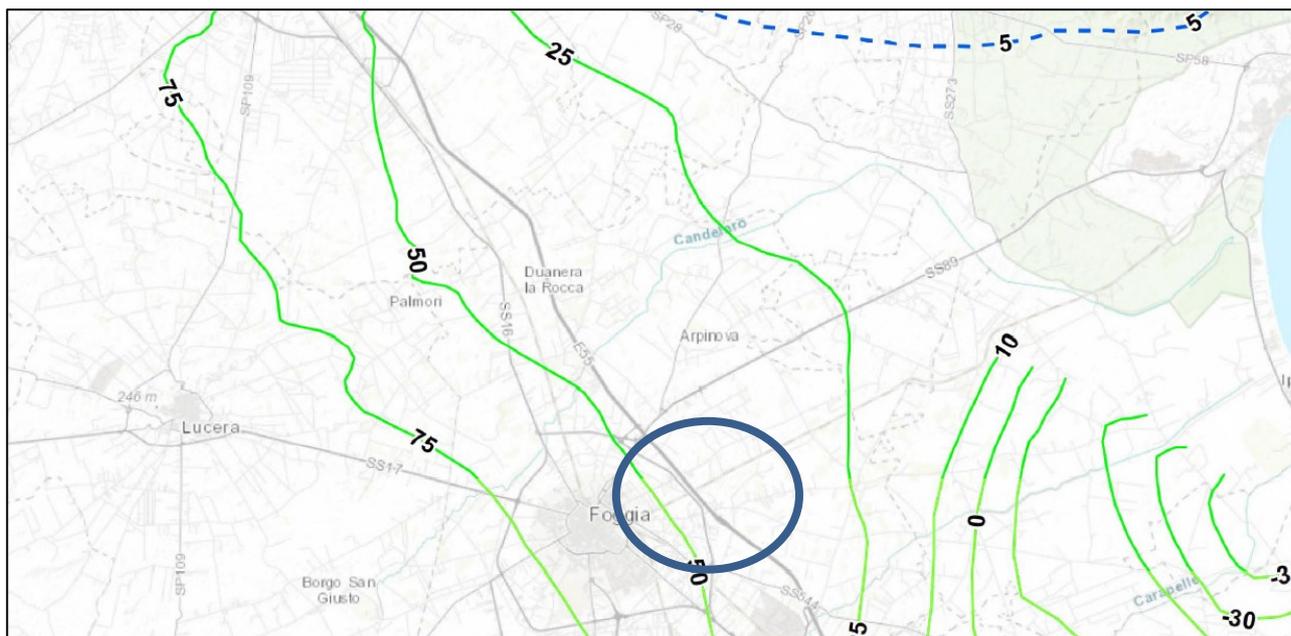


Figura 5 – Stralcio della carta dei carichi piezometri dell'acquifero poroso superficiale del Tavoliere delle Puglia.
(Fonte: Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia)

7. Caratterizzazione geofisica del sottosuolo: metodologia di analisi e strumentazione utilizzata

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

7.1 Il metodo della sismica a rifrazione

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

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

7.2 Metodo MASW

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

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

- calcolo della curva di dispersione sperimentale;

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

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

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

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

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

7.3 Strumentazione utilizzata

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

L'attrezzatura è composta da:

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

8. Ubicazione degli stendimenti geofisici realizzati

Per la definizione del Modello Geologico del Sottosuolo e la determinazione della risposta sismica del sito, come previsto dall'attuale normativa (Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M.17/1/2018), l'indagine sismica è consistita nella ricostruzione dei caratteri litostratigrafici e geostrutturali dell'ammasso roccioso nel suo volume significativo. Per raggiungere tali obiettivi sono stati interpretati e correlati come detto i dati derivanti dalle indagini geofisiche indirette (sismica a rifrazione onde P e M.A.S.W.) eseguite nell'area in cui saranno installati i pannelli fotovoltaici (Fig.6a-6b), integrati dalle risultanze superficiali (osservazioni di scavi, fronti stradali, ecc.) rilevate durante sopralluoghi mirati, nonché da quanto emerso da studi pregressi e dall'indagine penetrometrica realizzata in sito, i cui risultati completi sono riportati nella Relazione geotecnica.

L'indagine sismica è consistita nell'esecuzione di 3 profili di sismica a rifrazione onde P (AA' e BB' di lunghezza pari a 48 m, mentre CC' di lunghezza pari a 36 m) e di 3 acquisizioni di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Wave) effettuate sulla stessa traccia; l'ubicazione degli stendimenti è indicata in Fig.6a-6b.

I primi due stendimenti geofisici (AA' e BB') sono stati realizzati in corrispondenza del campo fotovoltaico mentre il terzo (CC') è stato realizzato in corrispondenza della sottostazione di servizio.

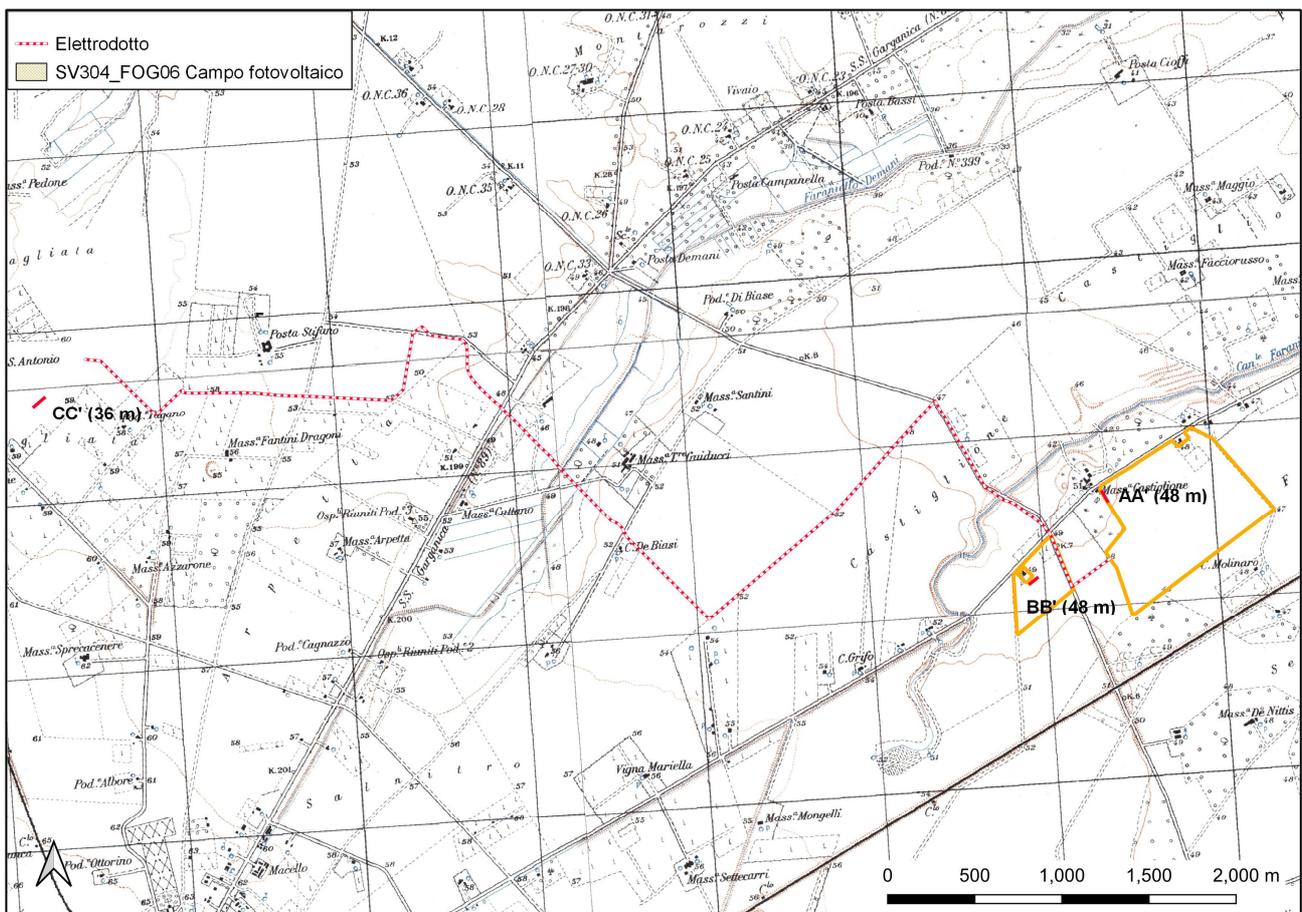


Fig.6a - Ubicazione degli stendimenti sismici e dei M.A.S.W



Fig.6b – Immagini degli stendimenti sismici e dei M.A.S.W

9. Analisi di sismica a rifrazione

9.1 Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione AA' ha una lunghezza di 48 metri lineari con interspazio geofonico di 2.0 m, direttrice orientata NNW/SSE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

A - 15.614613 E – 41.490716 N;

A' - 15.614367 E – 41.491120 N.

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 1.00 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.7).

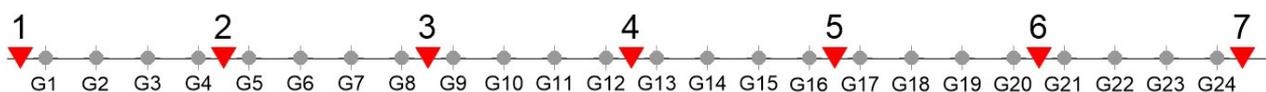


Fig.7 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 8 e 9 (sezione sismostratigrafica).

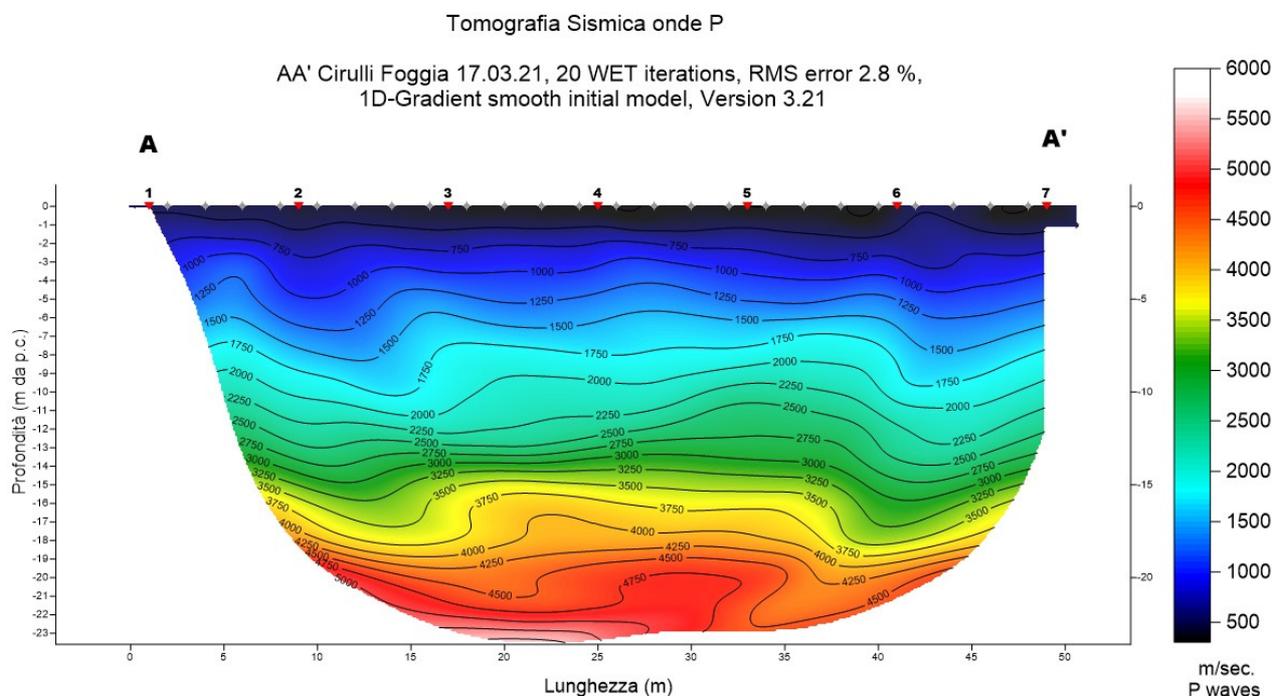


Fig. 8 – Sezione tomografica del profilo AA'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **4 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A), è caratterizzato da valori di velocità delle onde P compresi tra 250 e 750 m/s. La profondità risulta costante e si spinge fino a circa 2 metri di profondità dal piano campagna. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 750 e 1750 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 8 metri dal piano campagna. Il sismostrato C è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 1750 e 3500 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 16 metri dal piano campagna. Il sismostrato D infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 23 m dal p.c.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a depositi limoso-sabbiosi poco coesi e molto alterati (sismostrato A), il secondo sismostrato a depositi sabbioso-limosi con livelli ghiaiosi moderatamente addensati le cui caratteristiche migliorano con la profondità (sismostrato B), il terzo sismostrato a depositi sabbiosi e ghiaiosi con gradi di compattazione maggiore (sismostrato C) ed infine il sismostrato D, è riferibile all'unità prettamente argillosa.

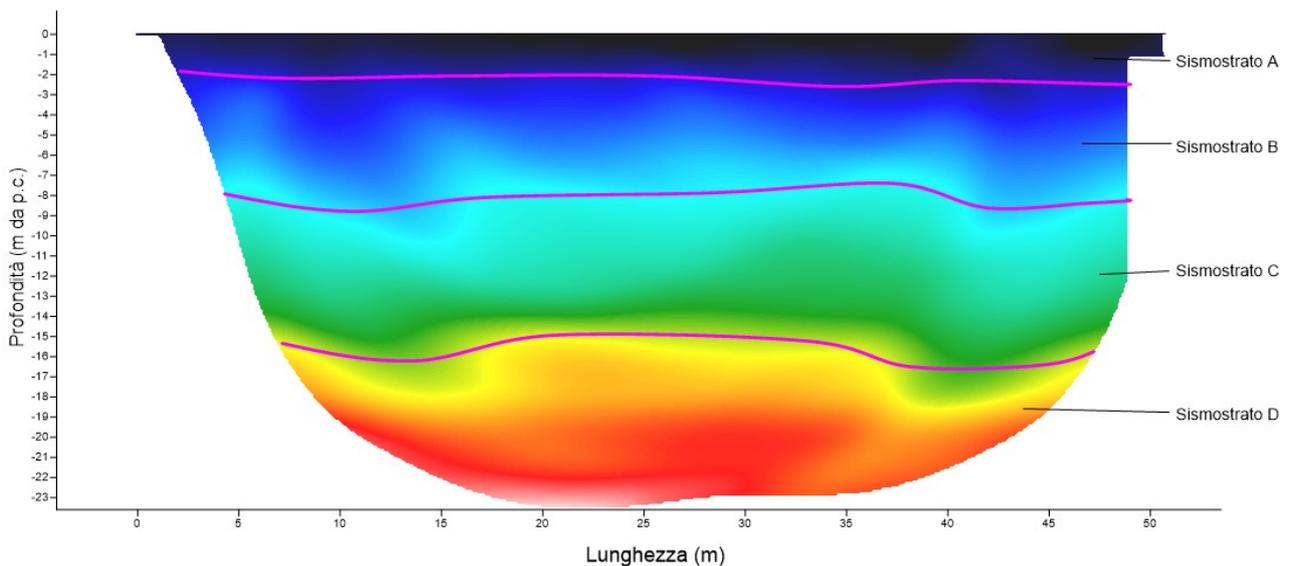


Fig. 9 – Interpretazione sezione tomografica del profilo AA'

9.2 Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione BB' ha una lunghezza di 48 metri lineari con interspazio geofonico di 2.0 m, direttrice orientata NE/SW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

B - 15.609343 E – 41.486908 N;

B' - 15.608899 E – 41.486639 N.

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 1.00 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.10).

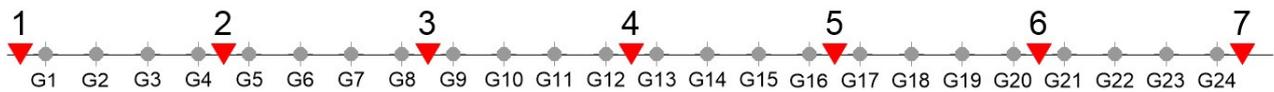


Fig.10 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 11 e 12 (sezione sismostratigrafica).

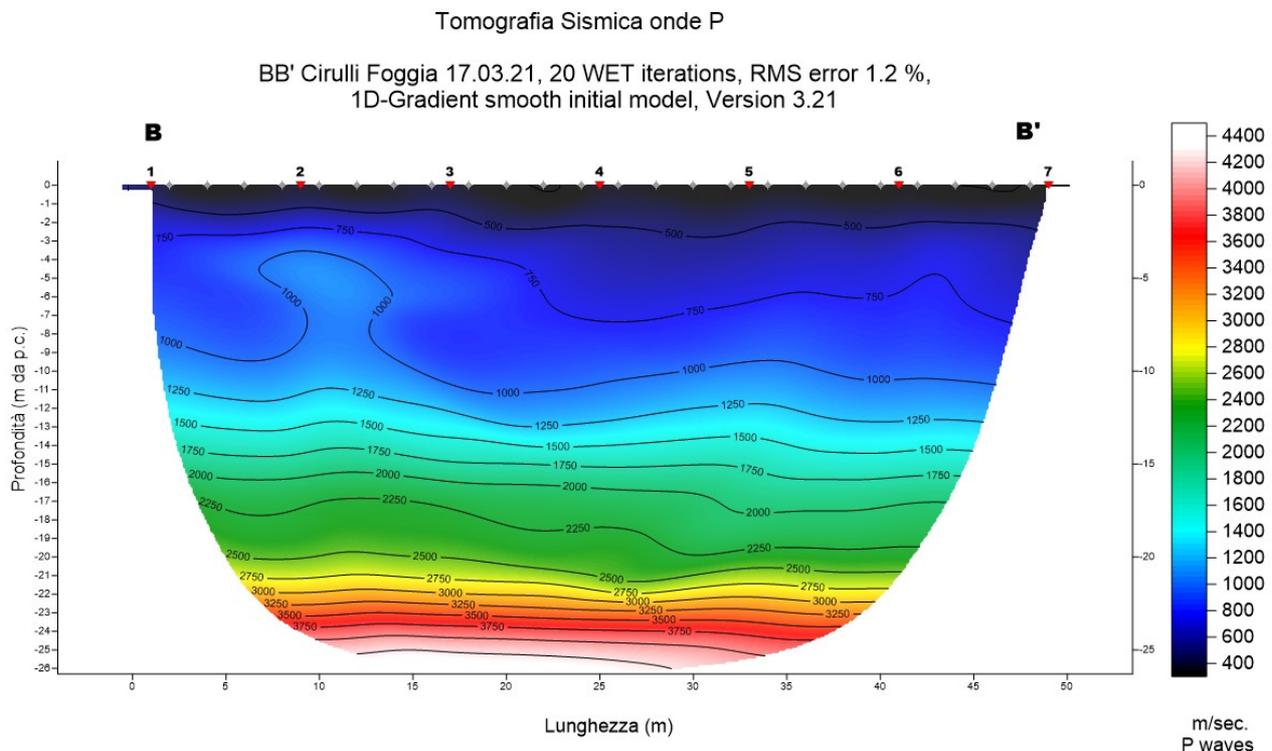


Fig. 11 – Sezione tomografica del profilo BB'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **4 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A), è caratterizzato da valori di velocità delle onde P compresi tra 250 e 500 m/s. La profondità risulta costante e si spinge fino a circa 2 metri di profondità dal piano campagna. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1000 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 8/10 metri dal piano campagna. Il sismostrato C è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 1000 e 2500 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 20 metri dal piano campagna. Il sismostrato D infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 26 m dal p.c.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a depositi limoso-sabbiosi poco coesi e molto alterati (sismostrato A), il secondo sismostrato a depositi sabbioso-limosi con livelli ghiaiosi moderatamente addensati le cui caratteristiche migliorano con la profondità (sismostrato B), il terzo sismostrato a depositi sabbiosi e ghiaiosi con gradi di compattazione maggiore (sismostrato C) ed infine il sismostrato D, è riferibile all'unità prettamente argillosa.

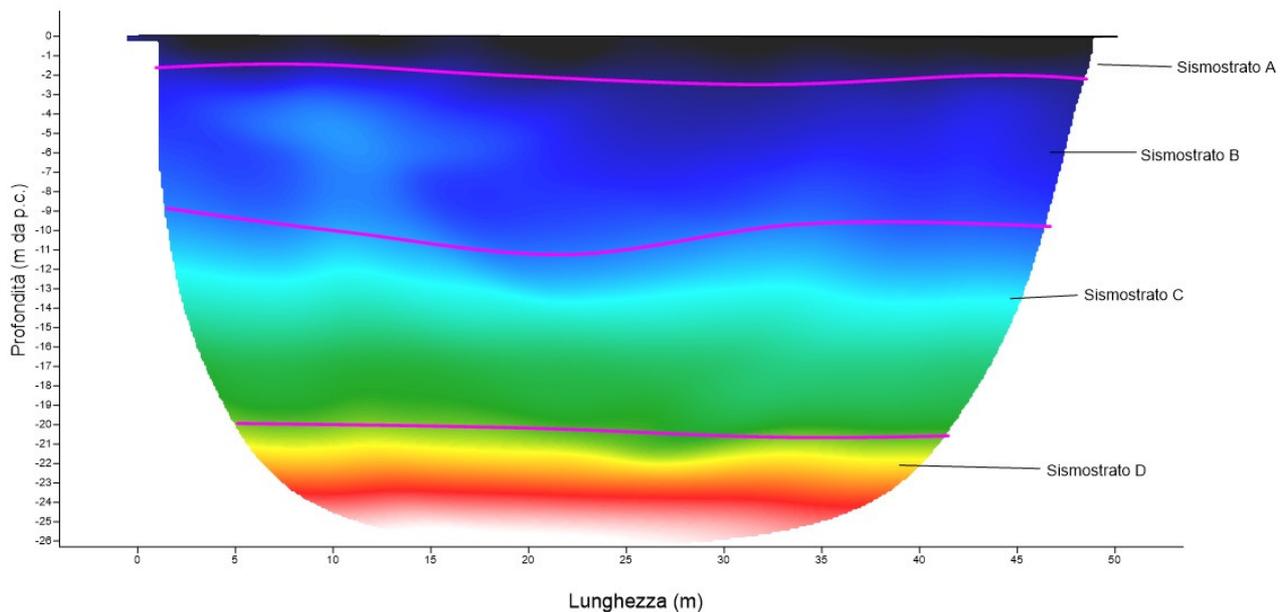


Fig. 12 – Interpretazione sezione tomografica del profilo BB'

9.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

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

A - 15.542000 E – 41.499912 N;

A' – 15.542344 E – 41.500091 N.

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 1.00 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.13).

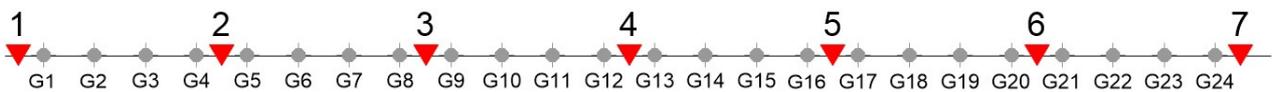


Fig.13 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 14 e 15 (sezione sismostratigrafica).

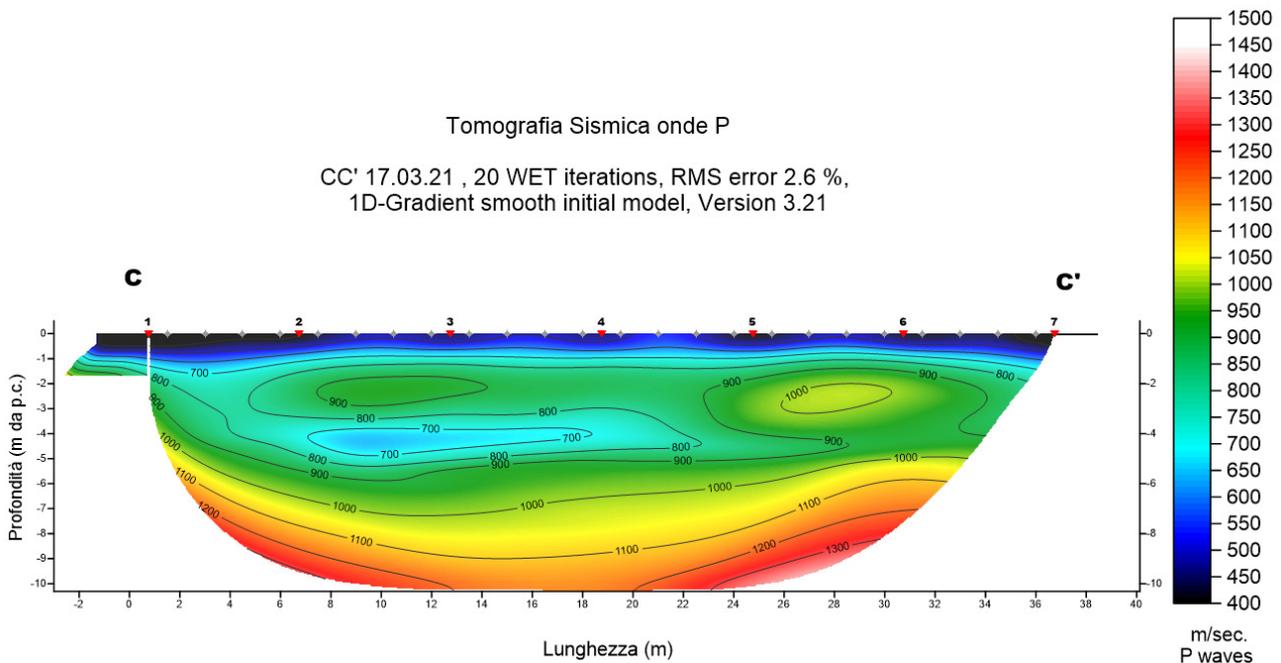


Fig. 14 – Sezione tomografica del profilo CC'

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

Il primo sismostrato (Sismostrato A), è caratterizzato da valori di velocità delle onde P compresi tra 250 e 500 m/s. La profondità risulta costante e si spinge fino a circa 1 metro di profondità dal piano campagna. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1000 m/s, che crescono in modo uniforme e continuo fino a raggiungere una profondità di circa 6 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità

delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 11 m dal p.c.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a depositi sabbioso e siltosi poco o debolmente coesi molto alterati (sismostrato A), il secondo sismostrato a depositi sabbioso-siltosi e siltosi debolmente coesi le cui caratteristiche migliorano con la profondità (sismostrato B), mentre il sismostrato C, è riferibile all'unità argillosa.

In corrispondenza del Sismostrato B, l'andamento ondulato delle velocità sismiche permette di ipotizzare la presenza di variazioni granulometriche e di coesione che implicano la presenza di anisotropie laterali di facies litologiche.

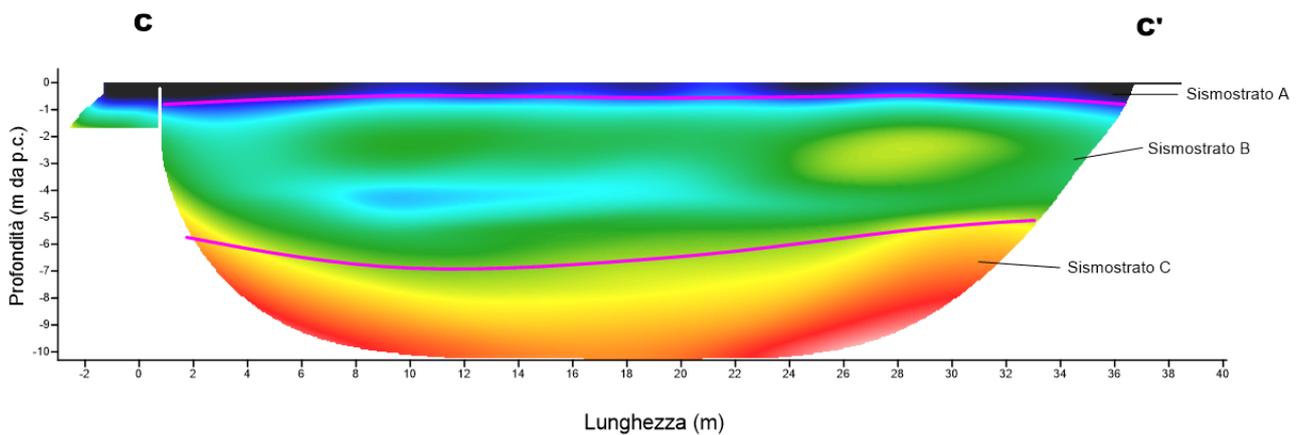


Fig. 15 – Interpretazione sezione tomografica del profilo CC'

10. Analisi MASW

L'indagine geofisica è stata completata con l'esecuzione di n.3 indagini MASW per la determinazione della categoria di suolo di fondazione e la stima del fattore di amplificazione sismica dell'area, sulla stessa traccia dei profili AA', BB' e CC'..

10.1 Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 2.0 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.1 (Fig.16).

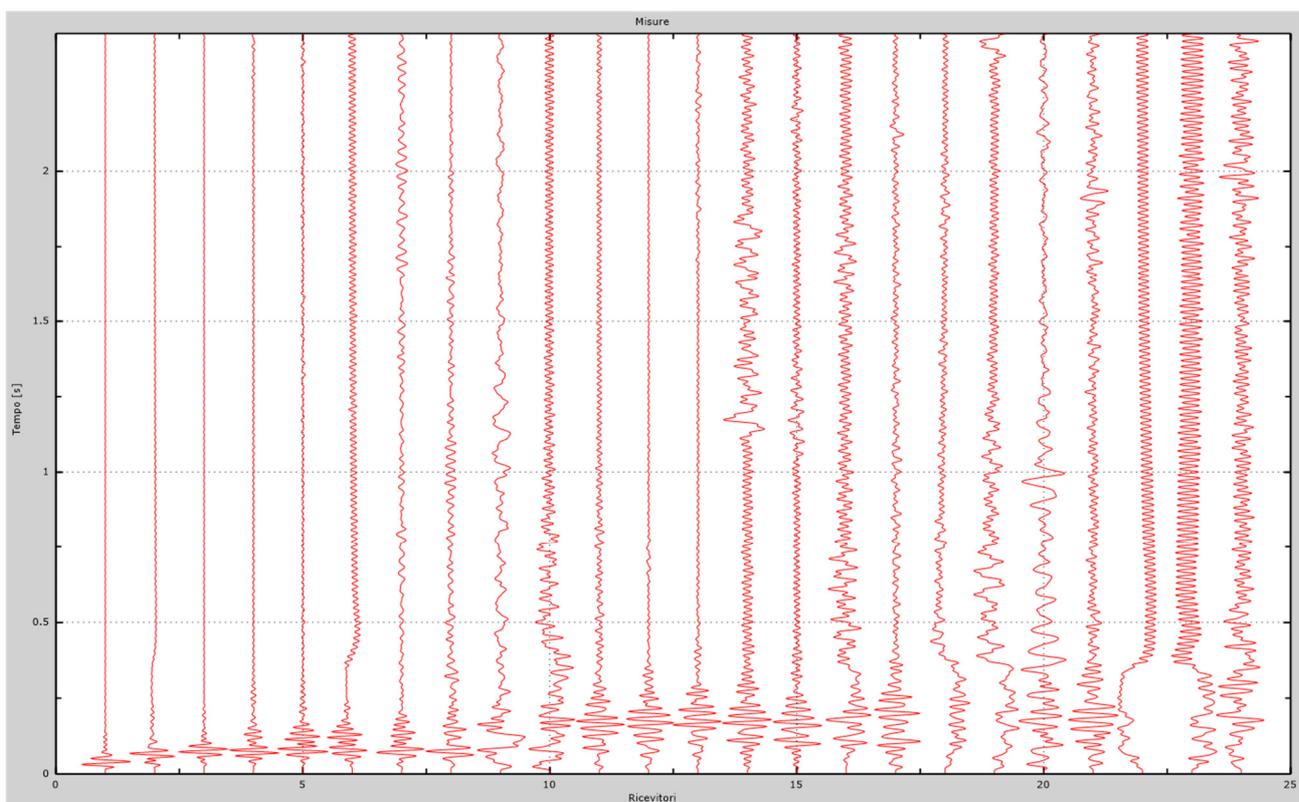


Fig.16 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo AA'

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

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

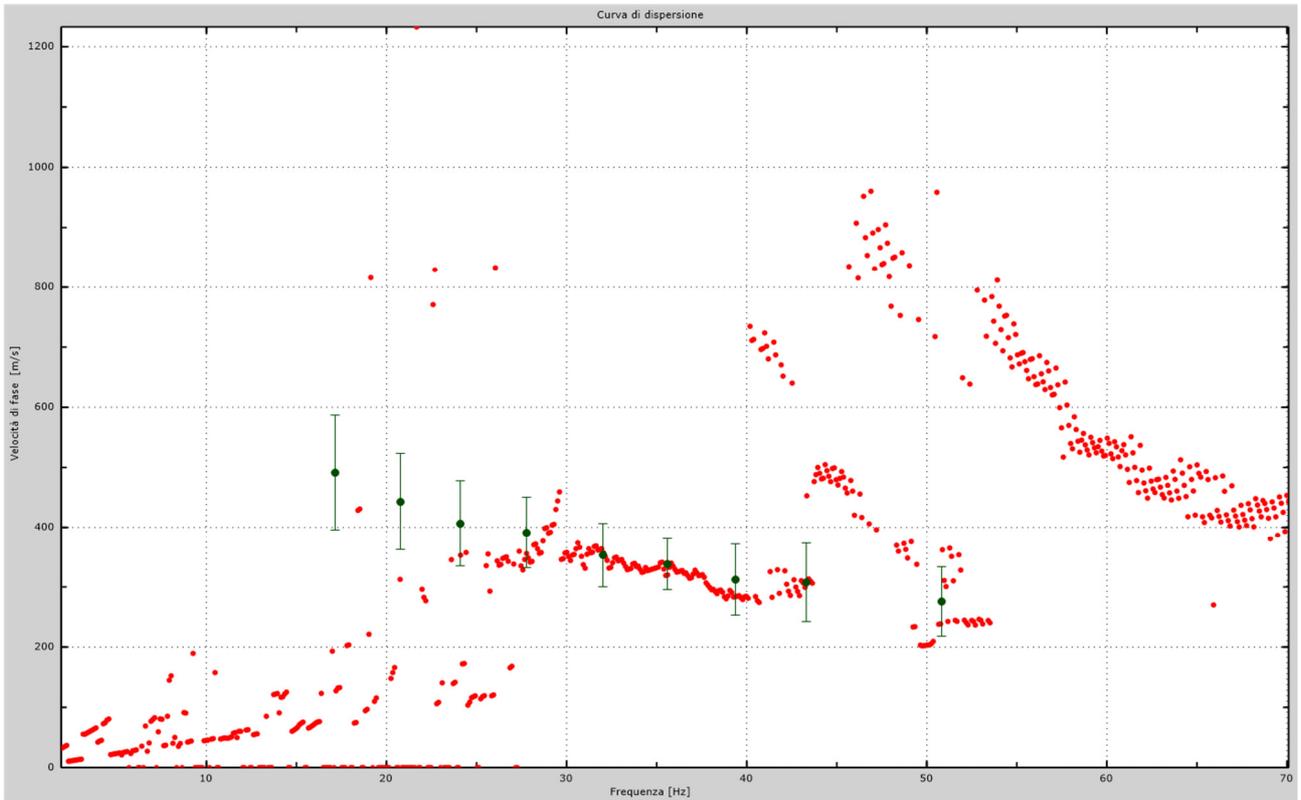


Fig.17 - Curva di dispersione sperimentale.

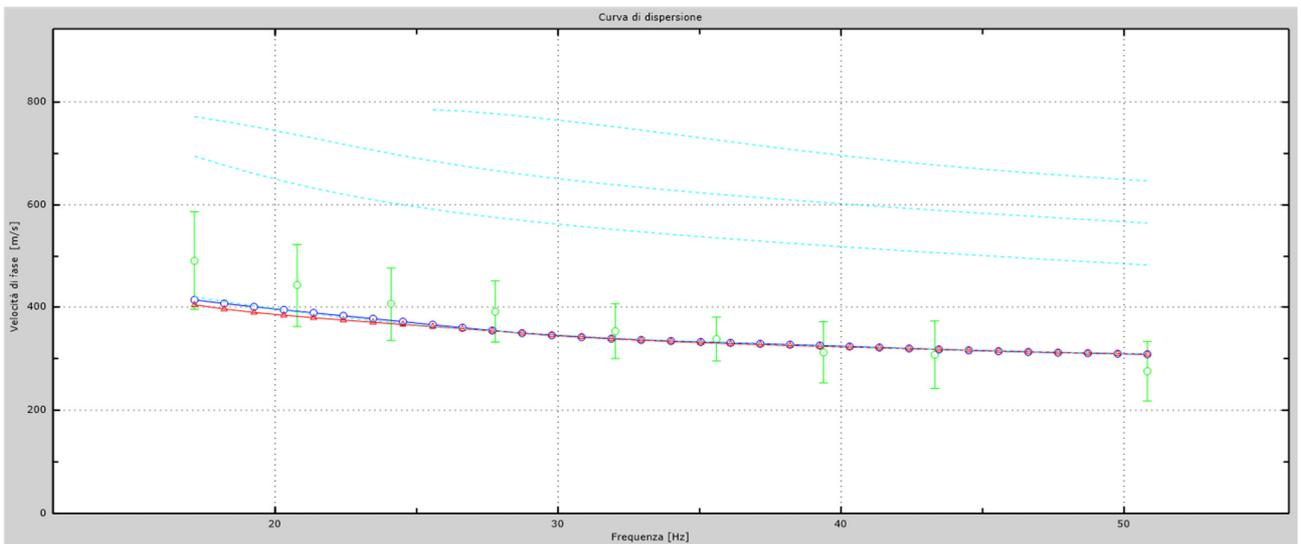


Fig.18 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 10%.

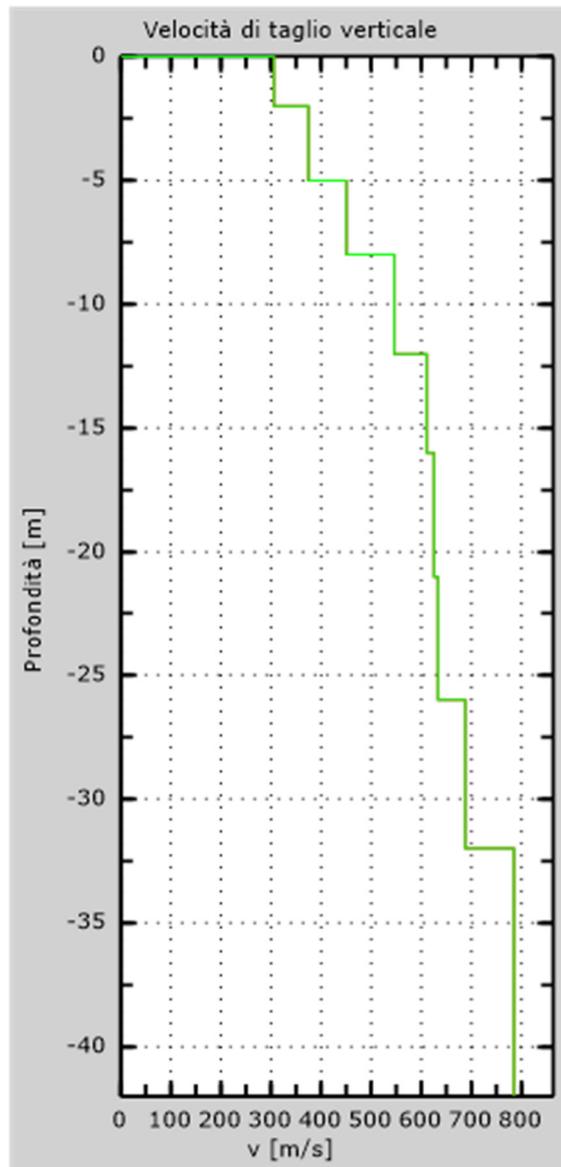


Fig.19 - Profilo verticale delle velocità delle Onde registrate

10.2 Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 2.0 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.2 (Fig.20).

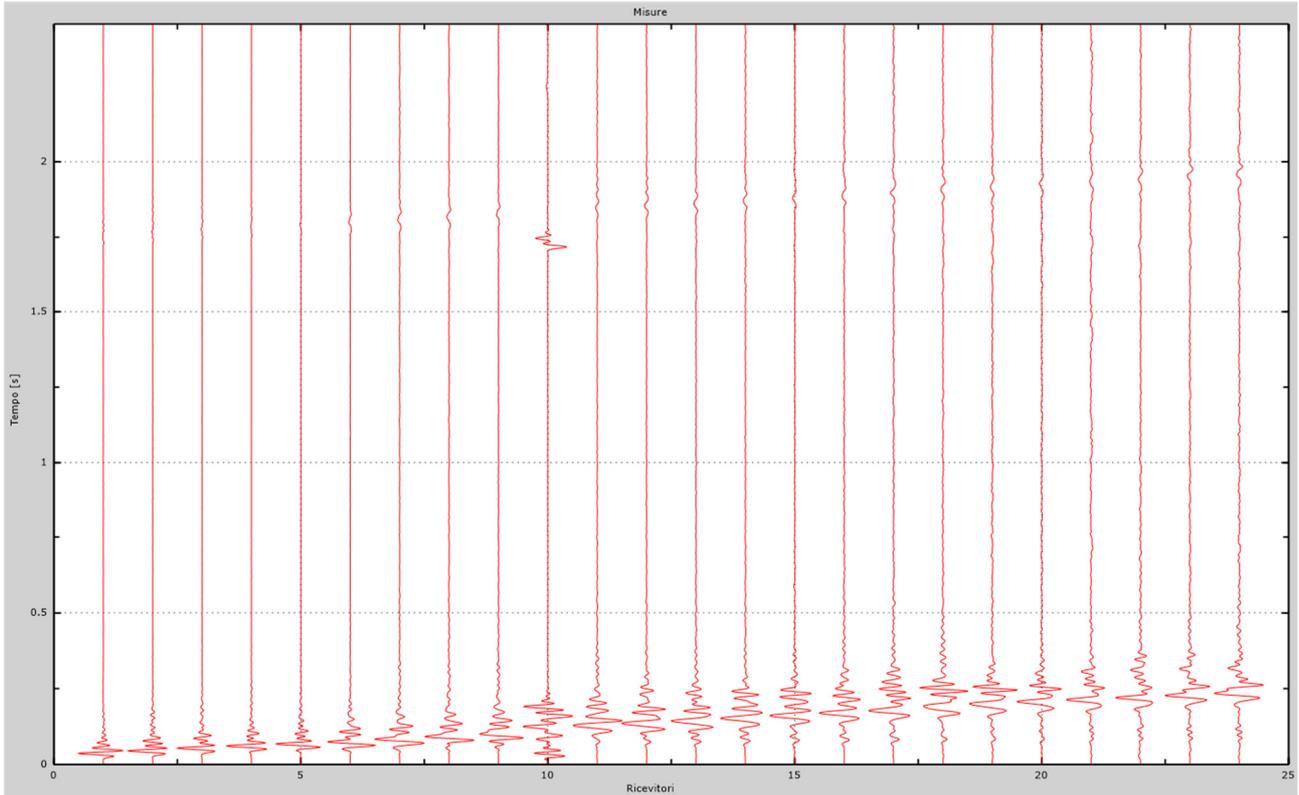


Fig.20 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo BB'

L'individuazione del profilo V_s in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.21) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.22). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità (Fig.23). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

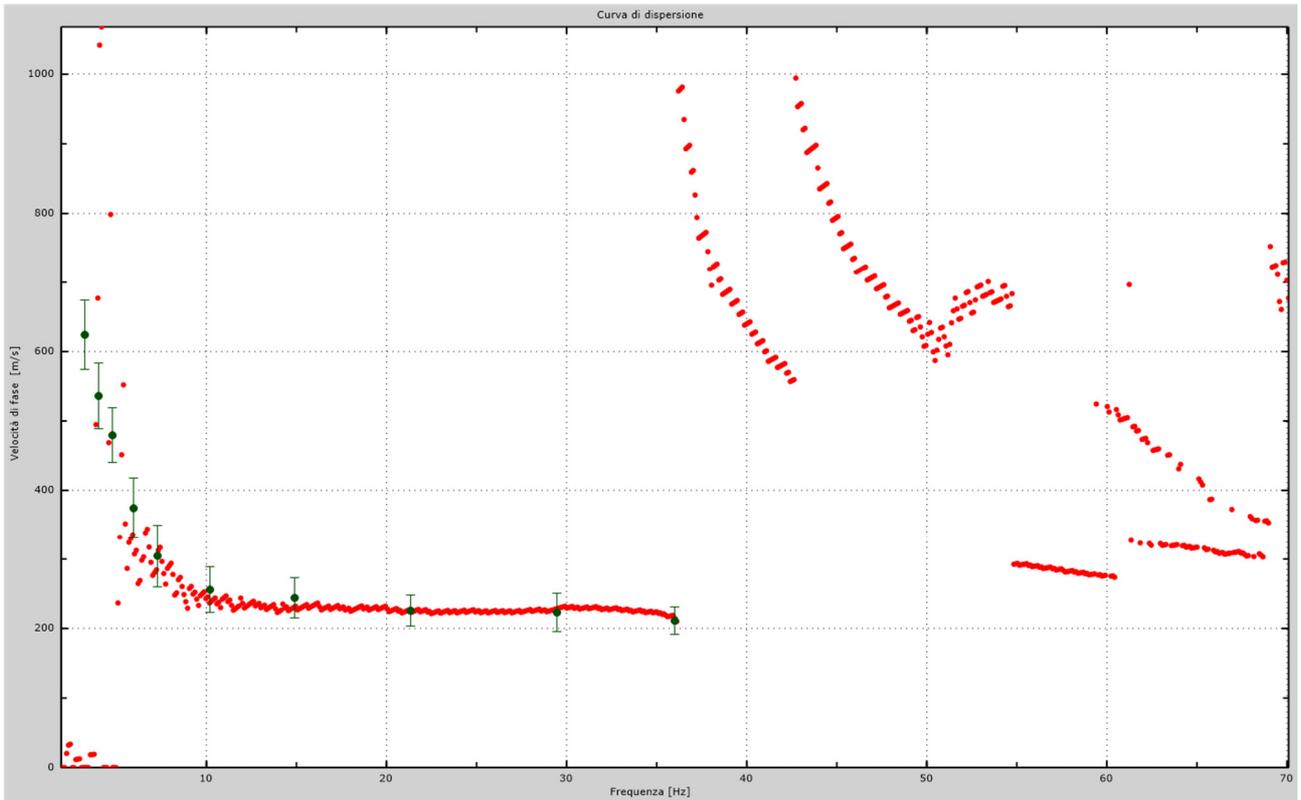


Fig.21 - Curva di dispersione sperimentale.

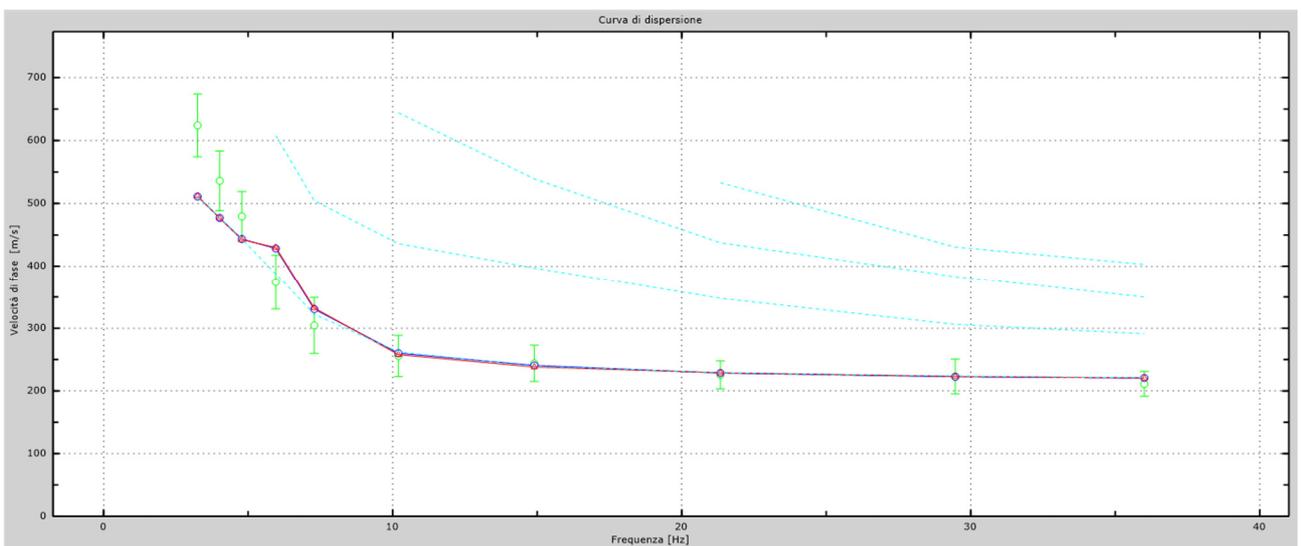


Fig.22 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 9%.

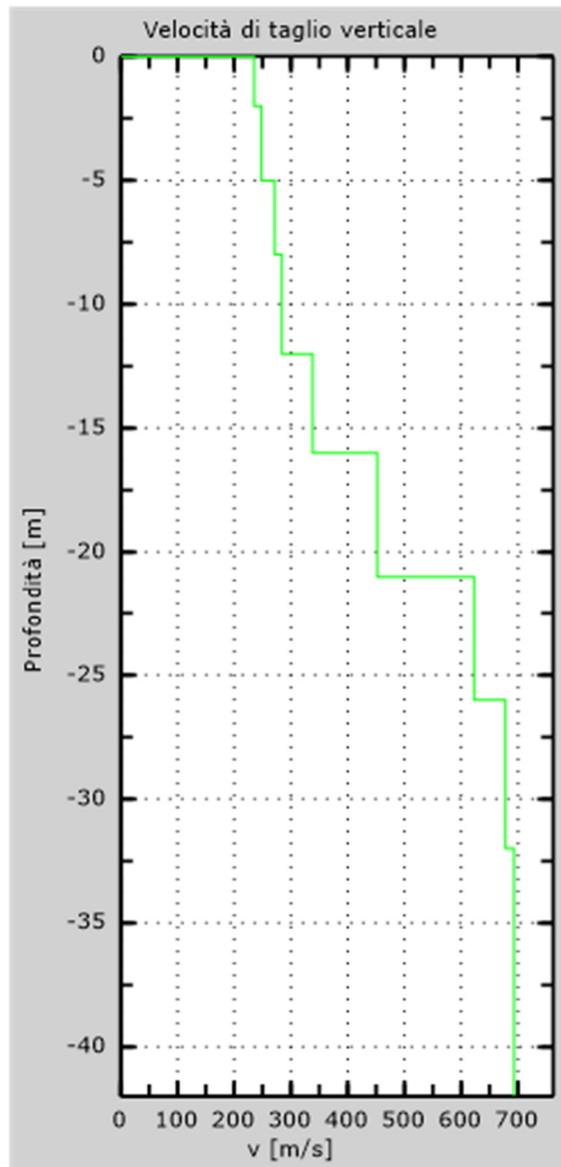


Fig.23 - Profilo verticale delle velocità delle Onde registrate

10.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 2.0 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.2 (Fig.24).

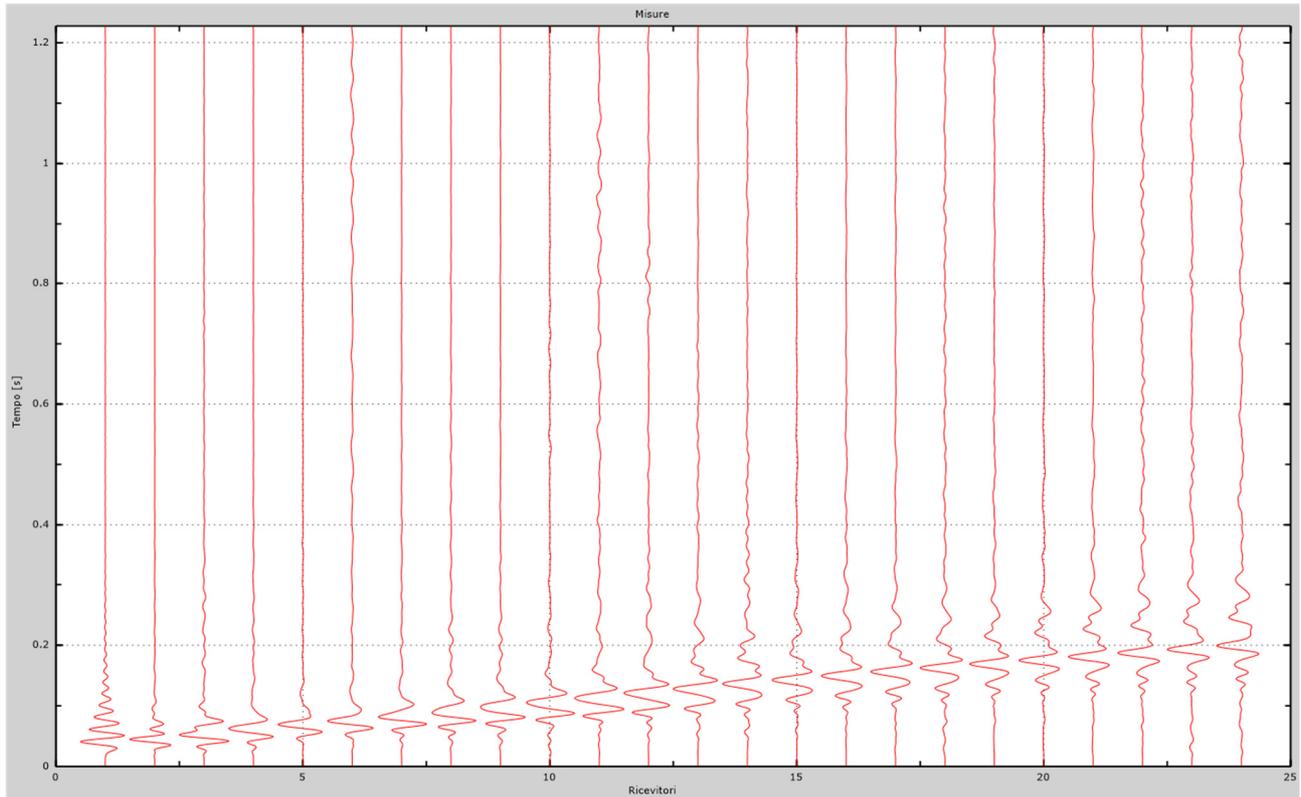


Fig.24 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo CC'

L'individuazione del profilo V_s in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.25) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.26). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità (Fig.27). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

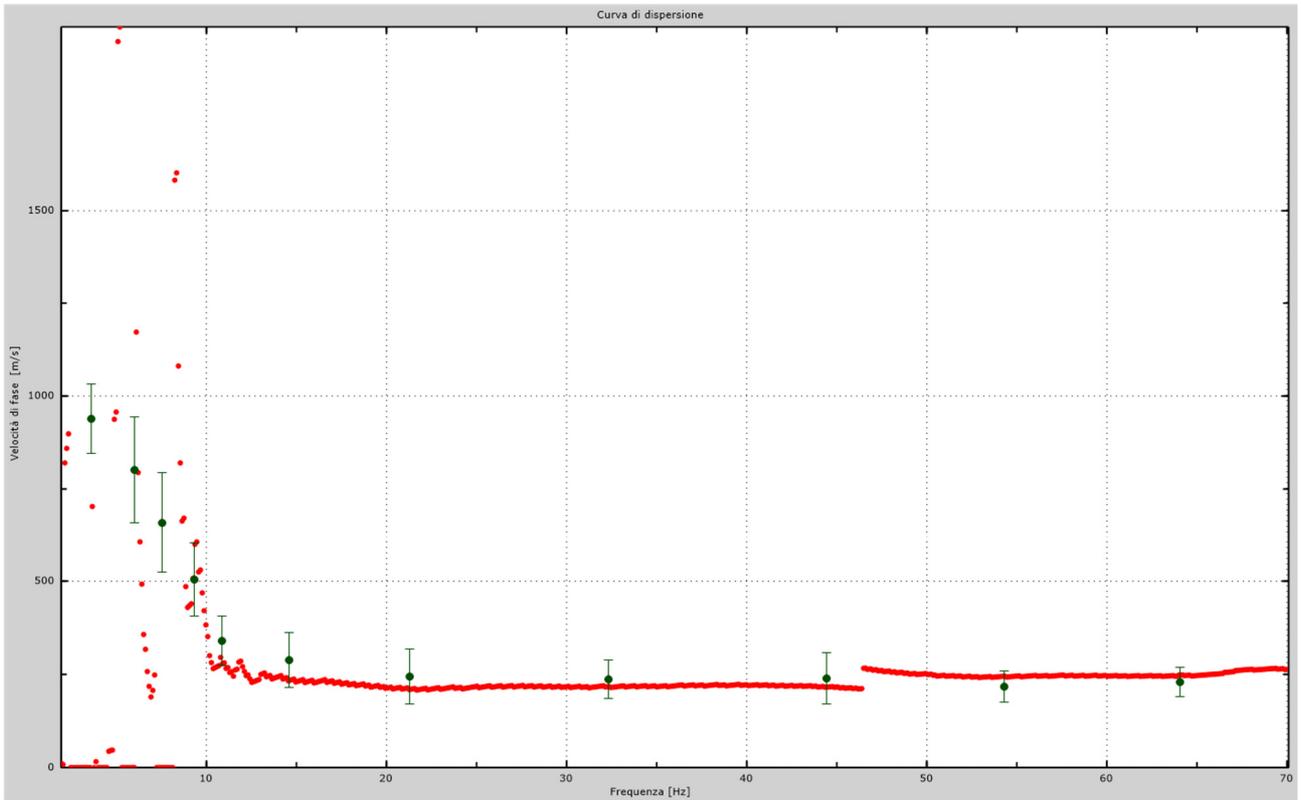


Fig.25 - Curva di dispersione sperimentale.

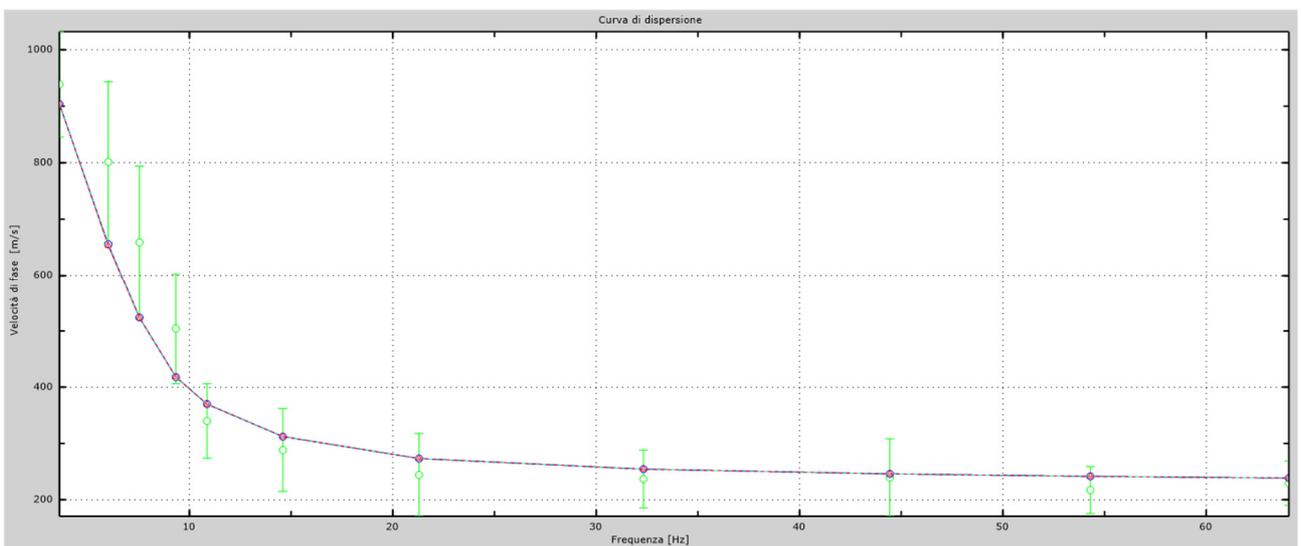


Fig.26 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 16%.

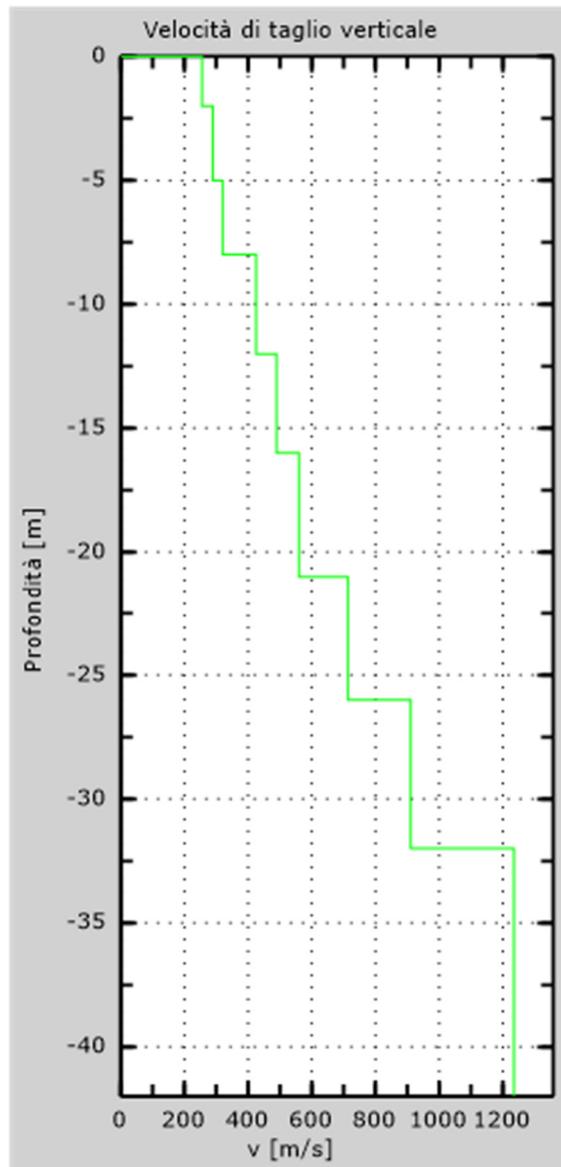


Fig.27 - Profilo verticale delle velocità delle Onde registrate

11. Classificazione del sottosuolo di fondazione dei siti di progetto

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

L'indagine M.A.S.W. ha consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e, da queste, le $V_{s,eq}$, utilizzando la seguente formula:

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

in cui $V_{s,i}$ e h_i indicano la velocità delle onde di taglio (in m/s) e lo spessore (in m) del sismostrato i-esimo per un totale di N sismostrati presenti.

11.1 Determinazione della categoria di sottosuolo dello stendimento AA'

Per l'acquisizione AA', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Numero di strati: 8 - Profondità piano di posa: 2.0 m

Nr.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	306
2	3.00	375
3	3.00	451
4	4.00	546
5	4.00	611
6	5.00	625
7	5.00	633
8	6.00	688

$V_{s,eq}$: 528.42 m/s

Categoria del suolo: B

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla **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.**

11.2 Determinazione della categoria di sottosuolo dello stendimento BB'

Per l'acquisizione BB', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Numero di strati: 8 - Profondità piano di posa: 2.0 m

Nr.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	235
2	3.00	248
3	3.00	271
4	4.00	284
5	4.00	338
6	5.00	452
7	5.00	623
8	6.00	678

$V_{s,eq}$: 363.27 m/s

Categoria del suolo: B

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla **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.**

11.3 Determinazione della categoria di sottosuolo dello stendimento CC'

Per l'acquisizione CC', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Numero di strati: 8 - Profondità piano di posa: 2.0 m

Nr.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	255
2	3.00	289
3	3.00	320
4	4.00	425
5	4.00	489
6	5.00	560
7	5.00	714
8	6.00	911

$V_{s,eq}$: 425.38 m/s

Categoria del suolo: B

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla **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.**

12. Caratterizzazione elastica dei terreni di fondazione

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

Sezione AA' - Tabella 1

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	250.00	111.00	1.46	181.6	678.9	500.1	921.0	0.38	2.25	161.62
2.00	A - LETTO	750.00	306.00	1.79	1700.2	7946.5	4761.0	10213.4	0.40	2.45	548.98
2.00	B - TETTO	750.00	306.00	1.79	1700.2	7946.5	4761.0	10213.4	0.40	2.45	548.98
8.00	B - LETTO	1750.00	845.00	2.11	15229.2	45013.5	41057.4	65319.1	0.35	2.07	1780.75

Sezione BB' - Tabella 2

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	250.00	108.00	1.46	171.9	691.9	476.2	921.0	0.39	2.31	157.25
2.00	A - LETTO	500.00	248.00	1.66	1033.9	2824.1	2764.5	4202.7	0.34	2.02	411.93
2.00	B - TETTO	500.00	248.00	1.66	1033.9	2824.1	2764.5	4202.7	0.34	2.02	411.93
8.00	B - LETTO	1000.00	623.00	1.89	7443.3	9252.9	17608.3	19177.3	0.18	1.61	1180.48

Sezione CC' - Tabella 3

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.00	A - TETTO	250.00	115.00	1.46	194.9	661.2	532.4	921.0	0.37	2.17	167.45
1.00	A - LETTO	500.00	255.00	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32	1.96	423.56
1.00	B - TETTO	500.00	255.00	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32	1.96	423.56
6.00	B - LETTO	1000.00	560.00	1.89	6014.0	11158.6	15294.3	19177.3	0.27	1.79	1061.10

Dove:

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

13. Caratteri geologici sito specifici

L'analisi compiuta ed illustrata nei precedenti paragrafi permette di ricostruire con discreto dettaglio il modello geologico dei terreni interessati dall'installazione dei pannelli fotovoltaici e la realizzazione delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili alla sua costruzione e funzionalità.

In particolare, per quanto concerne l'area su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici è possibile osservare che l'ammasso roccioso risulta costituito da unità litologiche generalmente sabbioso-siltose a cui si intercalano livelli ghiaiosi le cui caratteristiche geotecniche tendono a migliorare con l'aumento della profondità e che seguono la seguente successione litostratigrafica: l'unità superficiale (unità A) è riferibile a depositi limoso-sabbiosi poco o debolmente coesi molto alterati, che raggiungono i 2 metri di profondità dal p.c.; la seconda unità (unità B) è riferibile a depositi sabbioso-limosi moderatamente addensati a cui è possibile si intercalino livelli ghiaiosi e le cui caratteristiche migliorano con la profondità.

La falda freatica presente si rinviene a 25 metri di profondità dal p.c..

Nella seguente immagine è rappresentato il modello geologico generale del sito su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici.

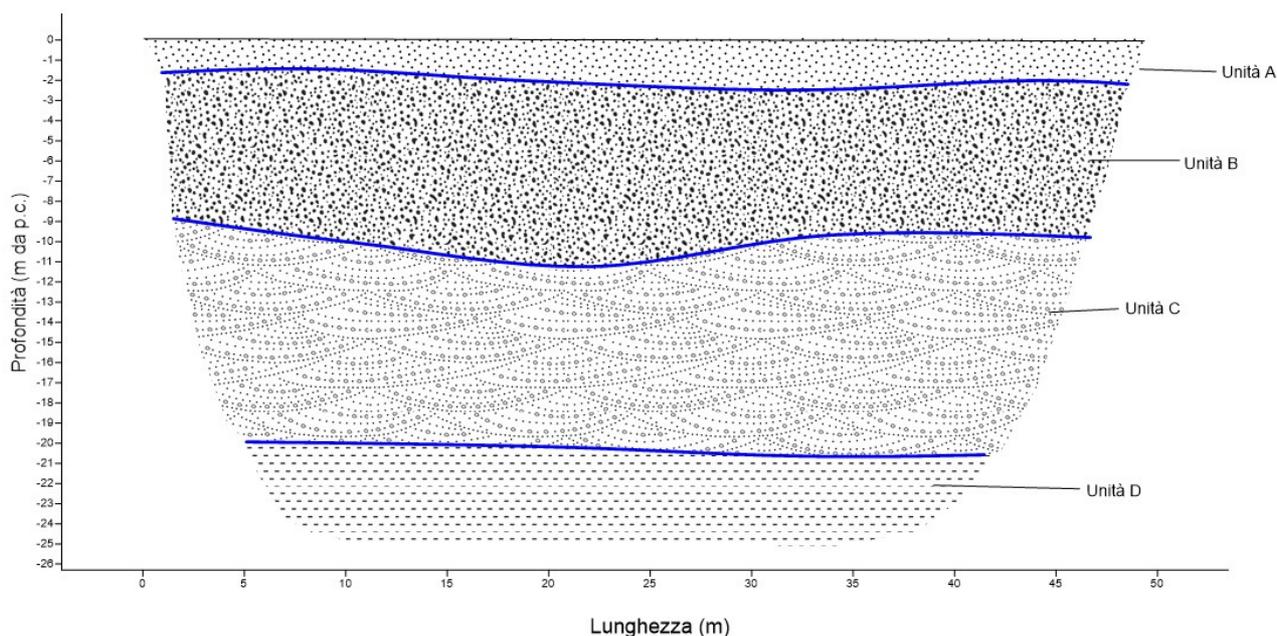


Fig. 28 - Modello geologico del sito su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici.

Lo stesso modello litostratigrafico è presente in corrispondenza del tracciato dell'elettrodotto, opera che si svilupperà in sotterraneo a differenti profondità dal piano campagna in relazione agli attraversamenti ed alle perimetrazioni presenti nel PAI Puglia. A favore di sicurezza infatti, l'elettrodotto sarà installato ad una profondità di circa 2 metri al di sotto degli alvei dei torrenti attraversati ed in corrispondenza degli attraversamenti delle zone a pericolosità idraulica, conservando anche tale profondità in un'area buffer di circa 10 metri dalle su citate perimetrazioni PAI. Il piano di posa nelle zone non interessate da PAI sarà posizionato invece a circa 1,5 metri dal piano campagna.

Per quanto riguarda il modello geologico della sottostazione di servizio è possibile far riferimento alla seguente successione litostratigrafica.

In particolare, per quanto concerne l'area su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici è possibile osservare che l'ammasso roccioso risulta costituito da unità litologiche generalmente sabbioso-siltose e argillose le cui caratteristiche geotecniche tendono a migliorare con l'aumento della profondità e che seguono la seguente successione litostratigrafica: l'unità superficiale (unità A) è riferibile a depositi sabbioso e siltosi poco o debolmente coesi molto alterati, che raggiungono i 2 metri di profondità dal p.c.; la seconda unità (unità B) è riferibile a depositi sabbioso-siltosi e siltosi debolmente coesi a cui è possibile si intercalino livelli ghiaiosi e le cui caratteristiche migliorano con la profondità. In corrispondenza dell'unità B inoltre, l'andamento ondolato delle velocità sismiche permette di ipotizzare la presenza di variazioni granulometriche e di coesione che implicano la presenza di anisotropie laterali di facies litologiche.

La falda freatica presente si rinviene a 13 metri di profondità dal p.c..

Nella seguente immagine è rappresentato il modello geologico generale del sito su cui sarà realizzata la sottostazione di servizio.

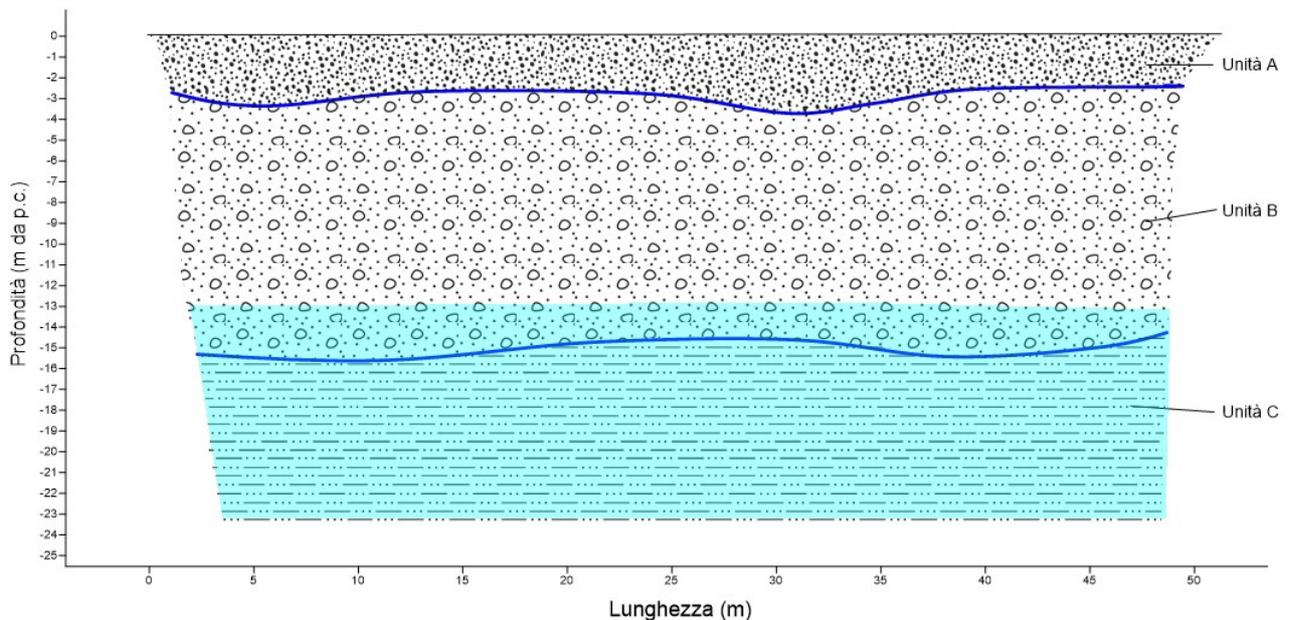


Fig. 29 - Modello geologico del sito su cui sarà realizzata la sottostazione di servizio.

14. Cenni sulla sismicità dell'area

Per definire l'azione sismica di progetto si dovrebbe valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi da condurre in sito. In assenza di tali analisi comunque, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III) e sulle condizioni topografiche. Nell'ambito del presente studio per definire l'azione sismica di progetto è stato utilizzato l'approccio semplificato, utilizzando la categoria di sottosuolo di fondazione desunta dalla prova sperimentale MASW eseguita nell'area di studio e utilizzando i parametri sismici definiti dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>).

14.1 Classificazione sismica

In base alla classificazione sismica dei comuni italiani di cui all'ordinanza n.3274 del 20 marzo 2003 (allegato 1 - Allegato A) il comune di Foggia viene classificato come Zona 2.

14.2 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche (D.M. 17/01/2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in assenza della valutazione della risposta sismica locale sulla base di analisi specifiche è possibile fare riferimento ad una metodologia semplificata basata sulle categorie di sottosuolo di riferimento (Tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018) e sulle categorie topografiche (Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018).

14.2.1 Categoria di sottosuolo di riferimento

Per la determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione sono stati considerati i risultati delle indagini sismiche realizzate nei siti di progetto. Pertanto, sulla base delle risultanze delle indagini sismiche considerate, poichè il substrato sismico non risulta affiorante e presente nei primi 30 metri di profondità dal p.c., è possibile affermare che il profilo stratigrafico del suolo di fondazione delle opere in progetto ricada nella **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.*

14.2.2 Condizioni topografiche

In relazione all'andamento morfologico locale con inclinazione del pendio $i \leq 15^\circ$ è possibile classificare il sito di interesse come categoria: T1 - superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$.

14.3 Pericolosità sismica di Base

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 17.01.2018 introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Le NTC introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_r considerati nella pericolosità sismica, tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in g/10);
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Da un punto di vista normativo pertanto, la pericolosità sismica di un sito non è sintetizzata più dall'unico parametro (a_g), ma dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, dalla Vita Nominale e dalla Classe d'uso dell'opera. I punti del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità Sismica del Territorio Nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato.

Nella tabella seguente, per i vari Stati Limite, sono indicati i valori dei parametri a_g , F_0 e T^*_c , calcolati come media dei valori dei nodi della griglia di riferimento, utilizzando il foglio di calcolo pubblicato nel sito del Ministero Lavori Pubblici, per una costruzione di Classe d'uso II e Vita Nominale ≥ 50 anni.

Tabella: Parametri spettrali: Classe d'uso II - $V_N \geq 50$ anni

Latitudine (ED 50)	Longitudine (ED 50)	Stato limite	T_R (anni)	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
41.489360	15.618833	SLO	30	0,047	2.439	0.294
41.489360	15.618833	SLD	50	0,059	2.513	0.322
41.489360	15.618833	SLV	475	0.144	2.580	0.402
41.489360	15.618833	SLC	975	0.184	2.562	0.428

14.4 Accelerazione massima attesa in superficie

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale è possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui:

S_S , è il coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

S_T , è il coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A,

nel caso in esame, potrà essere assunto:

S_S (Amplificazione stratigrafica) = 1.20 (SLO) – 1.20 (SLD) – 1.20 (SLV) – 1.20 (SLC);

C_c (Coeff. Funzione categoria) = 1.40 (SLO) – 1.38 (SLD) – 1.33 (SLV) – 1.31 (SLC).

$S_T = 1.00$ (categoria topografica T1);

$a_g = 0.047$ g (SLO) - 0.059 g (SLD) – 0.144 g (SLV) – 0.184 g (SLC).

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che A_{max} in funzione degli SL varia nella seguente maniera:

- **A_{max} (SLO) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.41 \cdot 0.047$ g = **0.552 m/s²**;**
- **A_{max} (SLD) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.38 \cdot 0.059$ g = **0.698 m/s²**;**
- **A_{max} (SLV) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.32 \cdot 0.144$ g = **1.689 m/s²**;**
- **A_{max} (SLC) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.30 \cdot 0.184$ g = **2.165 m/s²**.**

I coefficienti sismici inoltre, sono riportati nella seguente tabella:

	Kh [-]	Kv [-]	β [-]
SLO	0,011	0,006	0,200
SLD	0,014	0,007	0,200
SLV	0,041	0,021	0,240
SLC	0,053	0,026	0,240

Dove Kh e Kv sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale desunti dalle seguenti relazioni:

$$K_h = \beta \cdot A_{\max}/g;$$

$$K_v = 0.5 \cdot K_h.$$

15. Considerazioni conclusive

I risultati delle indagini compiute durante i sopralluoghi effettuati direttamente sul campo, le osservazioni delle immagini satellitari della zona e i dati bibliografici consultati permettono di delineare il seguente sintetico quadro geologico, geomorfologico, idrogeologico, geologico-tecnico e sismico.

Lo schema geologico in corrispondenza del sito di progetto, in cui saranno installati i pannelli fotovoltaici, desunto dall'analisi dei dati pregressi, dalla prospezione geologica di superficie e dall'indagine sismica compiuta, è formato dalla seguente successione: l'unità superficiale (unità A) è riferibile a depositi limoso-sabbiosi poco o debolmente coesi molto alterati, che raggiungono i 2 metri di profondità dal p.c.; la seconda unità (unità B) è riferibile a depositi sabbioso-limosi moderatamente addensati a cui è possibile si intercalino livelli ghiaiosi e le cui caratteristiche migliorano con la profondità. La falda freatica presente si rinviene a 25 metri di profondità dal p.c..

Lo stesso modello litostratigrafico è presente lungo il tracciato dell'elettrodotto, opera che si svilupperà in sotterraneo a differenti profondità dal piano campagna in relazione agli attraversamenti ed alle perimetrazioni presenti nel PAI Puglia. A favore di sicurezza infatti, l'elettrodotto sarà installato ad una profondità di circa 2 metri al di sotto degli alvei dei torrenti attraversati, utilizzando la tecnologia TOC ed in corrispondenza degli attraversamenti delle zone a pericolosità idraulica, conservando anche tale profondità in un'area buffer di circa 10 metri dalle su citate perimetrazioni PAI. Il piano di posa nelle zone non interessate da PAI sarà posizionato invece a circa 1,0 metri dal piano campagna.

Lo schema geologico in corrispondenza del sito di progetto, in cui sarà realizzata la sottostazione di servizio invece, desunto dall'analisi dei dati pregressi, dalla prospezione geologica di superficie e dall'indagine sismica compiuta, è formato dalla seguente successione: l'unità superficiale (unità A) è riferibile a depositi sabbioso e siltosi poco o debolmente coesi molto alterati, che raggiungono i 2 metri di profondità dal p.c.; la seconda unità (unità B) è riferibile a depositi sabbioso-siltosi e siltosi debolmente coesi a cui è possibile si intercalino livelli ghiaiosi e le cui caratteristiche migliorano con la profondità. In corrispondenza dell'unità B inoltre, l'andamento ondulato delle velocità sismiche permette di ipotizzare la presenza di variazioni granulometriche e di coesione che implicano la presenza di anisotropie laterali di facies litologiche.

Dal punto di vista idrogeologico, l'unico acquifero presente è quello poroso superficiale la cui soggiacenza dal piano campagna risulta a circa 25 metri di profondità in corrispondenza del campo fotovoltaico e a circa 13 metri di profondità in corrispondenza della sottostazione, e quindi le fondazioni non dovrebbero essere influenzate dalle acque sotterranee. Si fa tuttavia presente la possibilità di rinvenimento di limitate e poco estese falde sospese presenti nelle sacche sabbiose.

A seguito delle indagini sismiche effettuate inoltre, sono state riscontrate velocità delle Vs eq rispettivamente di 528.42 m/s, 363.27 m/s e 425.38 m/s, pertanto è possibile definire quanto segue:

- il suolo di fondazione è attribuibile alla **categoria B** (O.P.C.M. n.3274/del 20.03.2003, Norme Tecniche sulle Costruzioni del 17/01/2018).

L'accelerazione massima di superficie infine, A_{max} , in funzione degli SL varia nella seguente maniera:

- $A_{max} (SLO) = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.41 \cdot 0.047 \text{ g} = \mathbf{0.552 \text{ m/s}^2}$;
- $A_{max} (SLD) = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.38 \cdot 0.059 \text{ g} = \mathbf{0.698 \text{ m/s}^2}$;
- $A_{max} (SLV) = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.32 \cdot 0.144 \text{ g} = \mathbf{1.689 \text{ m/s}^2}$;
- $A_{max} (SLC) = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.30 \cdot 0.184 \text{ g} = \mathbf{2.165 \text{ m/s}^2}$.

Da tali considerazioni è possibile affermare che non sussistono specifici problemi per la realizzazione dell'opera in progetto e delle opere connesse. Particolare cura comunque, dovrà essere rivolta durante i lavori di captazione e smaltimento delle acque sia piovane che, eventualmente, di falda, 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. Si consiglia inoltre di comunicare al sottoscritto l'inizio dei lavori di posa delle fondazioni, 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.

Alberobello, 12.07.2021



The image shows a circular professional stamp on the left and a handwritten signature in blue ink on the right. The stamp contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI", "geologo GIUSEPPE GIGANTE", "N. 718", and "PUGLIA". The signature is written in a cursive style and reads "Giuseppe Gigante".

Dott. Geol. Giuseppe Gigante