



COMUNE DI CARAPELLE



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO IMPIANTO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE DI TIPO FOTOVOLTAICO UTILITY SCALE

Committente:

Green Genius Italy Utility 12 srl

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
R1	11/05/2021	Geol. Gigante G.	Geol. De Giorgio G.	MBG	Seconda Emissione

Numero Commessa:

SV317b

Data Elaborato:

11/05/2021

Revisione:

R1

Titolo Elaborato:

Relazione Geologica

Progettista:

ing. Marco G. 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

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. UBICAZIONE DELL'AREA.....	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO	7
5. GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA DEL TERRITORIO.....	10
6. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	12
7. CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICA	14
8. INDAGINE PENETROMETRICA	17
8.1 RISULTATI DELLA PROVA PENETROMETRICA	18
8.2 ANALISI DEI RISULTATI	21
9. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ..25	
9.1 IL METODO DELLA SISMICA A RIFRAZIONE	25
9.2 METODO MASW.....	25
9.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	26
10. RISULTATI DELL'ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE	27
10.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI	27
10.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	28
10.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	30
11. ANALISI MASW	33
11.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI	33
11.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI	36
11.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI	39
12. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE DEI SITI DI PROGETTO	42
12.1 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO AA'	42
12.2 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO BB'	43
12.3 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO CC'	43
13. CARATTERIZZAZIONE ELASTICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	44
14. CARATTERI GEOLOGICI SITO SPECIFICI	45
14.1 MODELLO GEOLOGICO DEI TERRENI IN CORRISPONDENZA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	45
14.2 MODELLO GEOLOGICO DEI TERRENI IN CORRISPONDENZA DELLA SOTTO STAZIONE DI SERVIZIO.....	46
14.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TRACCIATO DELL'ELETTRODOTTO ED ANALISI DELLE INTERSEZIONI CON IL RETICOLO IDROGRAFICO	47
14.3.1 Attraversamento n.01 - Lama	50
14.3.2 Attraversamento n.02 - Canale Peluso.....	51
14.3.3 Attraversamento n.03 - Canale Pesca	51
14.3.4 Attraversamento n.04 - Canale Carapelluzzo	52
14.3.5 Attraversamento n.05 - Affluente Canale Macchia Rotonda.....	53
15. CENNI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA	55
15.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA	55
15.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (D.M. 17/01/2018).....	55
15.2.1 Categoria di sottosuolo di riferimento	55
15.2.2 Condizioni topografiche	55
15.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	55

15.4 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	56
15.5 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE DELLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA.....	57
16. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	59

1. Premessa

La presente relazione geologica, redatta in conformità dell'art. 26 comma 1 lett. a) del D.P.R. 207/2010, 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 Carapelle, in provincia di Foggia, su cui verranno installati pannelli fotovoltaici e denominato “**CAR01 – La Pescia**”. L'iniziativa nello specifico, prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico destinato alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili integrato da un progetto agronomico.

Per ottimizzare la produzione agronomica e la produzione energetica, è stato scelto di realizzare l'impianto fotovoltaico mediante strutture ad inseguimento mono-assiale N-S (trackers). L'impianto fotovoltaico, avrà una potenza nominale pari a 24 MWn ed una potenza di picco di 30.66336 MWp e comprenderà 96 inverter da 250 kVA @30°C. Gli inverter saranno connessi a gruppi a un trasformatore 800/30.000 V. Presso l'impianto verranno realizzate le cabine di campo e la cabina principale di impianto, dalla quale si dipartiranno le linee di collegamento di media tensione interrate verso la Sotto Stazione Utente AT/MT – Punto di Consegna RTN Terna.

Lo studio pertanto 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) e dirette (prova penetrometriche) 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;
- n.1 indagine penetrometrica.

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);
- DPR 207/2010;
- 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 orientale del Comune di Carapelle (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 II SO "Stazione di Ortanova" e F°164 II NO "Borgo Mezzanone": fonte: www.sit.puglia.it (fig. 1a);
- Immagine satellitare anno 2015; fonte: www.sit.puglia.it (fig. 1b).
- Carta Tecnica Regionale elemento 409144, 409143 e 422024 della Regione Puglia (fig. 1c).

Inoltre il sito ricade nel Foglio 409 "Zapponeta" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 per la parte relativa all'elettrodotto e la sottostazione di servizio, mentre ricade nel Foglio 422 "Cerignola" in corrispondenza dell'area su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici. Il sito in cui saranno installati gli impianti fotovoltaici è caratterizzato da una superficie sub-pianeggiante che si eleva a circa 35-40 metri s.l.m.,

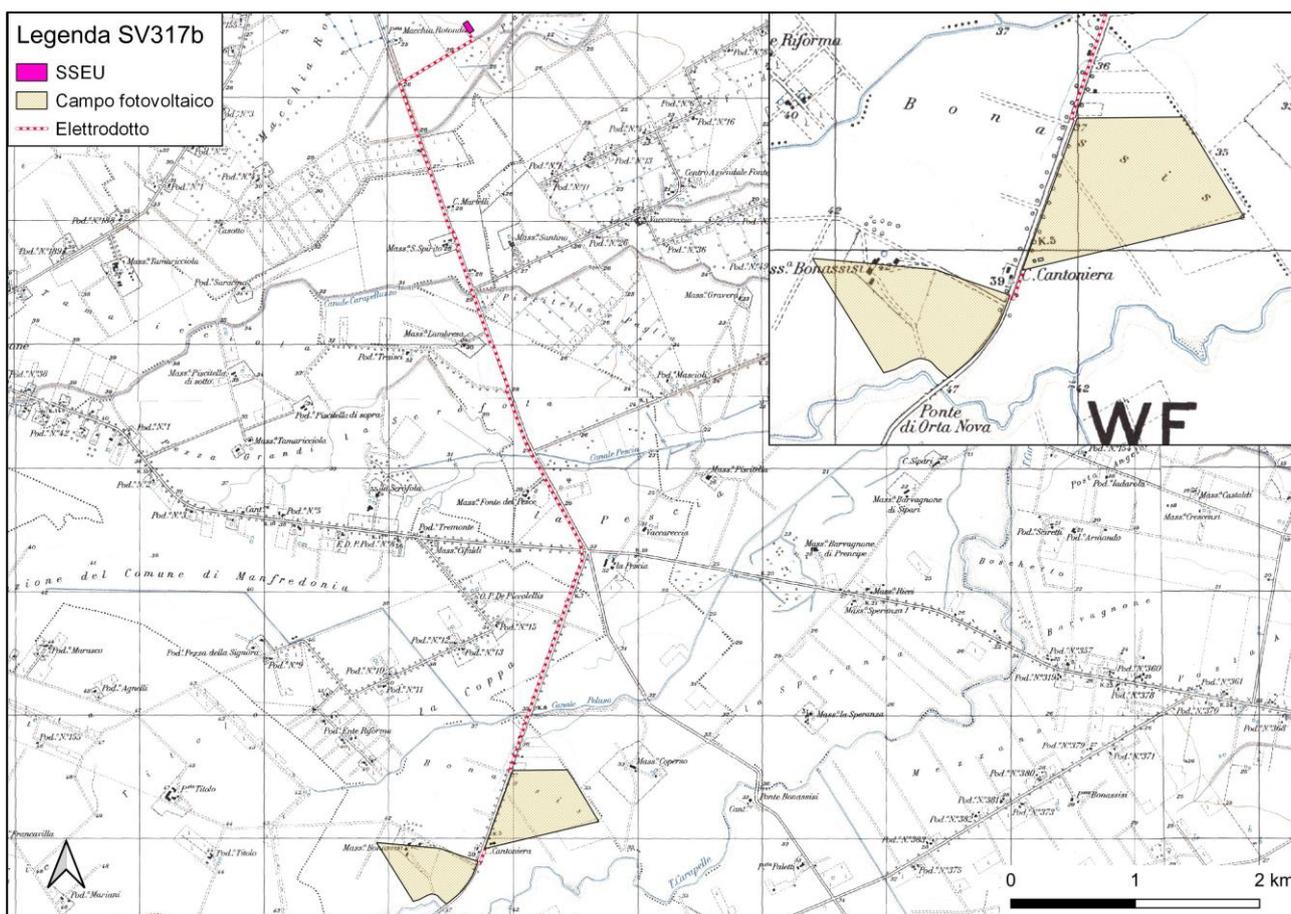


Fig. 1a - Stralcio delle Tavolette IGMI F°164 II SO "Stazione di Ortanova" e F°164 II NO "Borgo Mezzanone". Fonte: www.sit.puglia.it.

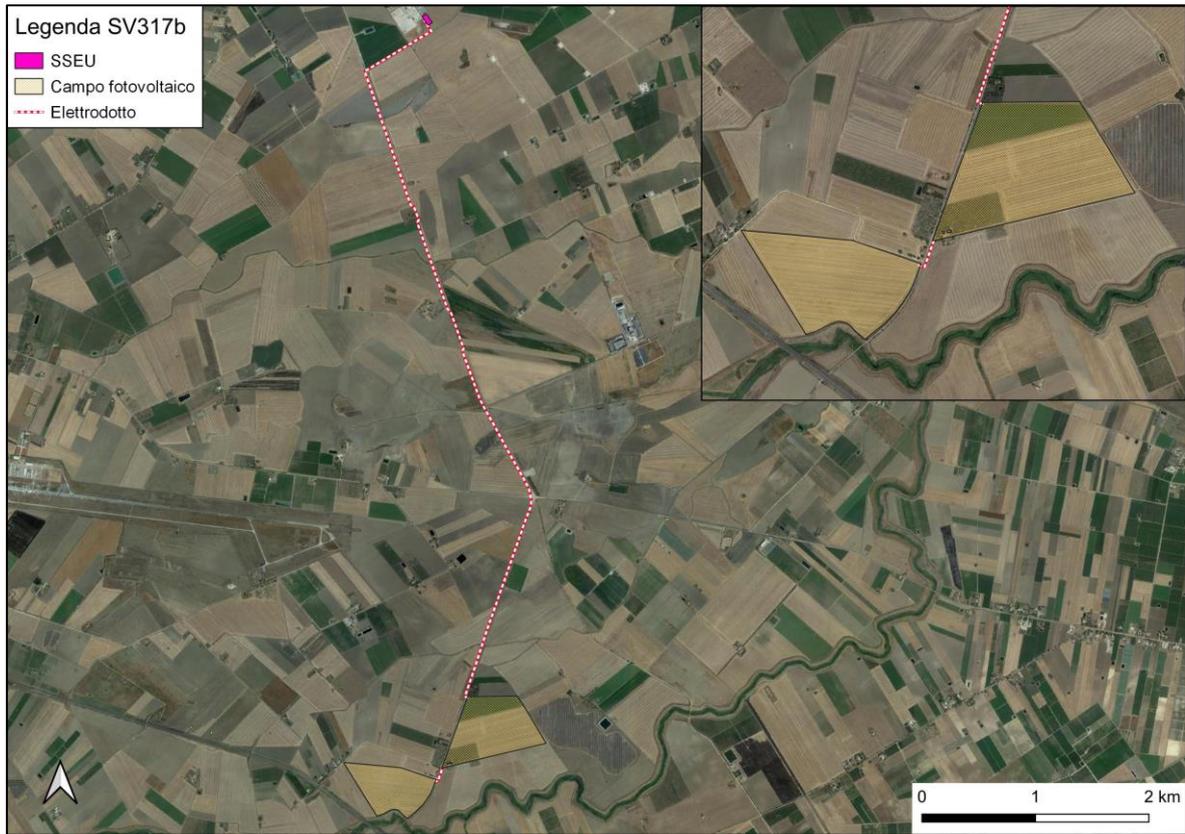


Figura 1b - Ubicazione del sito su Immagine satellitare del 2015. Fonte: www.sit.puglia.it

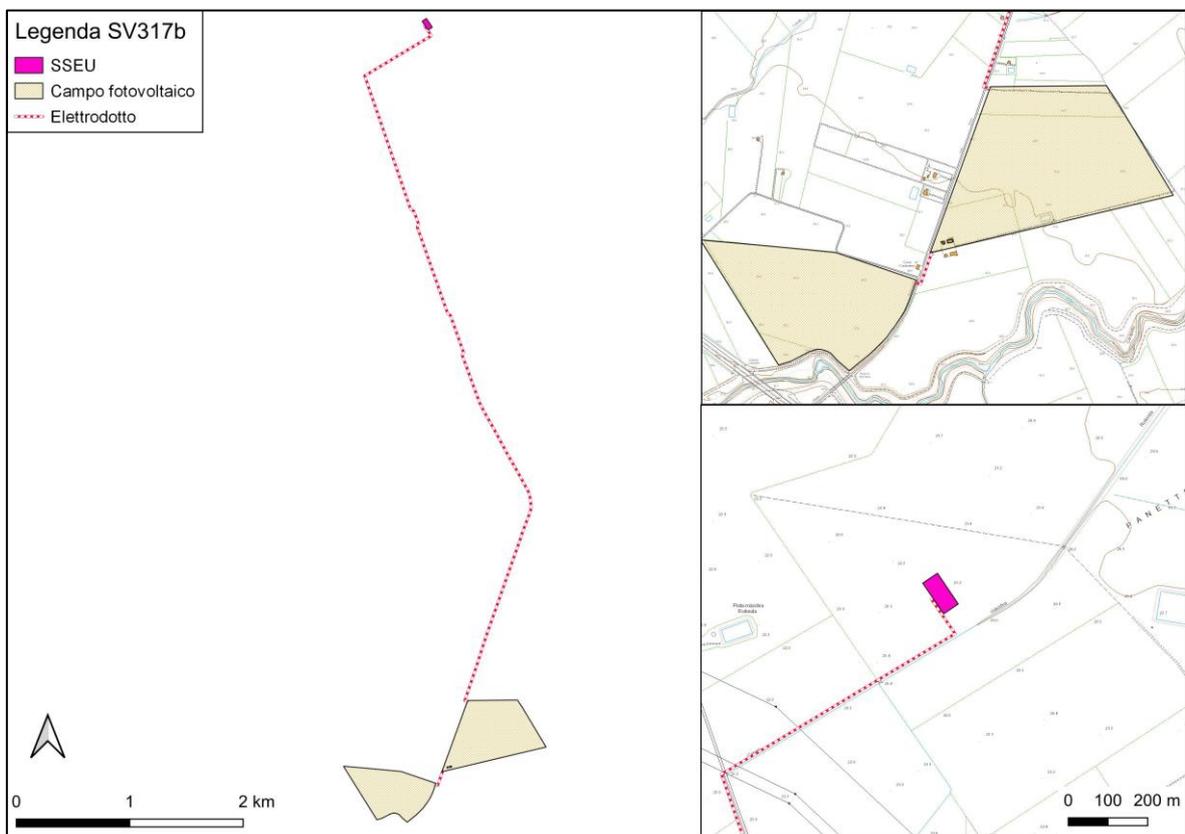


Figura 1c - Ubicazione del sito su CTR Regionale. Fonte: www.sit.puglia.it

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 settentrionale del Foglio 422 "Cerignola" ed in quella meridionale del Foglio 409 "Zapponeta". Quest'area è 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 in conformi di diverso rango gerarchico (SALVADOR, 1987, 1994) ed hanno permesso l'elaborazione degli schemi stratigrafici riportati in seguito, di cui il primo riferibile al Tavoliere nel suo complesso, e gli altri due riguardanti nello specifico i rapporti stratigrafici delle unità deposizionali riconosciute in corrispondenza delle principali aste fluviali che solcano il Tavoliere: il Carapelle e l'Ofanto (fig. 2).

Con riferimento allo schema dei rapporti stratigrafici presente in figura 2, è possibile evidenziare che nel sito di progetto risultano presenti in affioramento i depositi del SINTEMA dei Torrenti CARAPELLE e CERVARO, indicati con la sigla RPL e suddivisi in subsintesi che maggiormente dettagliano i caratteri litologici delle unità presenti (RPL₁, RPL₂, RPL₃). Essi poggiano in contatto erosivo sui sottostanti depositi marini riferibili al SINTEMA di Cerignola ed in particolare ad una delle due unità che la costituiscono, le SABBIE di Torre Quarta (STQ). Tale unità passa mediante contatto erosivo al sottostante Sintema delle Argille Subappennine, che nell'area di studio dovrebbe essere posizionato a circa 40 metri di profondità dal piano campagna.

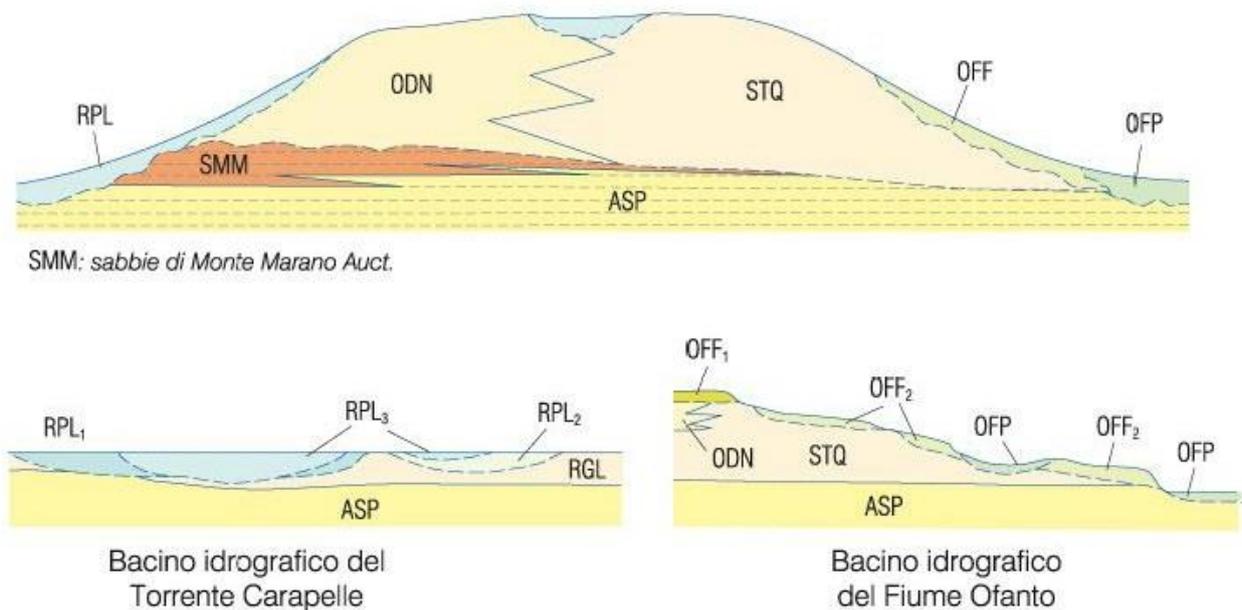


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici del F°422 “Cerignola” in cui ricade l’area di studio. Si segnala un errore di stampa nello schema dei rapporti stratigrafici del Bacino del Torrente Carapelle, dove viene indicata erroneamente con la sigla RGL l’unità delle Sabbie di Torre Quarto che invece sarebbero dovute essere indicate con la sigla STQ. Fonte: www.isprambiente.gov.it

Con riferimento specifico ai caratteri geologici presenti in corrispondenza del sito di progetto invece, desunti dall’analisi della Carta Geologica riportata nel Foglio 422 Cerignola e 409 Zapponeta, ed illustrata in figura 3, è possibile osservare che la verticale stratigrafica, sia per il campo fotovoltaico che per la sottostazione elettrica sarà composta, dall’alto verso il basso, dalle seguenti unità:

- Subsistema dell’Incoronata (RPL₁);
- Sabbie di Torre Quarto (STQ), facente parte del Sistema di Cerignola;
- Argille subappennine (ASP).

Le uniche differenze riguardano lo spessore del subsistema RPL₁ che affiora in entrambe le zone, massimo di 15 metri in corrispondenza del campo fotovoltaico e di circa 25 metri in corrispondenza della sottostazione di servizio.

Subsistema dell’Incoronata (RPL₁)

Questi sedimenti affiorano nel settore settentrionale del Foglio “Cerignola” in destra ed in sinistra orografica del Torrente Carapelle. Si tratta di depositi sabbiosi con intercalazioni di livelli argilloso-limosi e ghiaiosi, questi ultimi disposti principalmente alla base della successione alluvionale. Il limite inferiore è rappresentato da una superficie di erosione sulle sottostanti sabbie di Torre Quarto (STQ), mentre il limite superiore coincide con i depositi alluvionali riferiti al subsistema delle Marane La Pidocchiosa - Castello (RPL₃). I depositi appartenenti al subsistema dell’Incoronata sono sopraelevati di pochi metri rispetto all’alveo attuale ed hanno uno spessore che può raggiungere i 5-10 metri circa. Gli affioramenti sono rari e sono localizzati in corrispondenza di modesti solchi di erosione a nord del Torrente Carapelle e in corrispondenza di scavi per fondazioni osservati nel centro abitato di Carapelle. In corrispondenza del sito lo spessore di questa unità risulta essere di circa 10-12 metri.

Sabbie di Torre Quarto (STQ)

Questa unità è posizionata a letto del subsistema RPL₁ ed è costituita da sabbie medie e fini di color giallo ocre, generalmente poco cementate, in strati di spessore variabile e con intercalazioni di livelli decimetrici di arenarie cementate, e di argille e silt di colore giallastro. Lo spessore dell'unità in corrispondenza della verticale stratigrafica del sito è di circa 20 metri.

Argille Subappennine (ASP)

Alla base delle Sabbie di Torre Quarto è presente il substrato costituito dalle Argille Subappennine, unità formata da argille siltose e silt sabbiosi aventi la tipica colorazione grigio azzurra, compatti e coesi e che si sviluppano per diverse centinaia di metri in profondità.

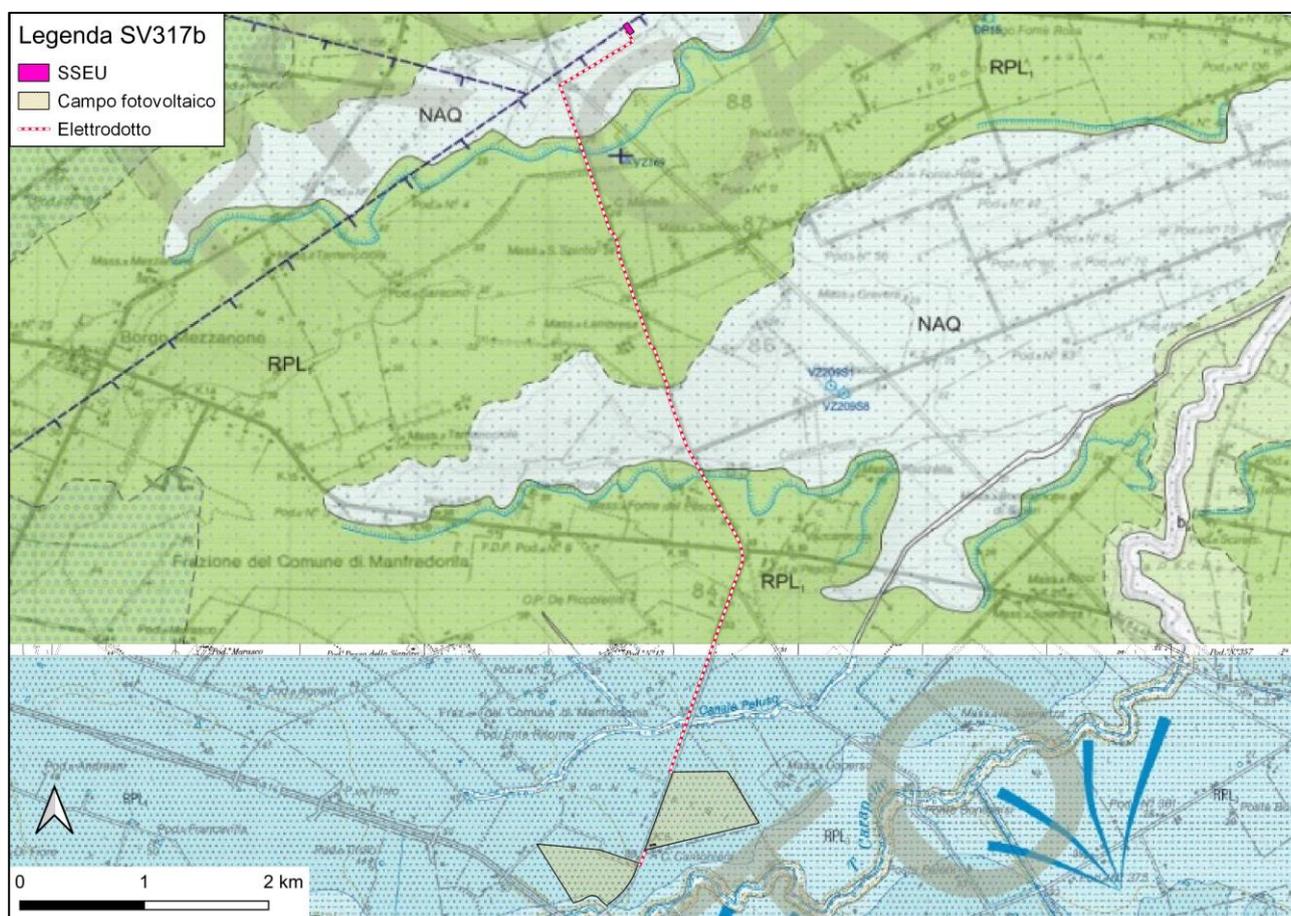


Figura 3 – Stralcio del Foglio 422 “Cerignola” e 409 “Zapponeta” con indicazione dell’area di progetto.
 Fonte: www.isprambiente.gov.it

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 (Torrente Cervaro, Torrente Candelaro, Torrente Carapelle, Torrente Celone) e da locali canali e/o marane a deflusso spiccatamente stagionale, e degradanti con deboli pendenze verso la linea di costa adriatica. 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.

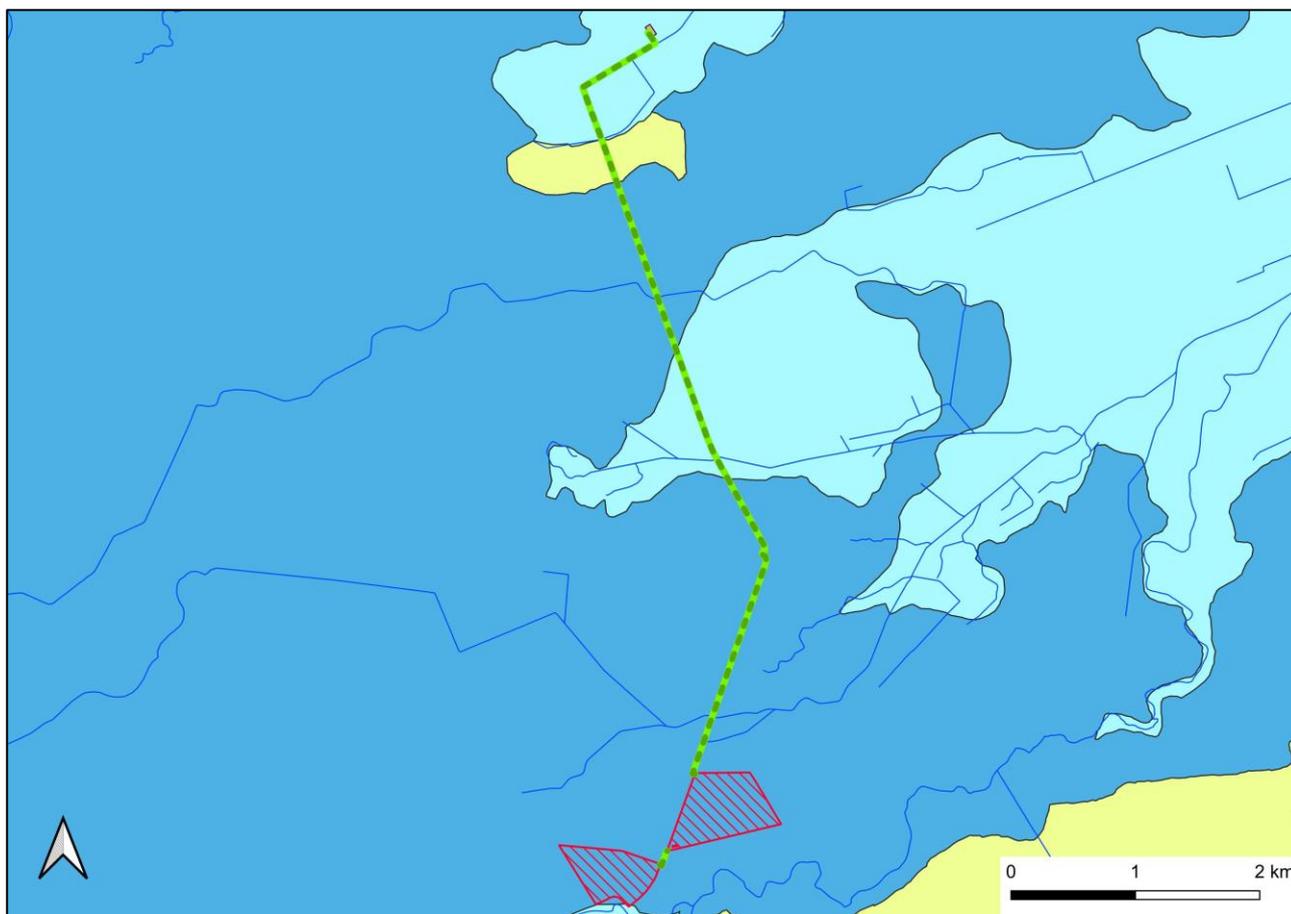


Fig.3 - Stralcio della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (www.adb.puglia.it).

L'area di intervento è situata a circa 6 km ad Est dal centro abitato di Carapelle (FG). Il sito dove saranno installati i pannelli fotovoltaici è posizionato in sinistra orografica del Torrente Carapelle, nella parte intermedia del bacino idrografico del fiume, mentre l'elettrodotto, partendo dalla zona nord-occidentale del sito, attraverserà una serie di impluvi, e poi seguendo

6. Lineamenti idrogeologici

Le unità acquifere principali presenti nell'area del Tavoliere, settore geostrutturale in cui è posizionata l'area di progetto, sono quelle che caratterizzano la seguente successione, dal basso verso l'alto:

- acquifero fessurato-carsico profondo;
- acquifero poroso profondo;
- acquifero poroso superficiale.

Acquifero fessurato carsico profondo

L'unità più profonda trova sede nelle rocce calcaree del substrato prepliocenico dell'Avanfossa appenninica ed è in continuità (nel settore sud-orientale) con la falda carsica murgiana. Dato il tipo di acquifero, la circolazione idrica sotterranea è condizionata in maniera significativa sia dalle numerose faglie che dislocano le unità sepolte della Piattaforma Apula che dallo stato di fratturazione e carsificazione della roccia calcarea. Nel Foglio "Cerignola" la possibilità di utilizzo di questa risorsa idrica è limitata alle zone dove le unità calcaree si trovano a profondità inferiori a qualche centinaio di metri, in pratica in prossimità del bordo ofantino del Tavoliere. In prossimità del bordo ofantino l'acquifero fessurato-carsico profondo è alimentato dalle acque del sottosuolo murgiano, come è anche dimostrato sulla base di dati idrochimici.

Acquifero poroso profondo

L'acquifero poroso profondo si rinviene nei livelli sabbioso-limosi e, in minor misura, ghiaiosi, presenti a diverse altezze nella successione argillosa plioleistocenica. Al momento sono ancora poco note la distribuzione spaziale e la geometria di questi corpi idrici, nonché le loro modalità di alimentazione e di deflusso. I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità variabili tra i 150 m e i 500 m dal piano campagna ed il loro spessore non supera le poche decine di metri. Nelle lenti più profonde, si rinvencono acque connate, associate a idrocarburi, che si caratterizzano per i valori piuttosto elevati della temperatura (22-26°C) e per la ricorrente presenza di idrogeno solforato. La falda è ovunque in pressione e presenta quasi sempre caratteri di artesianità. La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo. In genere, la produttività tende a diminuire rapidamente a partire dall'inizio dell'esercizio del pozzo facendo registrare, in alcuni casi, il completo esaurimento della falda. Ciò dimostra che tali livelli possono costituire soltanto delle limitate fonti di approvvigionamento idrico, essendo la ricarica molto lenta. I traccianti geochimici relativi dalle analisi condotte da MAGGIORE (1996) per le acque circolanti in questo acquifero, pur evidenziando una notevole variabilità composizionale, mostrano una generale prevalenza dello ione sodio e dello ione bicarbonato mentre calcio, cloruri e solfati sono presenti in concentrazioni più basse. Questo porta a definire la facies idrochimica di queste acque come bicarbonato-sodica. Altra caratteristica è rappresentata dalla bassa salinità totale (<0.6 g/l), che tende tuttavia ad aumentare in prossimità del mare, e dalla prevalenza dello ione sodio sullo ione cloruro e sullo ione calcio. Infatti, i rispettivi rapporti caratteristici assumono valori di gran lunga superiori all'unità che, pur ammettendo un contributo da parte delle acque marine, risulta spiegabile solo ipotizzando un fenomeno di interazione tra gli ioni in soluzione e la matrice porosa dell'acquifero. Trattandosi, quindi, di acque con elevati valori di sodio, il loro utilizzo in agricoltura è fortemente sconsigliato soprattutto in presenza di terreni limo-argillosi, affioranti prevalentemente nella parte bassa del Tavoliere.

Acquifero poroso superficiale

L'unità acquifera principale (acquifero poroso superficiale), in termini di estensione e sfruttamento, è rappresentata dai depositi quaternari di copertura del Tavoliere. 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, la superficie piezometrica della falda acquifera, in stato di quiete, è compreso tra 10 m slm (-35 m dal piano campagna) e -10 m slm (-45 m dal p.c.), mostra cioè un notevole grado di depressione legata molto probabilmente agli eccessivi prelievi dei numerosi pozzi superficiali presenti (Fig.5).

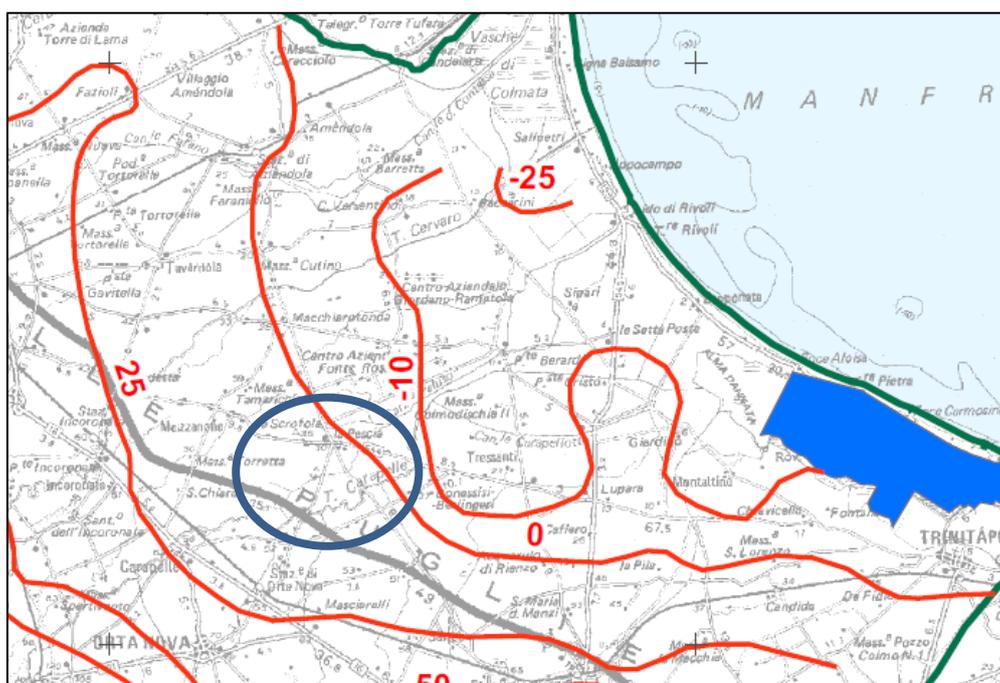


Figura 5 – Stralcio della carta dei carichi piezometri dell'acquifero poroso superficiale del Tavoliere delle Puglia.
(Fonte: Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia)

7. Campagna di indagini geognostica

La campagna di indagini geognostiche di tipo indiretto e diretto, come detto in premessa, è consistita nell'esecuzione delle seguenti prove;

- 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;
- realizzazione di n.1 prova penetrometrica dinamica super pesante (Dynamic Probing Super Heavy).

L'indagine sismica è consistita nell'esecuzione di 3 profili di sismica a rifrazione onde P (di lunghezza entrambi pari a 48m in direzione NW/SE) e di 3 acquisizioni di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Wave) di lunghezza pari a 48m, sulla stessa traccia delle indagini tomografiche. In corrispondenza del campo fotovoltaico sono state realizzate n.2 tomografie sismiche (sigla: AA' e BB' entrambe di 48 m di lunghezza) e l'indagine penetrometrica, mentre in corrispondenza della Sottostazione di servizio è stata realizzata n.1 tomografia sismica (sigla: CC' avente lunghezza di 36 m).

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

A - 15.762714 - 41.385972

A' - 15.763172 - 41.386057.

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

B - 15.7672144 - 41.3899958

B' - 15.7667728 - 41.3900094.

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

C - 15.761697 - 41.444285

C' - 15.761483 - 41.444566.

L'indagine diretta è invece consistita nella realizzazione di una prova penetrometrica Super Pesante (DYNAMIC PROBING SUPER HEAVY), spinta fino a 11.00 m dal piano campagna, la cui ubicazione è definita dalle coordinate geografiche di seguito riportate:

Lat.: 41°23'18.23"N - Long.: 15°45'50.23" E

L'ubicazione delle indagini è illustrata nella seguente figura:

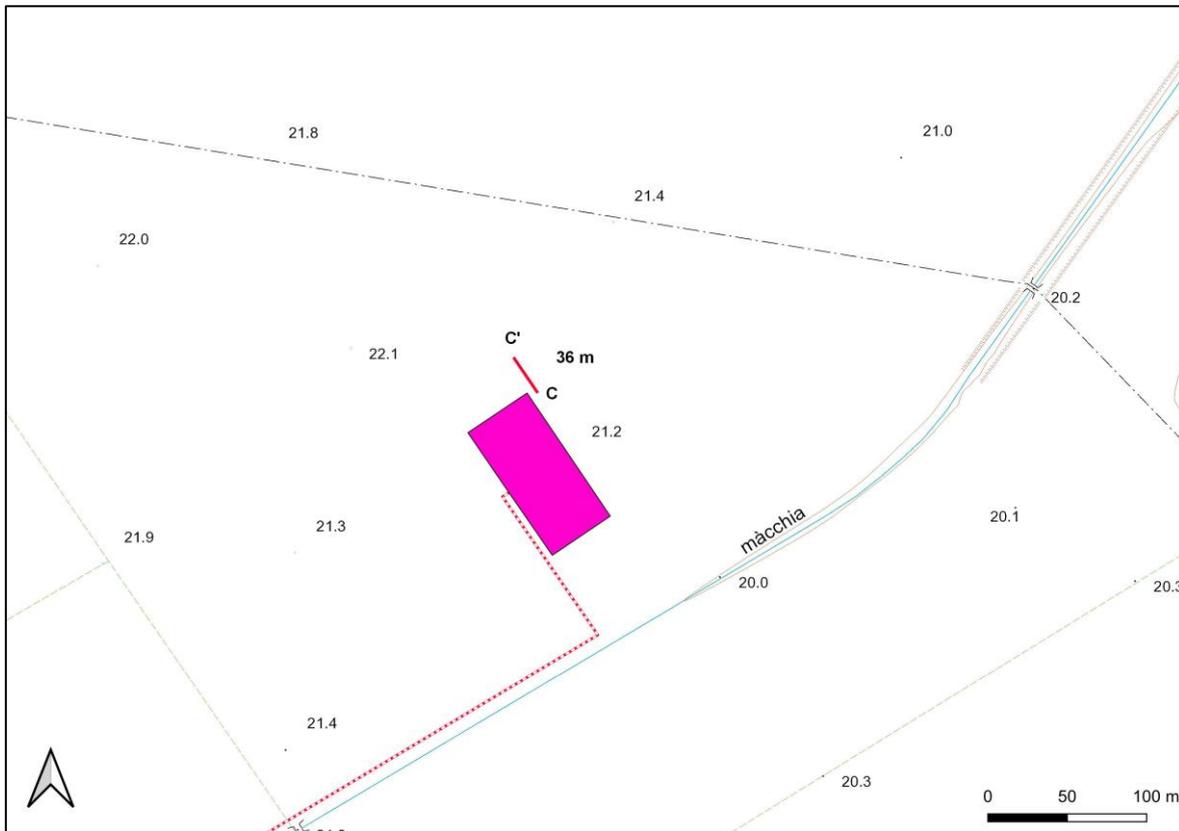
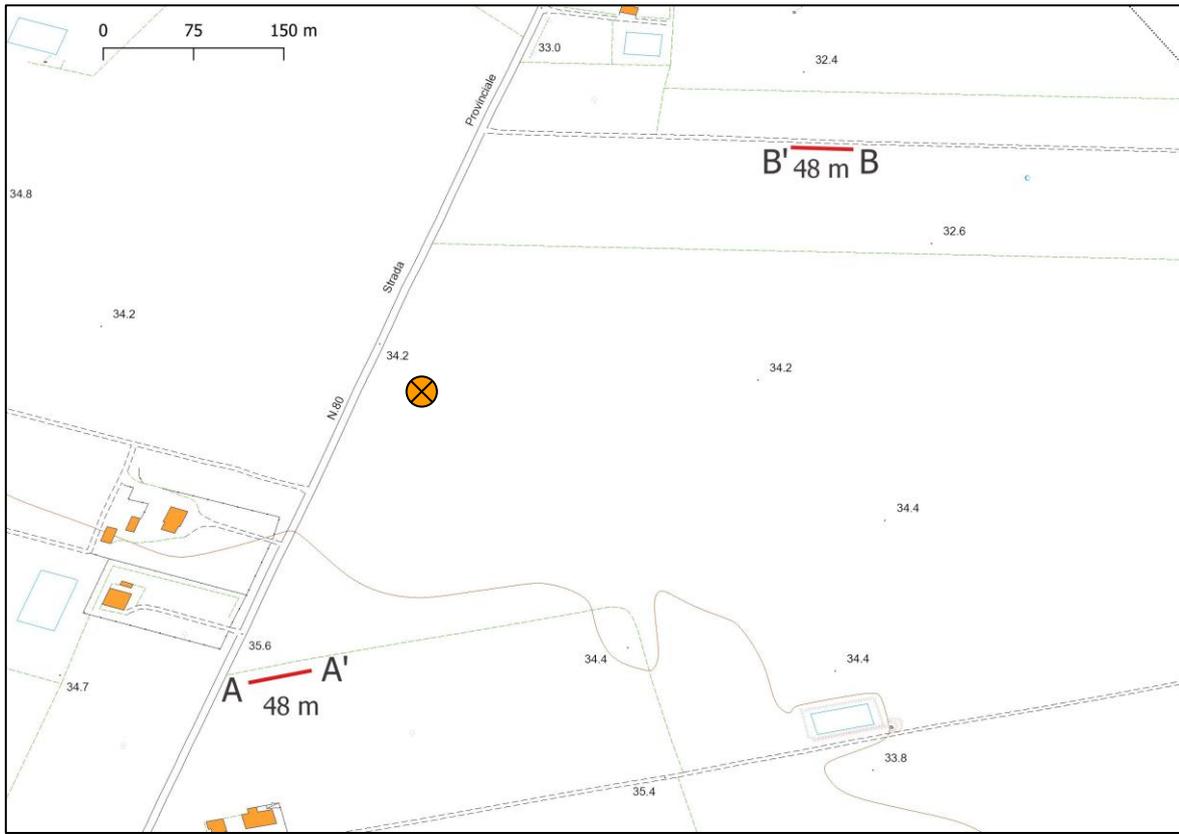


Fig.6a - Ubicazione degli stendimenti sismici e della prova penetrometrica



Fig.6b – Immagini degli stendimenti sismici e della prova penetrometrica

8. Indagine penetrometrica

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei depositi presenti nel sito di indagine, è stata eseguita una campagna di indagine di prospezione geologica dei terreni a mezzo di N° 1 Prova Penetrometrica Dinamica Superpesante (Dynamic Probing Super Heavy) all'interno della sagoma di ingombro delle opere in progetto.

La prova penetrometrica dinamica consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione, secondo una procedura standardizzata.

Le prove in sito sono state effettuate utilizzando un penetrometro dinamico modello DPSH63-73 della GEO DEEP DRILL, con attrezzatura superpesante DPSH (peso massa battente $M \geq 60$ kg), eseguite secondo lo standard DIN 4094 (la prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi N20 necessari).

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH63-73 GEO DEEP DRILL	
Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,4 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	5,00 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20,00 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,30 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60°

La resistenza opposta dal terreno alla punta conica viene correlata alle caratteristiche fisico-meccaniche e portanti del terreno, consentendo inoltre di riconoscere, con buona approssimazione, la stratigrafia del sottosuolo; il tutto fino alla profondità a cui la resistenza del terreno è tale da non permetterne più l'infissione (rigetto della punta).

Per il riconoscimento ed il calcolo delle più significative caratteristiche fisico-meccaniche del terreno di fondazione, sono state elaborate le norme relative al penetrometro superpesante medio italiano usato per le prove (DPSH63-73 GEO DEEP DRILL).

Attraverso la nota "Formula degli Olandesi", di seguito riportata, si è ricavato la resistenza dinamica alla punta (altrimenti detta resistenza di rottura dinamica alla punta) (Rpd), parametro caratteristico dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo.

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]} [kg/cmq]$$

Dove:

Rpd = resistenza dinamica punta;

A = 10 cmq (sezione della punta conica);

e = infissione media per colpo ($10 / N$) = $10 / N$ cm (con N corrispondente al n° di colpi per ogni approfondimento di 10 cm);

M = peso massa battente (maglio) pari a 30 Kg

H = altezza caduta massa battente pari a 20 cm;

P = peso totale aste e sistema battuta pari a 14,9 kg (2,9 Kg/m peso delle aste + 12 Kg peso dell'incudine).

La resistenza dinamica alla punta (Rpd) è correlata alla pressione ammissibile specifica sull'interstrato (Qad altrimenti detta portanza) (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20 ÷ 22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4.

$$Qad = \frac{Rpd}{[20 \div 22]} [kg/cm^2]$$

Dall'elaborazione delle risultanze delle prove penetrometriche dinamiche, attraverso l'utilizzo del software Dynamic Probing versione 2020.26.5.999 ci si è ricavati i principali parametri fisico meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati.

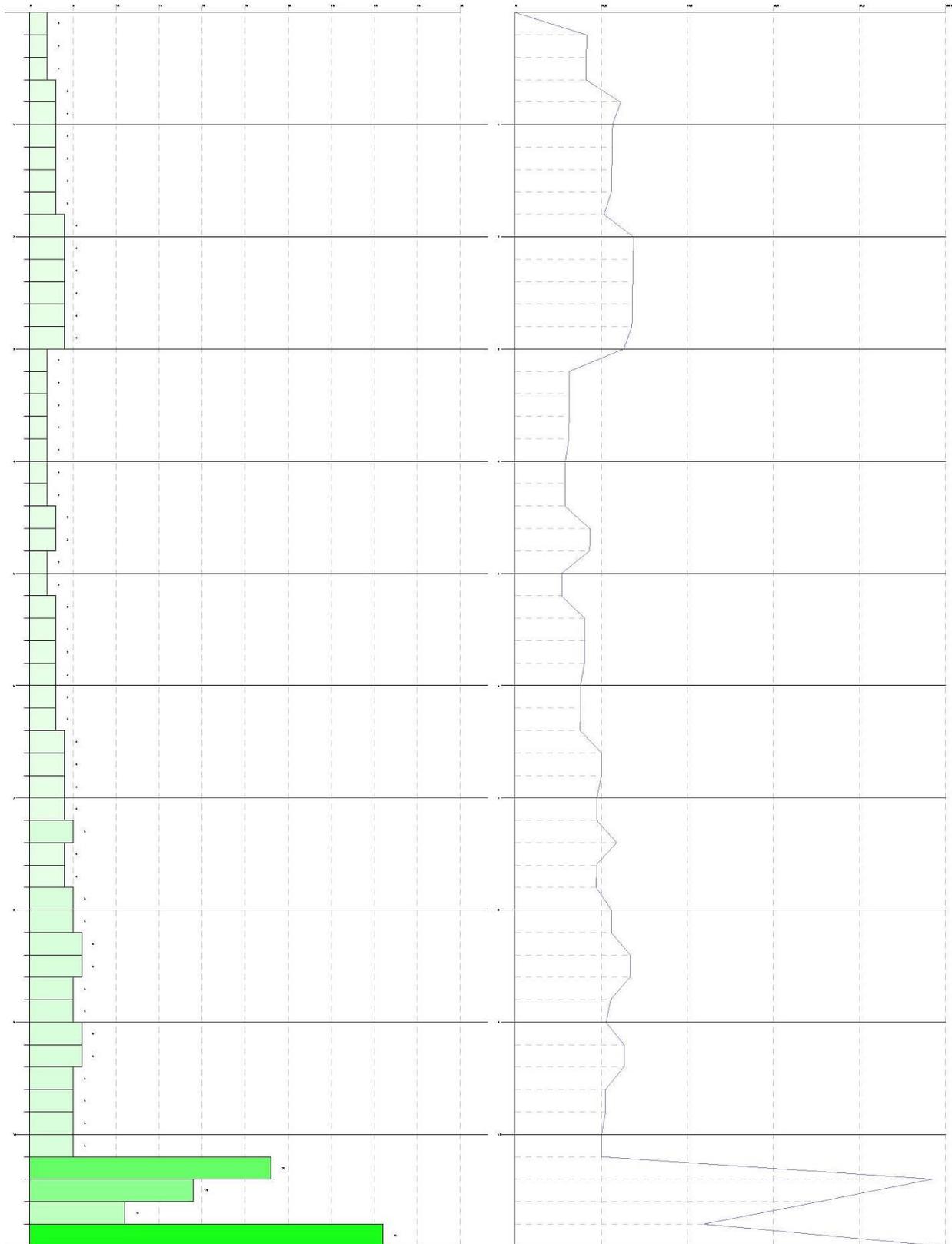
8.1 Risultati della prova penetrometrica

I risultati di sito della prova **DINAMIC PROBING SUPER HEAVY N° 1** realizzata sono riportati nella seguente tabella.

Strumento utilizzato: **DPSH63-73 GEO DEEP DRILL (superpesante)**
 Prova eseguita in data: **16/09/2020**
 Profondità prova: **11,00 mt**
 Falda (profondità dal p.c.): **NON RILEVATA**
 Certificato **Nr. 1 del 16.09.2020**
 Tipo elaborazione nr. colpi **Medio**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	2	0,851	16,54	19,44	0,83	0,97
0,60	2	0,847	16,46	19,44	0,82	0,97
0,80	3	0,843	24,59	29,15	1,23	1,46
1,00	3	0,840	22,65	26,97	1,13	1,35
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	3	0,833	22,46	26,97	1,12	1,35
1,60	3	0,830	22,37	26,97	1,12	1,35
1,80	3	0,826	22,29	26,97	1,11	1,35
2,00	4	0,823	27,54	33,45	1,38	1,67
2,20	4	0,820	27,44	33,45	1,37	1,67
2,40	4	0,817	27,34	33,45	1,37	1,67
2,60	4	0,814	27,24	33,45	1,36	1,67
2,80	4	0,811	27,14	33,45	1,36	1,67
3,00	4	0,809	25,29	31,27	1,26	1,56
3,20	2	0,806	12,60	15,64	0,63	0,78
3,40	2	0,803	12,56	15,64	0,63	0,78
3,60	2	0,801	12,52	15,64	0,63	0,78
3,80	2	0,798	12,48	15,64	0,62	0,78
4,00	2	0,796	11,69	14,68	0,58	0,73
4,20	2	0,794	11,65	14,68	0,58	0,73
4,40	2	0,791	11,62	14,68	0,58	0,73
4,60	3	0,789	17,38	22,02	0,87	1,10
4,80	3	0,787	17,33	22,02	0,87	1,10
5,00	2	0,785	10,86	13,83	0,54	0,69

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
5,20	2	0,783	10,83	13,83	0,54	0,69
5,40	3	0,781	16,21	20,75	0,81	1,04
5,60	3	0,779	16,17	20,75	0,81	1,04
5,80	3	0,777	16,13	20,75	0,81	1,04
6,00	3	0,775	15,22	19,62	0,76	0,98
6,20	3	0,774	15,18	19,62	0,76	0,98
6,40	3	0,772	15,15	19,62	0,76	0,98
6,60	4	0,770	20,15	26,16	1,01	1,31
6,80	4	0,769	20,11	26,16	1,01	1,31
7,00	4	0,767	19,03	24,81	0,95	1,24
7,20	4	0,766	18,99	24,81	0,95	1,24
7,40	5	0,764	23,70	31,01	1,18	1,55
7,60	4	0,763	18,92	24,81	0,95	1,24
7,80	4	0,761	18,89	24,81	0,94	1,24
8,00	5	0,760	22,41	29,49	1,12	1,47
8,20	5	0,759	22,37	29,49	1,12	1,47
8,40	6	0,757	26,79	35,38	1,34	1,77
8,60	6	0,756	26,75	35,38	1,34	1,77
8,80	5	0,755	22,25	29,49	1,11	1,47
9,00	5	0,753	21,18	28,11	1,06	1,41
9,20	6	0,752	25,37	33,73	1,27	1,69
9,40	6	0,751	25,33	33,73	1,27	1,69
9,60	5	0,750	21,08	28,11	1,05	1,41
9,80	5	0,749	21,05	28,11	1,05	1,41
10,00	5	0,748	20,07	26,85	1,00	1,34
10,20	5	0,747	20,04	26,85	1,00	1,34
10,40	28	0,646	97,05	150,35	4,85	7,52
10,60	19	0,694	70,85	102,02	3,54	5,10
10,80	11	0,743	43,91	59,07	2,20	2,95
11,00	41	0,542	114,29	210,73	5,71	10,54



8.2 Analisi dei risultati

I risultati della prova eseguita sono stati elaborati per la definizione del modello geotecnico specifico della zona in cui è stata realizzata l'indagine. Sono stati infatti accorpatisi in intervalli "geotecnicamente" confrontabili i risultati specifici degli avanzamenti dei 20 cm lungo la verticale stratigrafica e definito quindi il modello geotecnico.

Nelle tabelle seguenti vengono illustrate le analisi compiute e sintetizzato il modello geotecnico di riferimento per il sito di indagine.

MODELLO GEOTECNICO SPT N° 1

Profondità prova:

11,00 mt

Falda:

non rinvenuta

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	3	0,855	24,92	29,15	1,25	1,46
0,40	3	0,851	24,80	29,15	1,24	1,46
0,60	3	0,847	24,69	29,15	1,23	1,46
0,80	3	0,843	24,59	29,15	1,23	1,46
1,00	3	0,840	22,65	26,97	1,13	1,35
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	3	0,833	22,46	26,97	1,12	1,35
1,60	3	0,830	22,37	26,97	1,12	1,35
1,80	3	0,826	22,29	26,97	1,11	1,35
2,00	4	0,823	27,54	33,45	1,38	1,67
2,20	4	0,820	27,44	33,45	1,37	1,67
2,40	4	0,817	27,34	33,45	1,37	1,67
2,60	4	0,814	27,24	33,45	1,36	1,67
2,80	4	0,811	27,14	33,45	1,36	1,67
3,00	4	0,809	25,29	31,27	1,26	1,56
3,20	2	0,806	12,60	15,64	0,63	0,78
3,40	2	0,803	12,56	15,64	0,63	0,78
3,60	2	0,801	12,52	15,64	0,63	0,78
3,80	2	0,798	12,48	15,64	0,62	0,78
4,00	2	0,796	11,69	14,68	0,58	0,73
4,20	2	0,794	11,65	14,68	0,58	0,73
4,40	2	0,791	11,62	14,68	0,58	0,73
4,60	2	0,789	11,59	14,68	0,58	0,73
4,80	2	0,787	11,56	14,68	0,58	0,73
5,00	2	0,785	10,86	13,83	0,54	0,69
5,20	2	0,783	10,83	13,83	0,54	0,69
5,40	3	0,781	16,21	20,75	0,81	1,04
5,60	3	0,779	16,17	20,75	0,81	1,04
5,80	3	0,777	16,13	20,75	0,81	1,04
6,00	3	0,775	15,22	19,62	0,76	0,98
6,20	3	0,774	15,18	19,62	0,76	0,98
6,40	3	0,772	15,15	19,62	0,76	0,98
6,60	4	0,770	20,15	26,16	1,01	1,31
6,80	4	0,769	20,11	26,16	1,01	1,31
7,00	4	0,767	19,03	24,81	0,95	1,24
7,20	4	0,766	18,99	24,81	0,95	1,24
7,40	4	0,764	18,96	24,81	0,95	1,24
7,60	4	0,763	18,92	24,81	0,95	1,24
7,80	4	0,761	18,89	24,81	0,94	1,24
8,00	5	0,760	22,41	29,49	1,12	1,47
8,20	5	0,759	22,37	29,49	1,12	1,47
8,40	5	0,757	22,33	29,49	1,12	1,47
8,60	5	0,756	22,29	29,49	1,11	1,47
8,80	5	0,755	22,25	29,49	1,11	1,47
9,00	5	0,753	21,18	28,11	1,06	1,41

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
9,20	5	0,752	21,14	28,11	1,06	1,41
9,40	5	0,751	21,11	28,11	1,06	1,41
9,60	5	0,750	21,08	28,11	1,05	1,41
9,80	5	0,749	21,05	28,11	1,05	1,41
10,00	5	0,748	20,07	26,85	1,00	1,34
10,20	5	0,747	20,04	26,85	1,00	1,34
10,40	10	0,746	40,03	53,70	2,00	2,68
10,60	10	0,744	39,97	53,70	2,00	2,68
10,80	10	0,743	39,92	53,70	2,00	2,68
11,00	10	0,742	38,15	51,40	1,91	2,57

In considerazione delle risultanze delle indagini svolte ed illustrate in precedenza, tenuto altresì conto del modello geologico inserito nella relazione geologica, sono stati definiti i principali parametri fisico meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati, come di seguito riportati:

LITOLOGIA (strato geotecnico)	PROFONDITÀ A' dal P.C. (mt)		PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONE	VALORE
	DA	A			
DEPOSITO ARGILLOSO (ORIZZONTE 1)	0,00	1,80	Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0,28 (Kg/cmq)
			Angolo di attrito	[Sower 1961]	12°
			Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	MODERATAMENTE CONSISTENTE
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Meyerhof]	1,73 (t/mc)
			Peso unità di volume saturo (γ_s)	[Meyerhof]	1,87 (t/mc)
			Falda superficiale dal p.c.	=	NON RILEVATA
DEPOSITO ARGILLO- LIMOSO (ORIZZONTE 2)	1,80	3,00	Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0,38 (Kg/cmq)
			Angolo di attrito	[Sower 1961]	15°
			Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	MODERATAMENTE CONSISTENTE
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Meyerhof]	1,81 (t/mc)
			Peso unità di volume saturo (γ_s)	[Meyerhof]	1,89 (t/mc)
			Falda profondità dal p.c.	=	NON RILEVATA
DEPOSITO ARGILLOSO (ORIZZONTE 3)	3,00	6,40	Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0,23 (Kg/cmq)
			Angolo di attrito	[Sower 1961]	10°
			Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	POCO CONSISTENTE
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Meyerhof]	1,67 (t/mc)
			Peso unità di volume saturo (γ_s)	[Meyerhof]	1,87 (t/mc)
			Falda superficiale dal p.c.	=	NON RILEVATA
DEPOSITO ARGILLO- LIMOSO (ORIZZONTE 4)	6,40	7,80	Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0,39 (Kg/cmq)
			Angolo di attrito	[Sower 1961]	15°
			Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	MODERATAMENTE CONSISTENTE
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Meyerhof]	1,82 (t/mc)
			Peso unità di volume saturo (γ_s)	[Meyerhof]	1,89 (t/mc)
			Falda profondità dal p.c.	=	NON RILEVATA
DEPOSITO ARGILLO-LIMOSO (ORIZZONTE 5)	7,80	10,20	Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0,49 (Kg/cmq)
			Angolo di attrito	[Sower 1961]	15°
			Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	MODERATAMENTE CONSISTENTE
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Meyerhof]	1,89 (t/mc)

LITOLOGIA (strato geotecnico)	PROFONDITÀ A' dal P.C. (mt)		PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONE	VALORE
	DA	A			
			Peso unità di volume saturo (γ_s)	[Meyerhof]	1,90 (t/mc)
			Falda superficiale dal p.c.	=	NON RILEVATA
DEPOSITO LIMO- SABBIOSO (ORIZZONTE 6)	10,20	11,00	Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0 (Kg/cmq)
			Angolo di attrito	[Sower 1961]	27°
			Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	MODERATAMENTE ADDENSATO
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Terzaghi-Peck 1948-1967]	1,90 (t/mc)
			Peso unità di volume saturo (γ_s)	[Terzaghi-Peck 1948-1967]	1,96 (t/mc)

9. 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.

9.1 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.

9.2 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.

9.3 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

10. Risultati dell'analisi di sismica a rifrazione

10.1 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 EW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

A - 15.762714 - 41.385972

A' - 15.763172 - 41.386057

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).

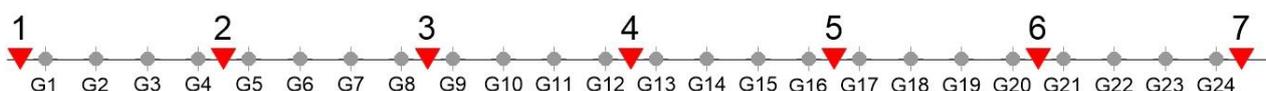


Fig.7 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

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).

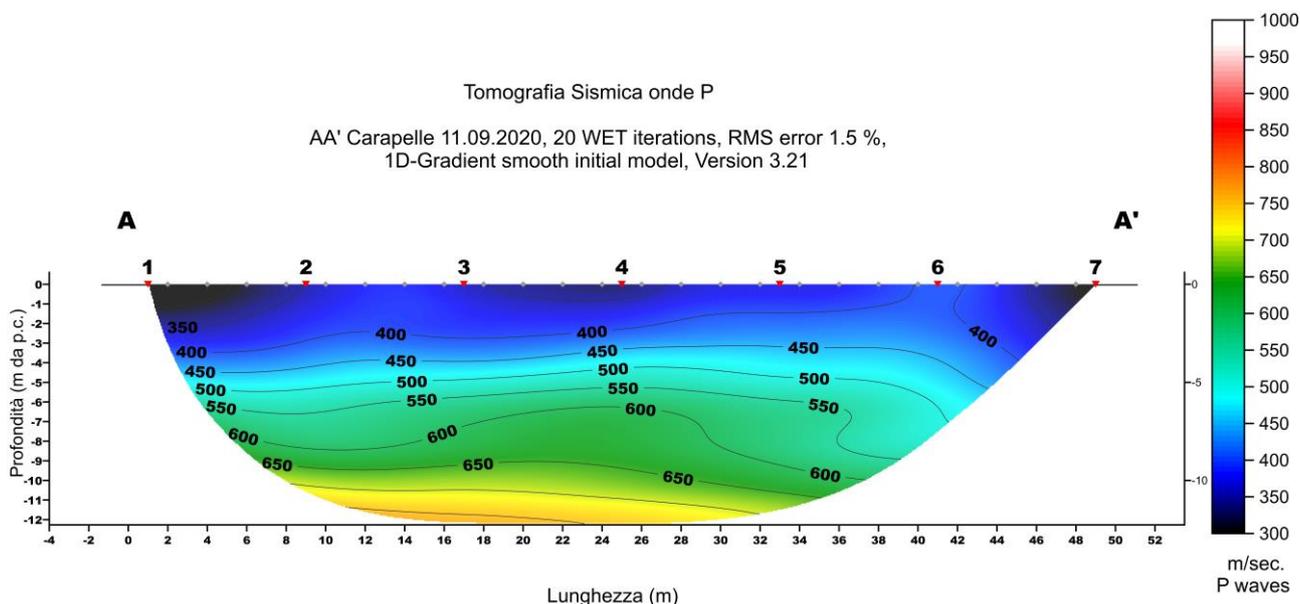


Fig. 8 – Sezione tomografica del profilo AA'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile osservare che non sono stati registrati rifrattori significativi e pertanto è possibile desumere che in corrispondenza del sito non sono presenti cambi litologici. L'unico sismostrato presente quindi, registra un aumento progressivo delle velocità sismiche con la profondità, fino a raggiungere valori prossimi ai 1000 m/s alla profondità di investigazione raggiunta.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti si può affermare che il sismostrato presente è riferibile a depositi siltosi e argilloso-siltosi debolmente coesi, a cui si intercalano lenti e livelli di spessore decimetrico di livelli prettamente argillosi.

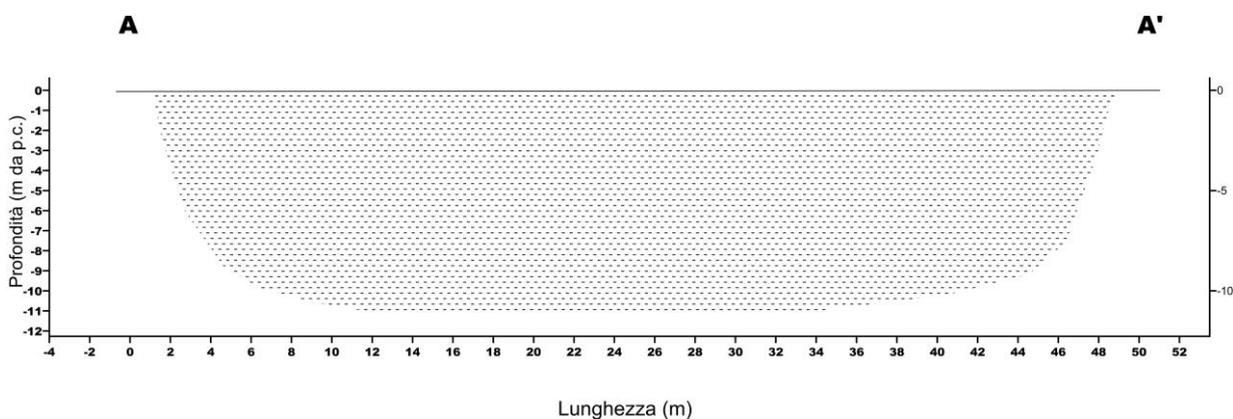


Fig. 9 – Modello geologico del sito

10.2 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 EW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

B - 15.7672144 - 41.3899958

B' - 15.7667728 - 41.3900094

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).

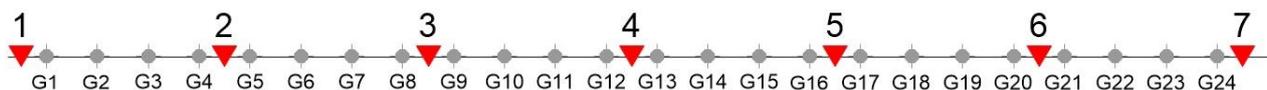


Fig.10 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

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).

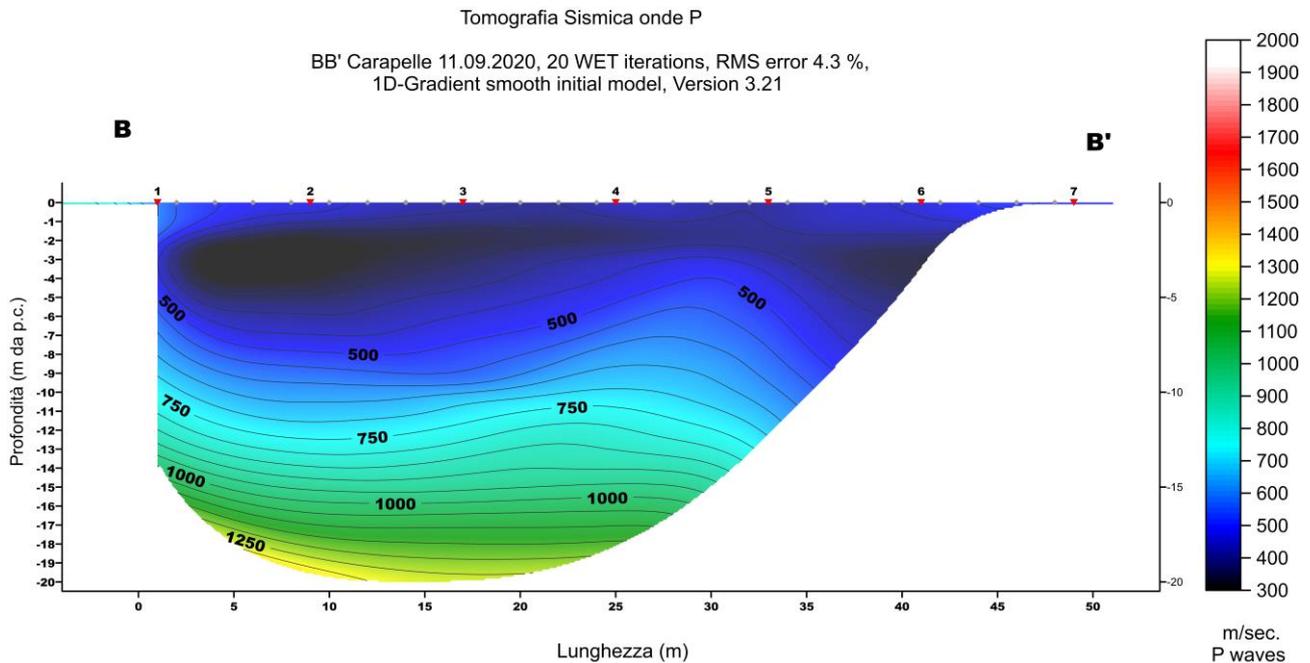


Fig. 11 – Sezione tomografica del profilo BB'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **2 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 200 e 400 m/s. La profondità risulta variabile e si spinge fino a circa 4-5 metri di profondità dal piano campagna. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 400 e 1350 m/s, che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 20 m dal p.c.

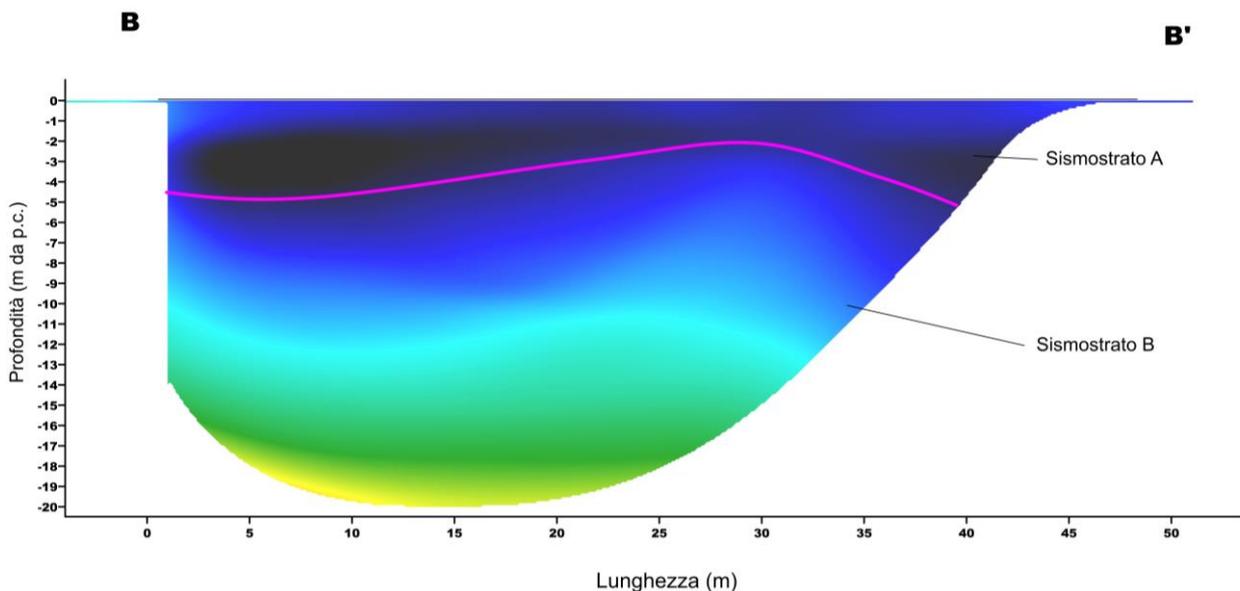


Fig. 12 – Interpretazione sezione tomografica del profilo BB'

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 (Unità A), il secondo sismostrato a depositi siltosi e argilloso-siltosi debolmente coesi (Unità B).

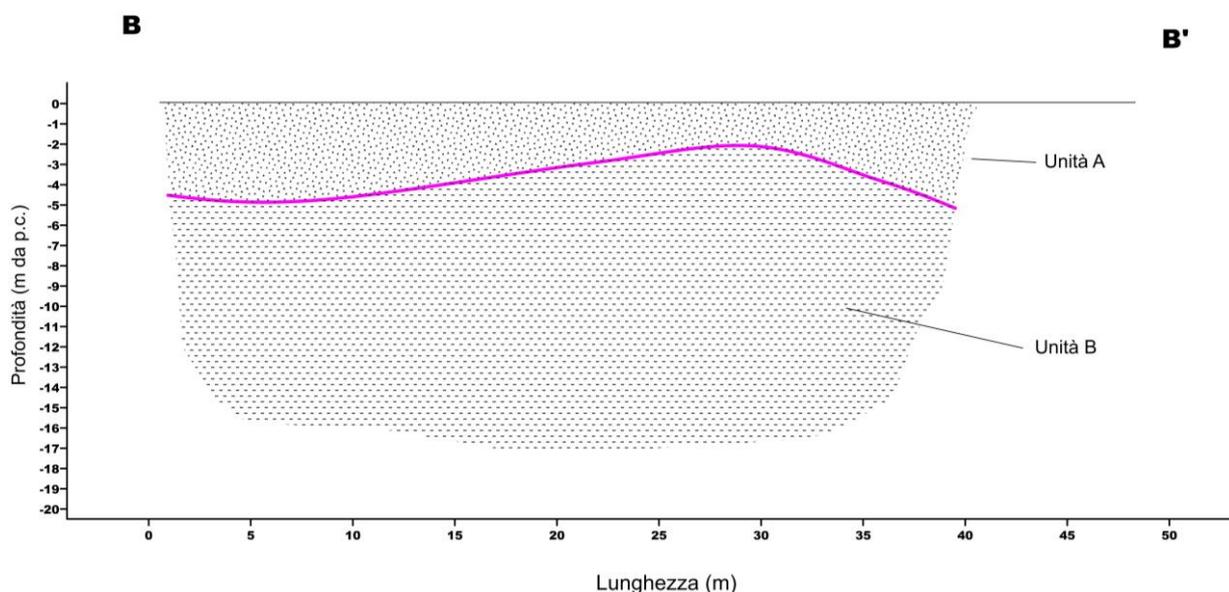


Fig. 13 – Modello geologico del sito

10.3 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 S/N e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84 fuso 33 N):

C - 15.761697 - 41.444285

C' - 15.761483 - 41.444566.

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.14).

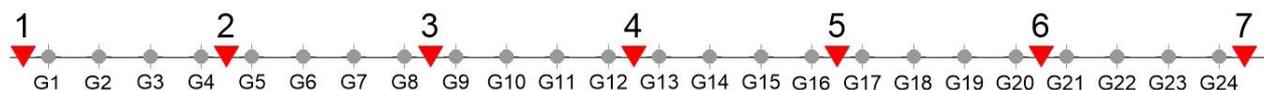


Fig.14 - Configurazione geometrica degli stendimenti sismici a rifrazione

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nelle Figure 15 e 16 (sezione sismostratigrafica).

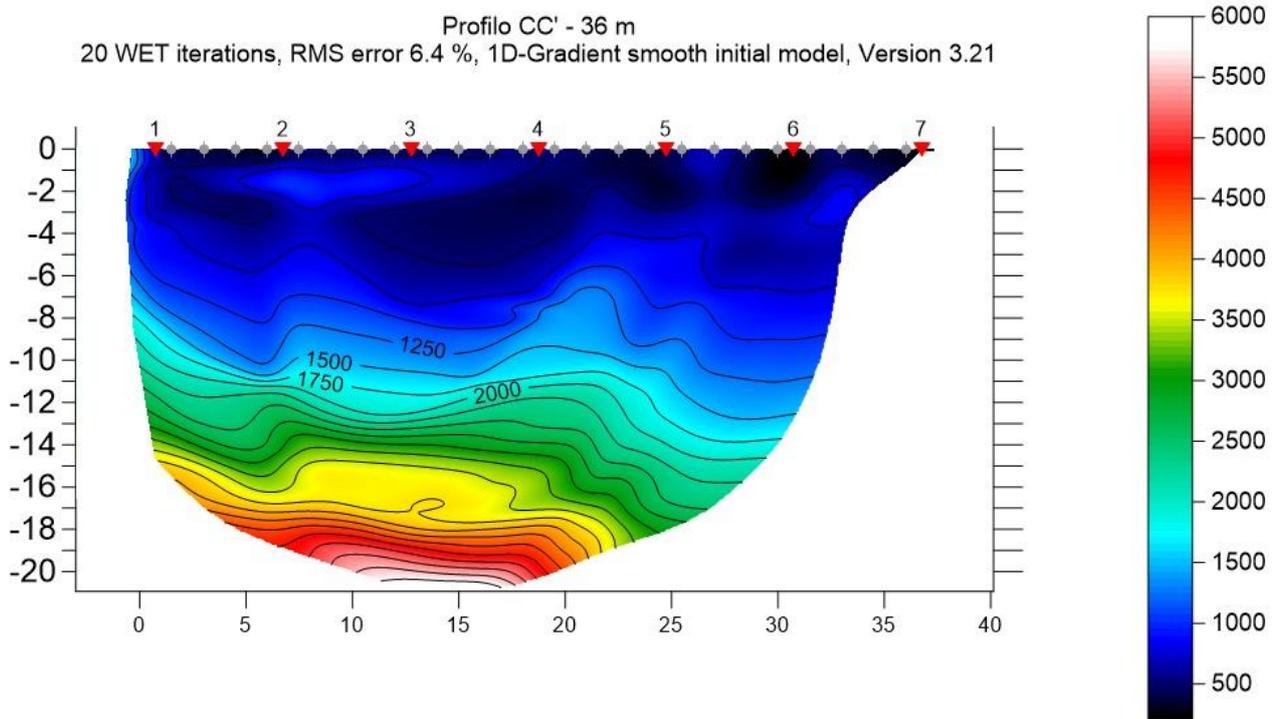


Fig. 15 – Sezione tomografica del profilo CC'

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 750 m/s. La profondità risulta variabile e si spinge fino a circa 4-7 metri di profondità dal piano campagna. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 750 e 2000 m/s, che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere i 12 metri di profondità, in corrispondenza del quale è posizionato un rifrattore che segna il passaggio al sismostrato C, i cui valori di velocità delle onde P aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 20 m dal p.c.

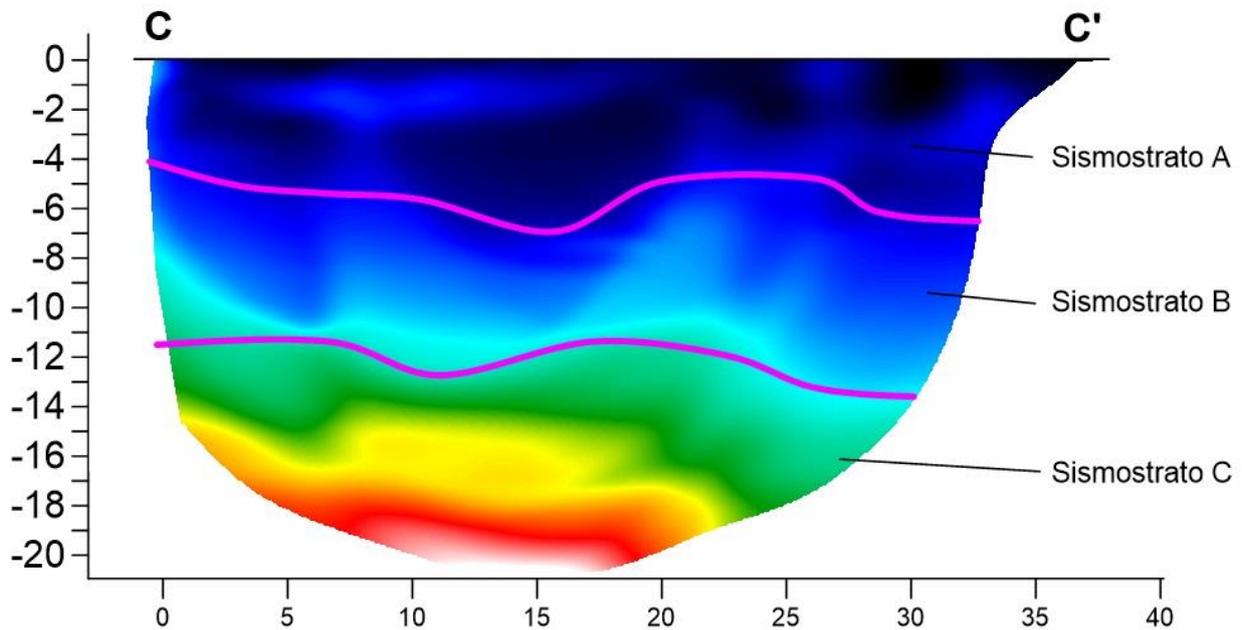


Fig. 16 – Interpretazione sezione tomografica del profilo CC'

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 (Unità A), il secondo sismostrato a depositi siltosi e argilloso-siltosi coesi (Unità B), mentre il sismostrato C a depositi prettamente argillosi (Unità C).

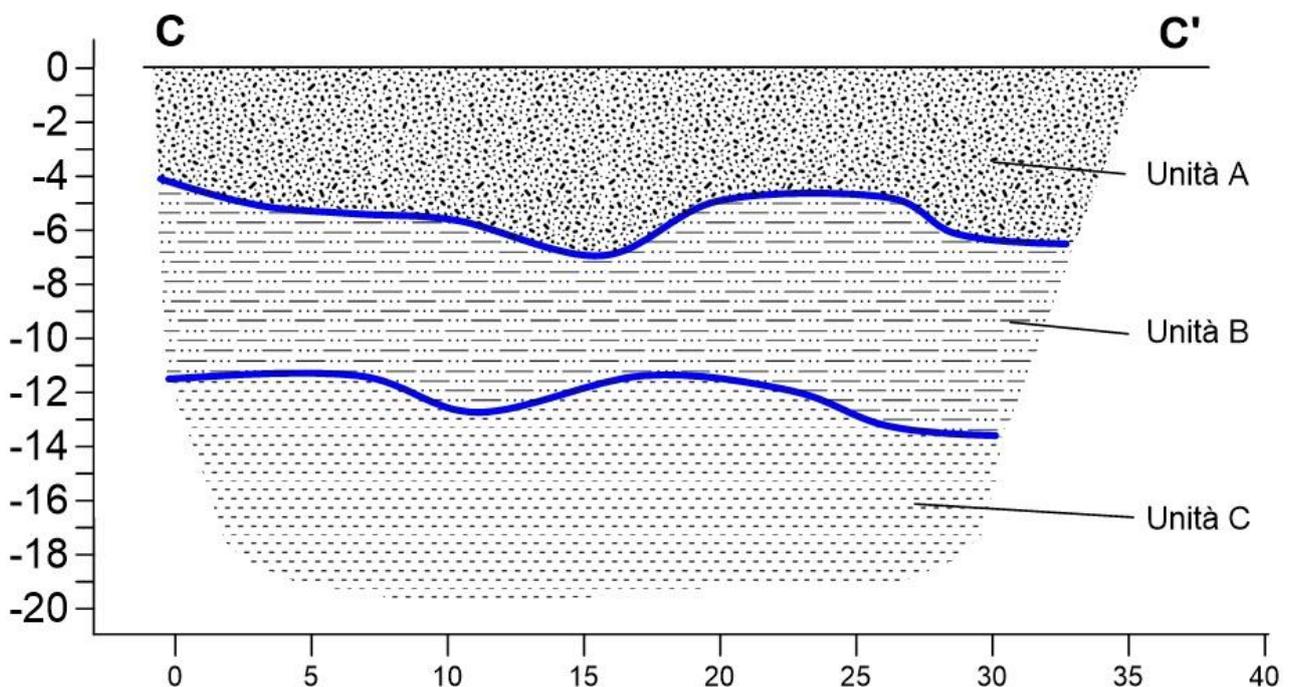


Fig. 17 – Modello geologico del sito

11. 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 sismici.

11.1 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.18).

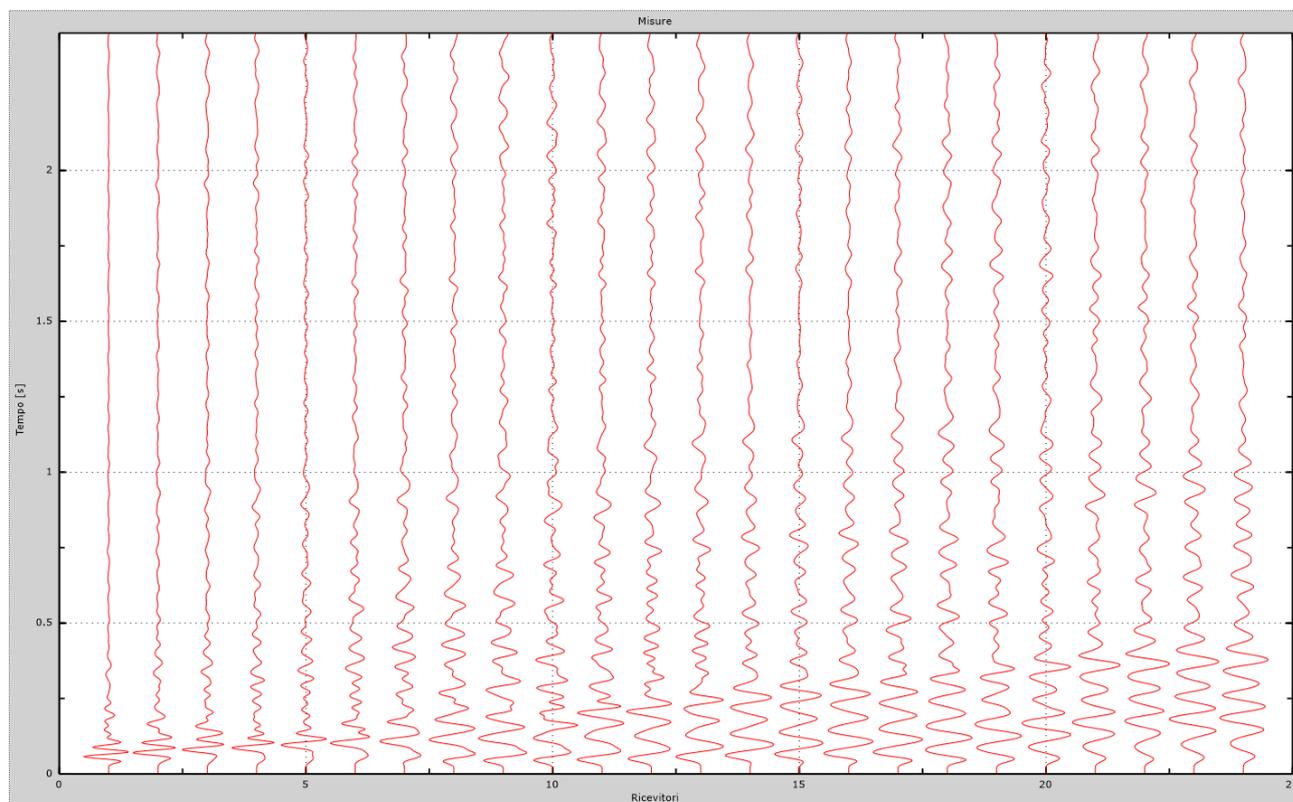


Fig.18 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo AA'

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.19) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.20). 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.21). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

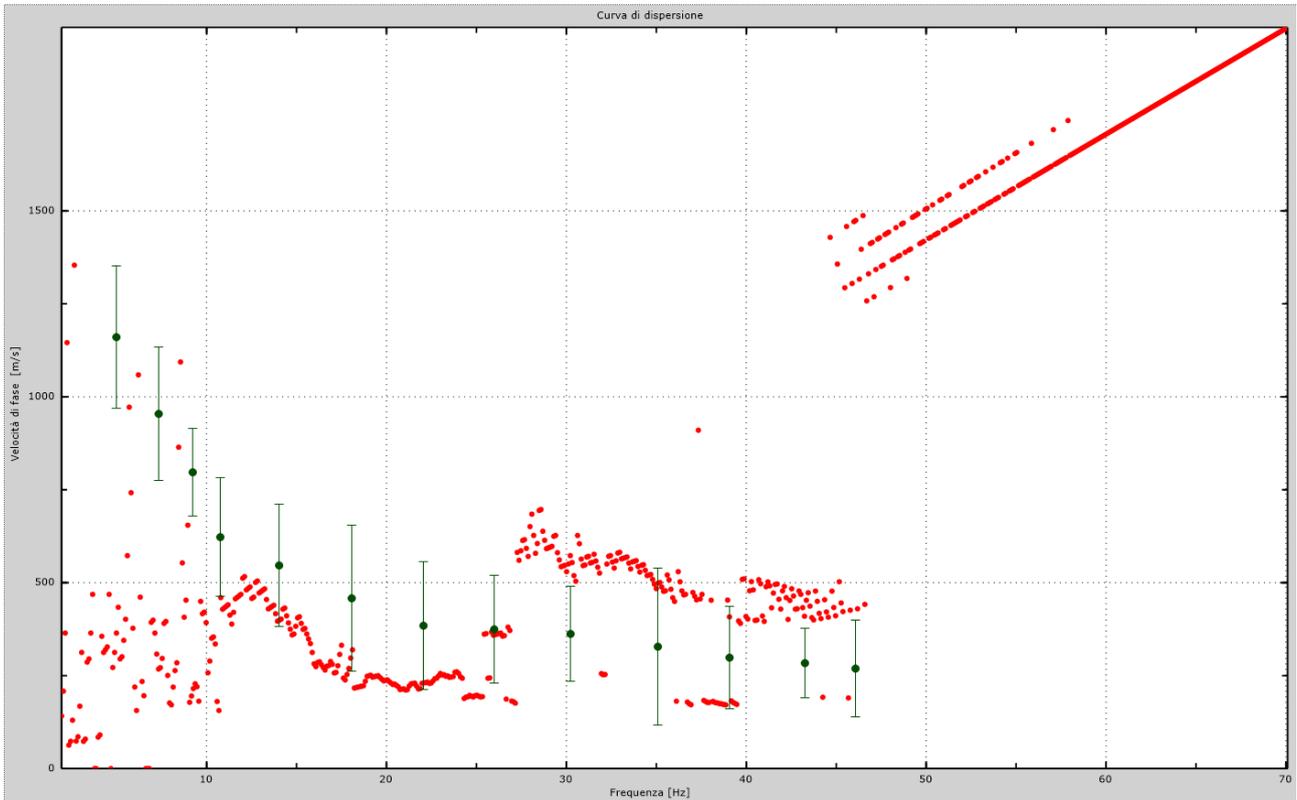


Fig.19 - Curva di dispersione sperimentale.

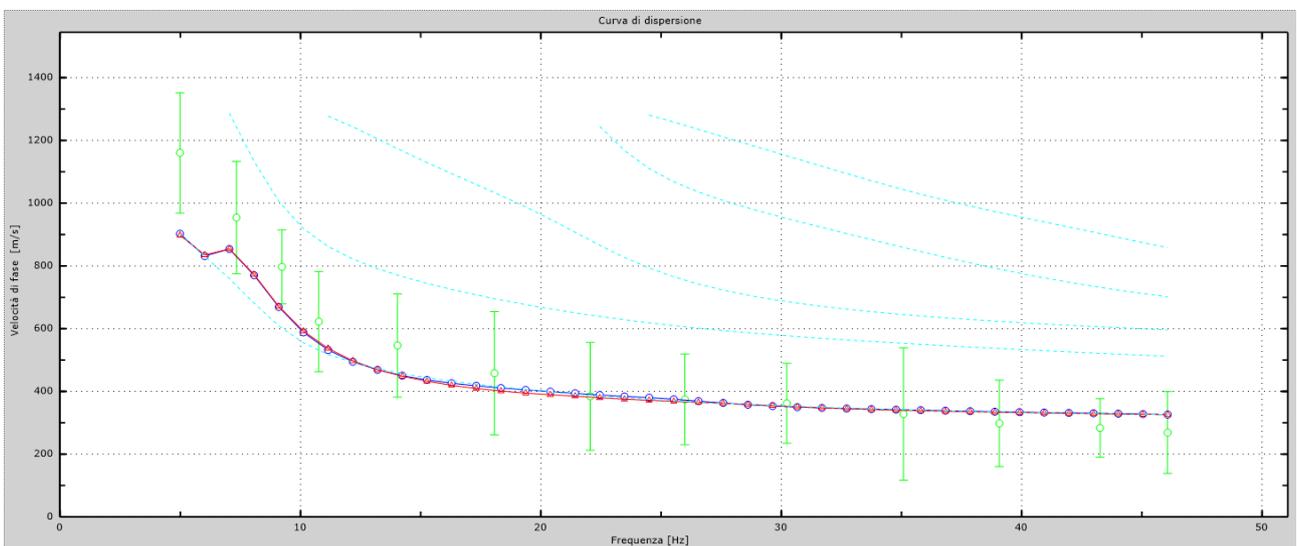


Fig.20 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 8%.

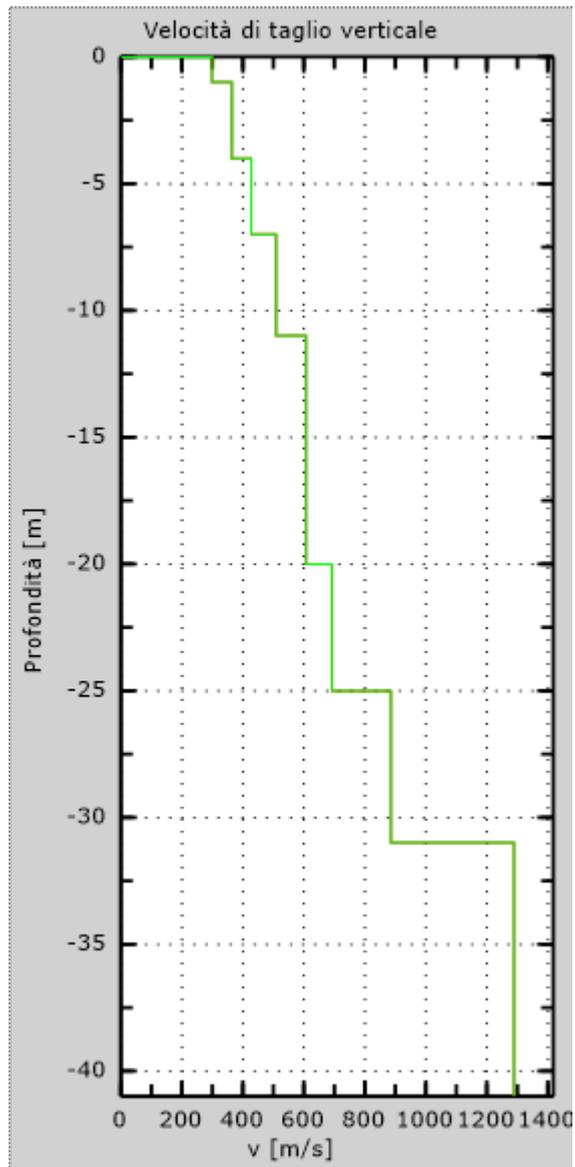


Fig.21 - Profilo verticale delle velocità delle Onde registrate

11.2 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.1 (Fig.22).

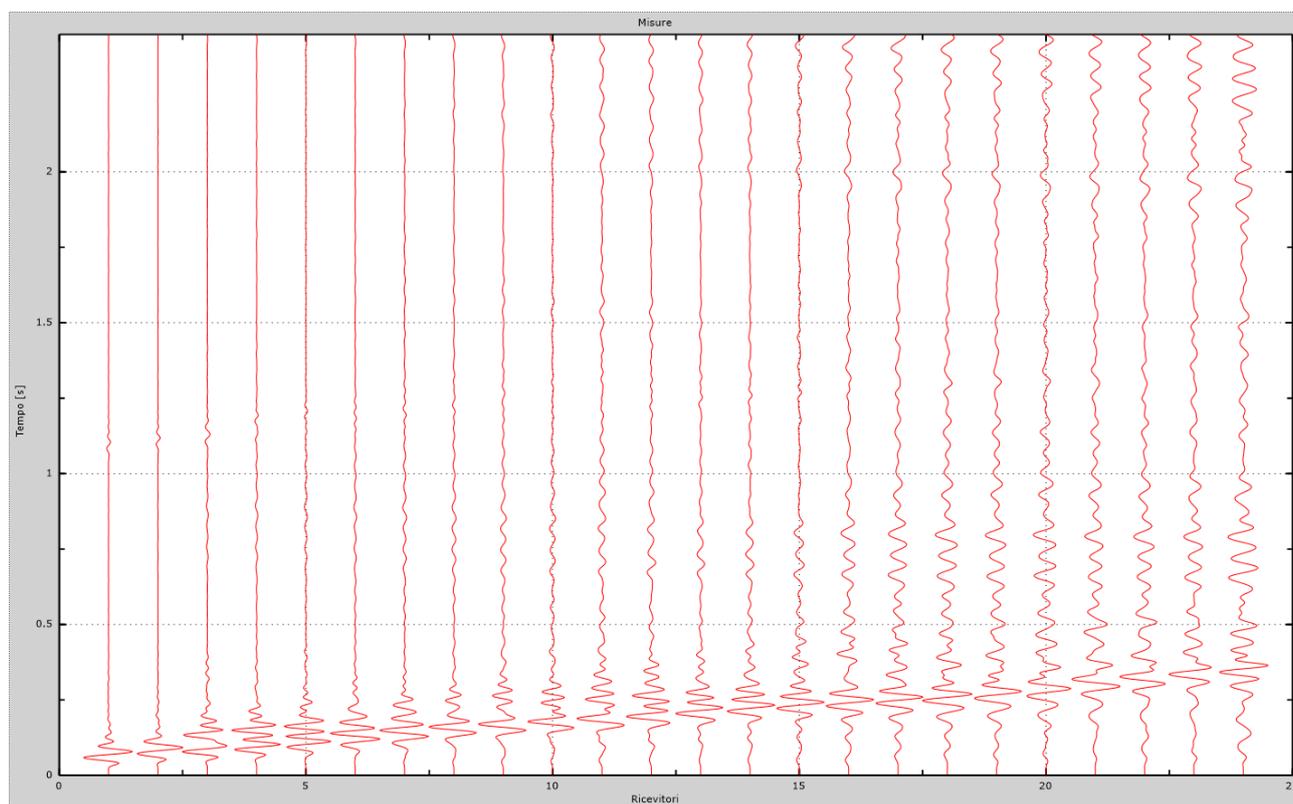


Fig.22 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo BB'

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.23) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.24). 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.25). 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.

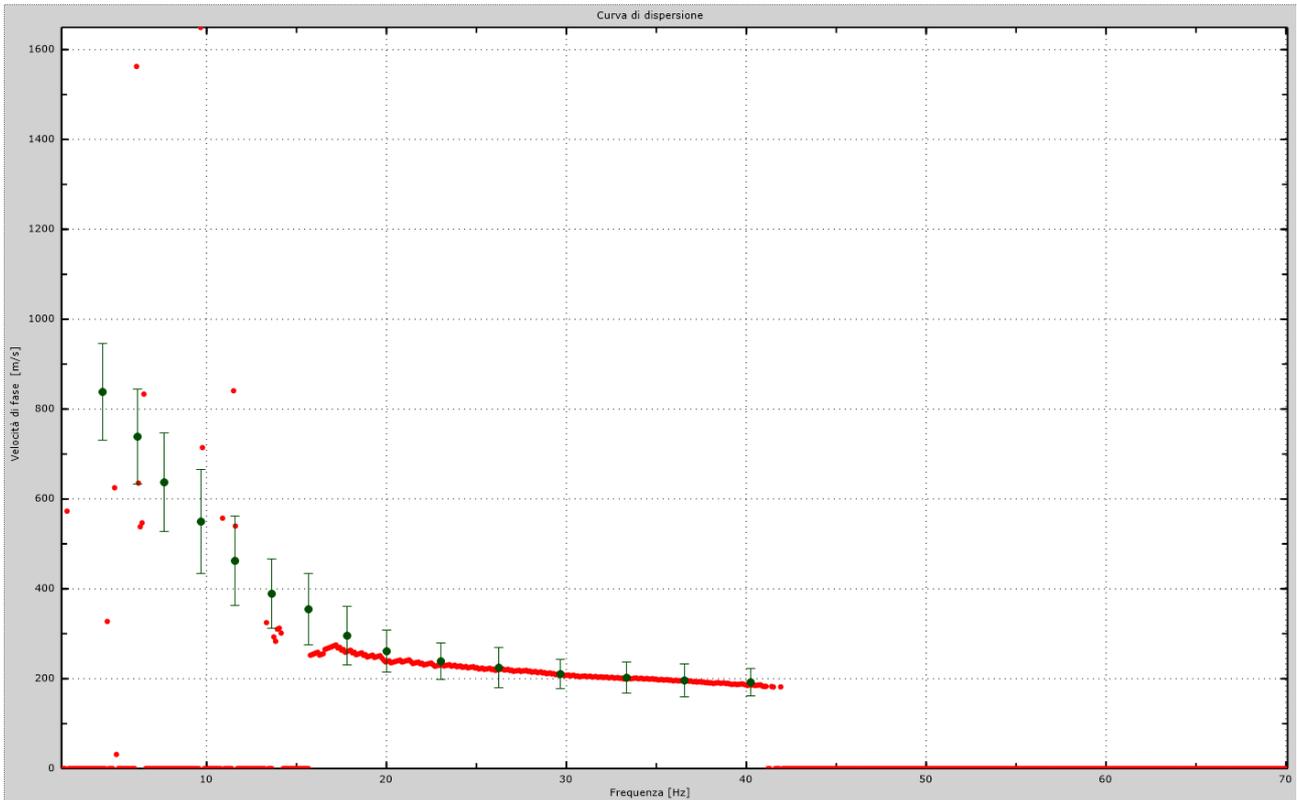


Fig.23 - Curva di dispersione sperimentale.

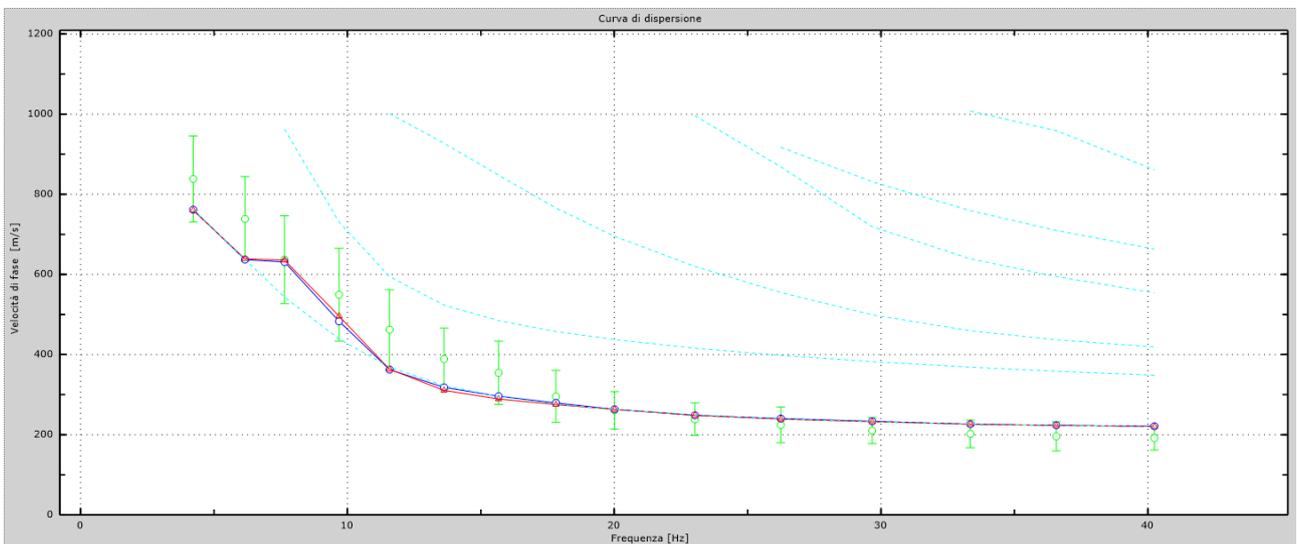


Fig.24 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 15%.

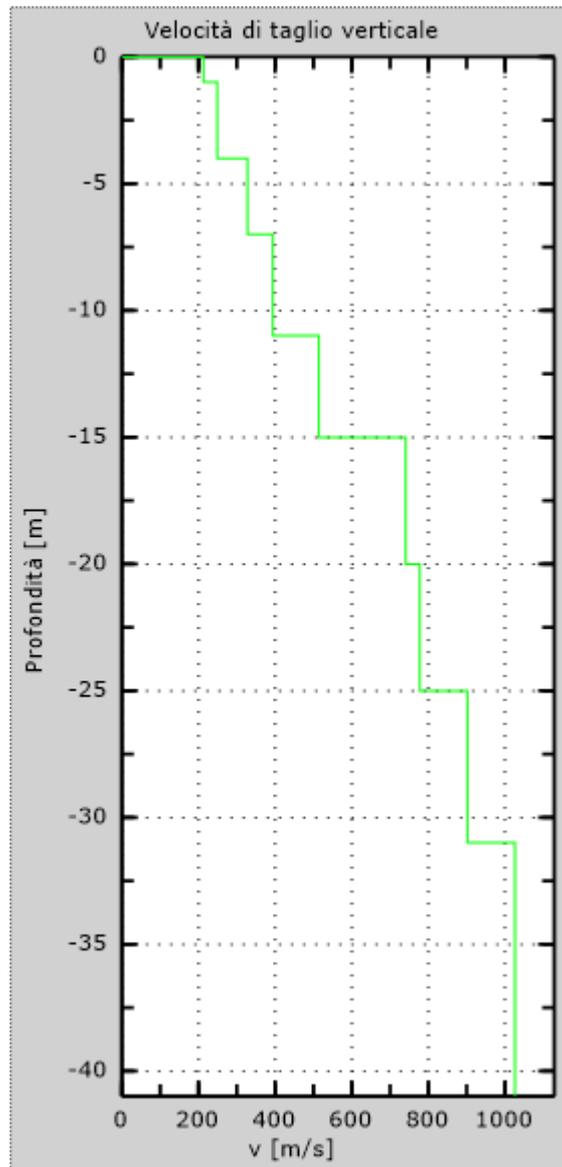


Fig.25 - Profilo Vs30

11.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti 2 scoppi effettuati a 1.5 m di distanza dal primo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 1.22 secondi. Per la qualità del segnale si è scelto lo scoppio n.1 (Fig.26).

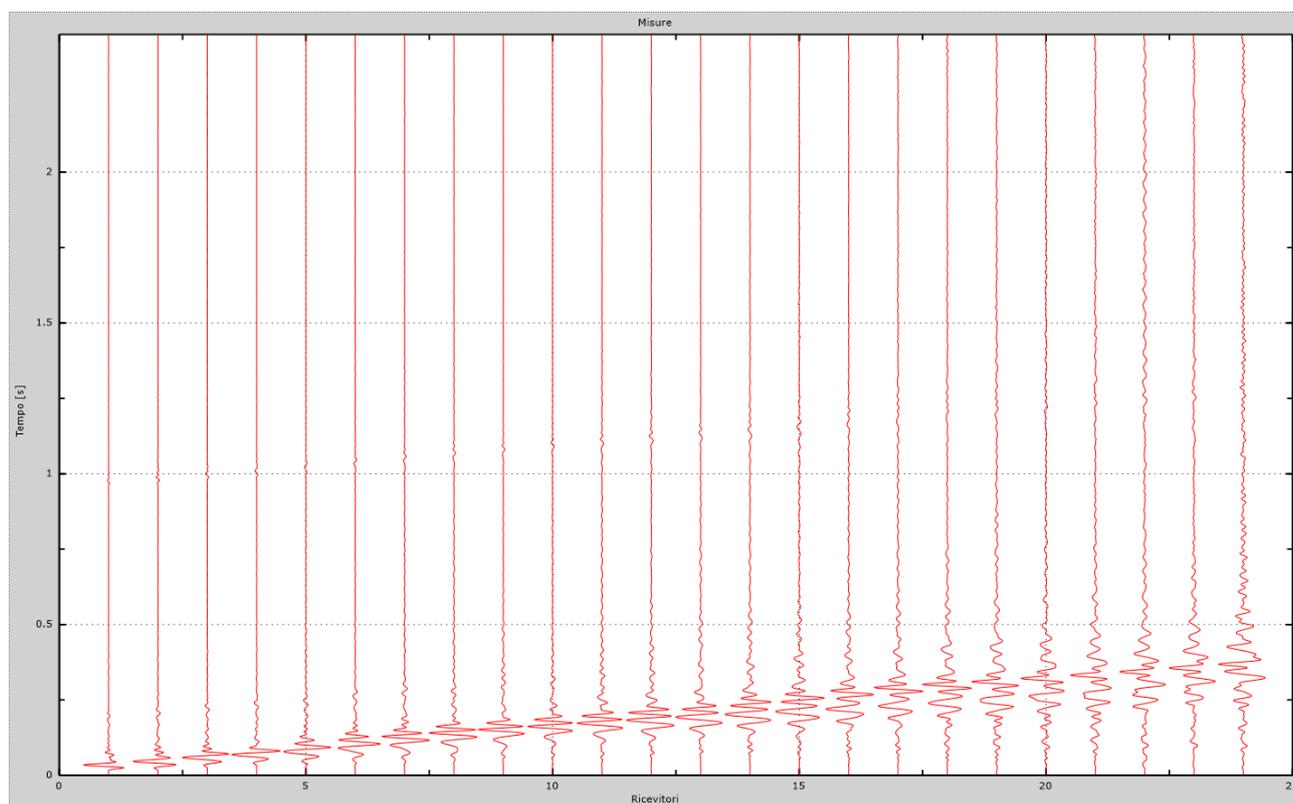


Fig.26 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo CC'

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.27) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.28). 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.29). 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.

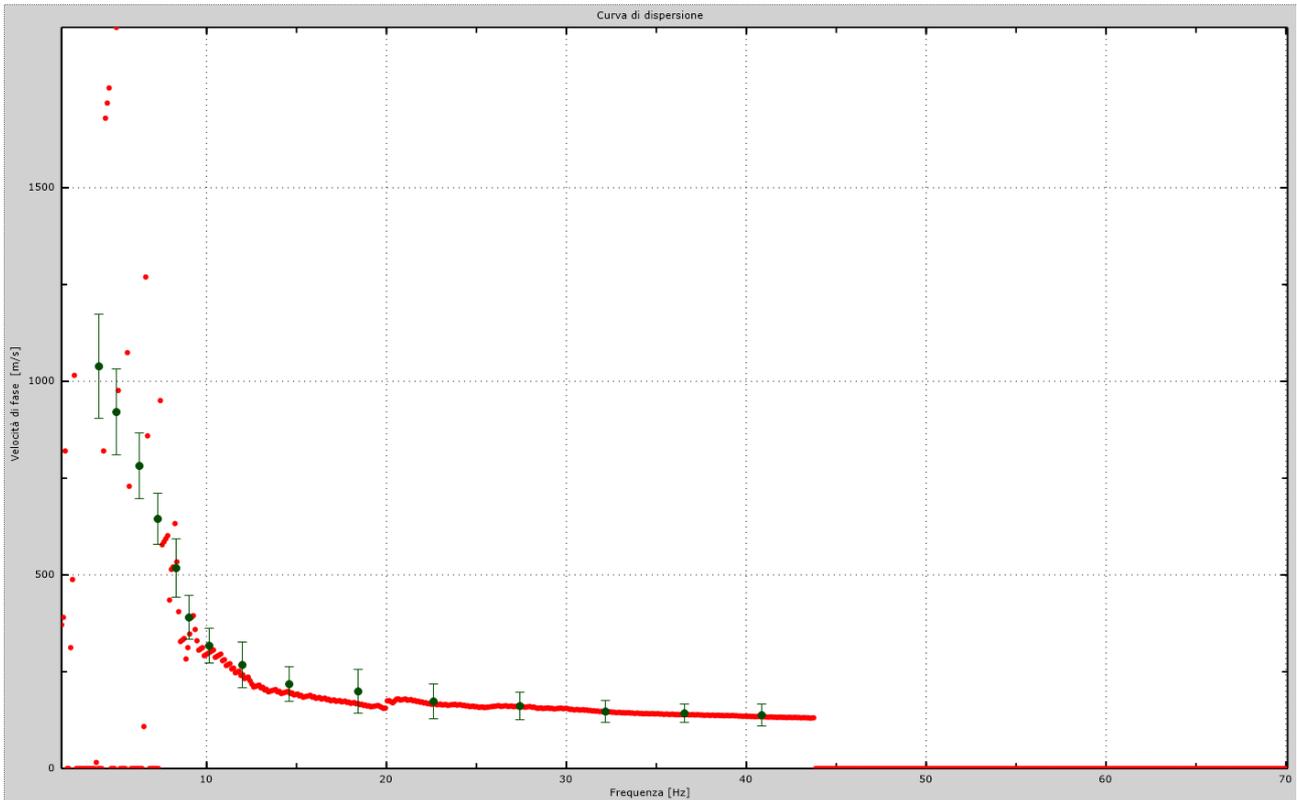


Fig.27 - Curva di dispersione sperimentale.

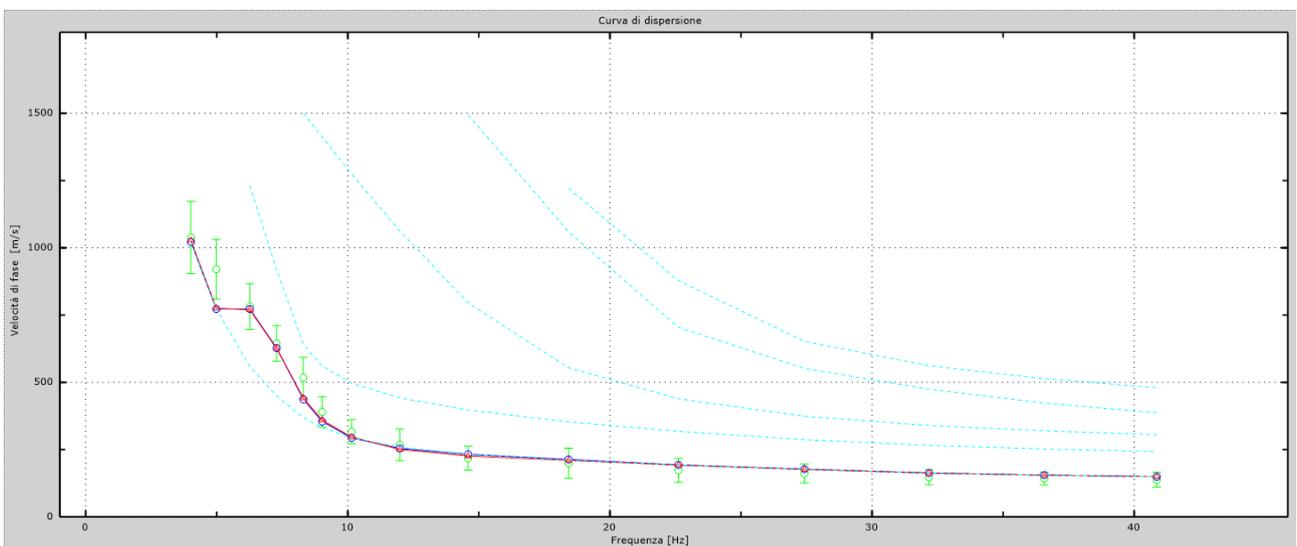


Fig.28 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).
 La percentuale di differenza è: 9%.

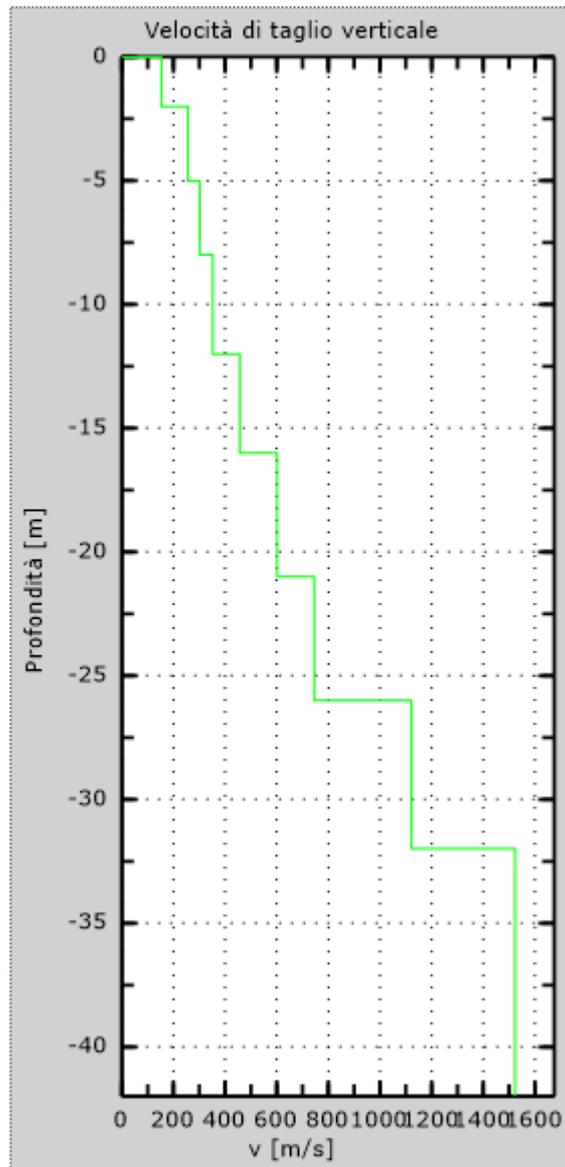


Fig.29 - Profilo Vs30

12. 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.

12.1 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: 1.5 m

Nr.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	1.00	299
2	3.00	364
3	3.00	427
4	4.00	509
5	4.00	607
6	5.00	607
7	5.00	692
8	6.00	885

$V_{s,eq}$: 536.47m/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.**

12.2 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: 1.5 m

Nr.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	1.00	213
2	3.00	249
3	3.00	328
4	4.00	394
5	4.00	514
6	5.00	741
7	5.00	778
8	6.00	902

$V_{s,eq}$: 467.24m/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.**

12.3 Determinazione della categoria di sottosuolo dello stendimento CC'

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	1.00	153
2	3.00	256
3	3.00	301
4	4.00	352
5	4.00	456
6	5.00	601
7	5.00	745
8	6.00	1122

$V_{s,eq}$: 422.15m/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.**

13. 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

Sismostrato	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)
A – TETTO	350.00	241.00	1.55	912.4	707.8	1914.6	1924.4	0.05	1.45	374.08
A - LETTO	800.00	427.00	1.82	3351.4	7295.4	8719.1	11764.0	0.30	1.87	775.51

Sezione BB' - Tabella 2

Sismostrato	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)
A – TETTO	200.00	102.00	1.40	147.0	369.1	389.2	565.0	0.32	1.96	200.00
A - LETTO	400.00	213.00	1.59	731.0	1603.4	1903.8	2578.1	0.30	1.88	400.00
B – TETTO	400.00	213.00	1.59	731.0	1603.4	1903.8	2578.1	0.30	1.88	400.00
B - LETTO	1350.00	741.00	2.01	11147.7	22137.7	28636.5	37001.4	0.28	1.82	1350.00

Sezione CC' - Tabella 3

Sismostrato	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)
A - TETTO	250.00	153.00	1.46	345.0	461.1	828.3	921.0	0.20	1.63	222.78
A - LETTO	750.00	352.00	1.79	2249.7	7213.8	6113.7	10213.4	0.36	2.13	631.50
B - TETTO	750.00	352.00	1.79	2249.7	7213.8	6113.7	10213.4	0.36	2.13	631.50
B - LETTO	2000.00	745.00	2.16	12142.1	71317.4	34470.2	87507.0	0.42	2.68	1610.36

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.

14. 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.

14.1 Modello Geologico dei terreni in corrispondenza del campo fotovoltaico

Per quanto concerne l'area su cui saranno installati i pannelli fotovoltaici è possibile osservare che il terreno di fondazione risulta costituito da unità litologiche generalmente siltose e argillose le cui caratteristiche geotecniche tendono a migliorare con l'aumento della profondità. In particolare, il modello geologico di riferimento può essere considerato quello rappresentato in figura, con l'unità superficiale riferibile a depositi sabbioso e siltosi poco o debolmente coesi che poggia su un'unità siltosa e argilloso-siltosa maggiormente coesa (Unità B).

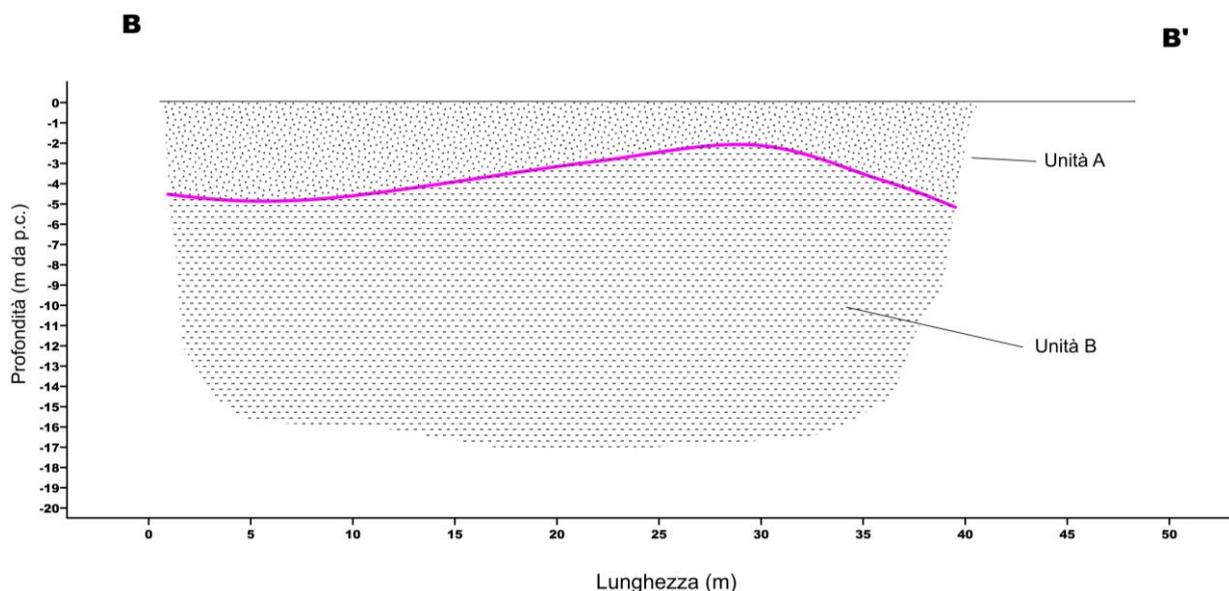


Fig. 30 – Modello geologico del sito

14.2 Modello Geologico dei terreni in corrispondenza della Sotto stazione di Servizio

Per quanto concerne l'area su cui sarà realizzata la Sottostazione invece, è possibile osservare che il terreno di fondazione risulta costituito da unità litologiche sabbiose e siltose le cui caratteristiche geotecniche tendono a migliorare con l'aumento della profondità. In particolare, il modello geologico di riferimento può essere considerato quello rappresentato in figura, con l'unità superficiale riferibile a depositi sabbioso e siltosi poco o debolmente coesi (Unità A), la seconda a depositi siltosi e argilloso-siltosi coesi (Unità B), mentre la terza a depositi prettamente argillosi (Unità C).

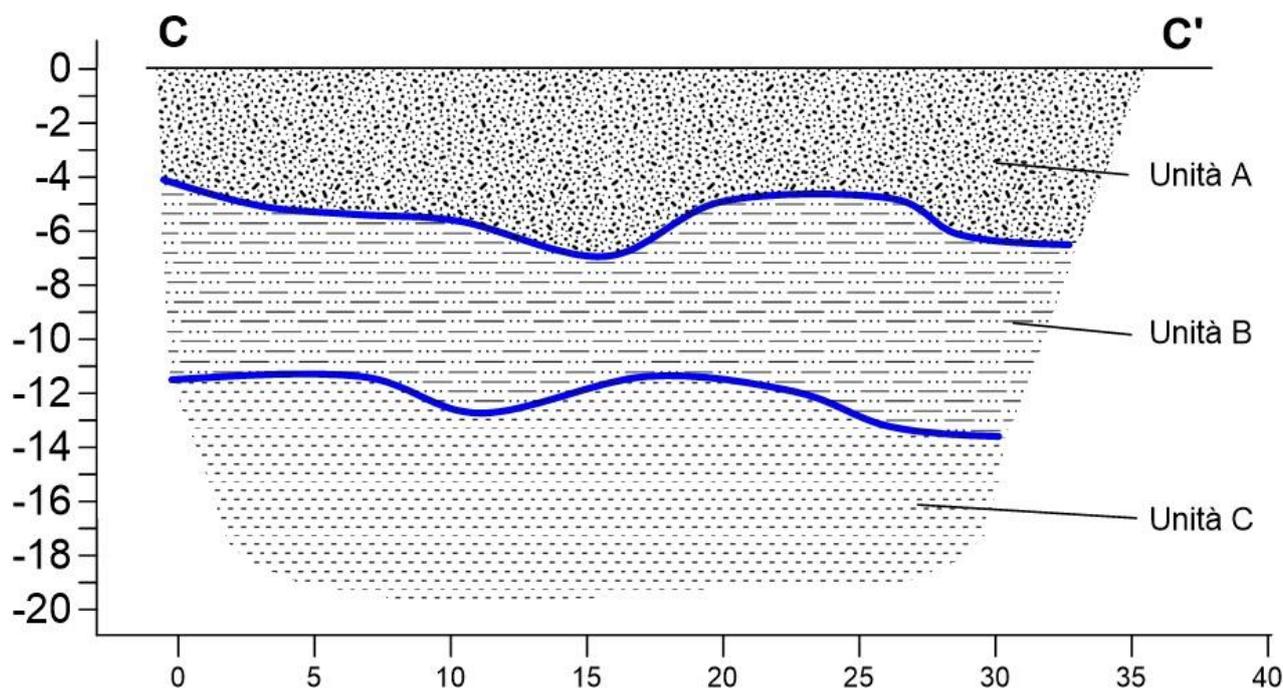


Fig. 31 – Modello geologico del sito

14.3 Caratteristiche geologiche del tracciato dell'elettrodotto ed analisi delle intersezioni con il reticolo idrografico

Le stesse unità litologiche presenti in corrispondenza del campo fotovoltaico e della sottostazione di servizio sono presenti anche lungo il tracciato dell'elettrodotto, che si svilupperà per circa 6800 m in direzione nord verso la sottostazione elettrica. Dall'analisi della cartografia tematica risulta che il tracciato, lungo il suo percorso, interseca n.5 impluvi interessati da perimetrazioni PAI come rappresentato in figura:

1. Lama;
2. Canale Peluso;
3. Canale Pescia;
4. Canale Carapelluzzo;
5. Affluente Canale Macchia Rotonda.

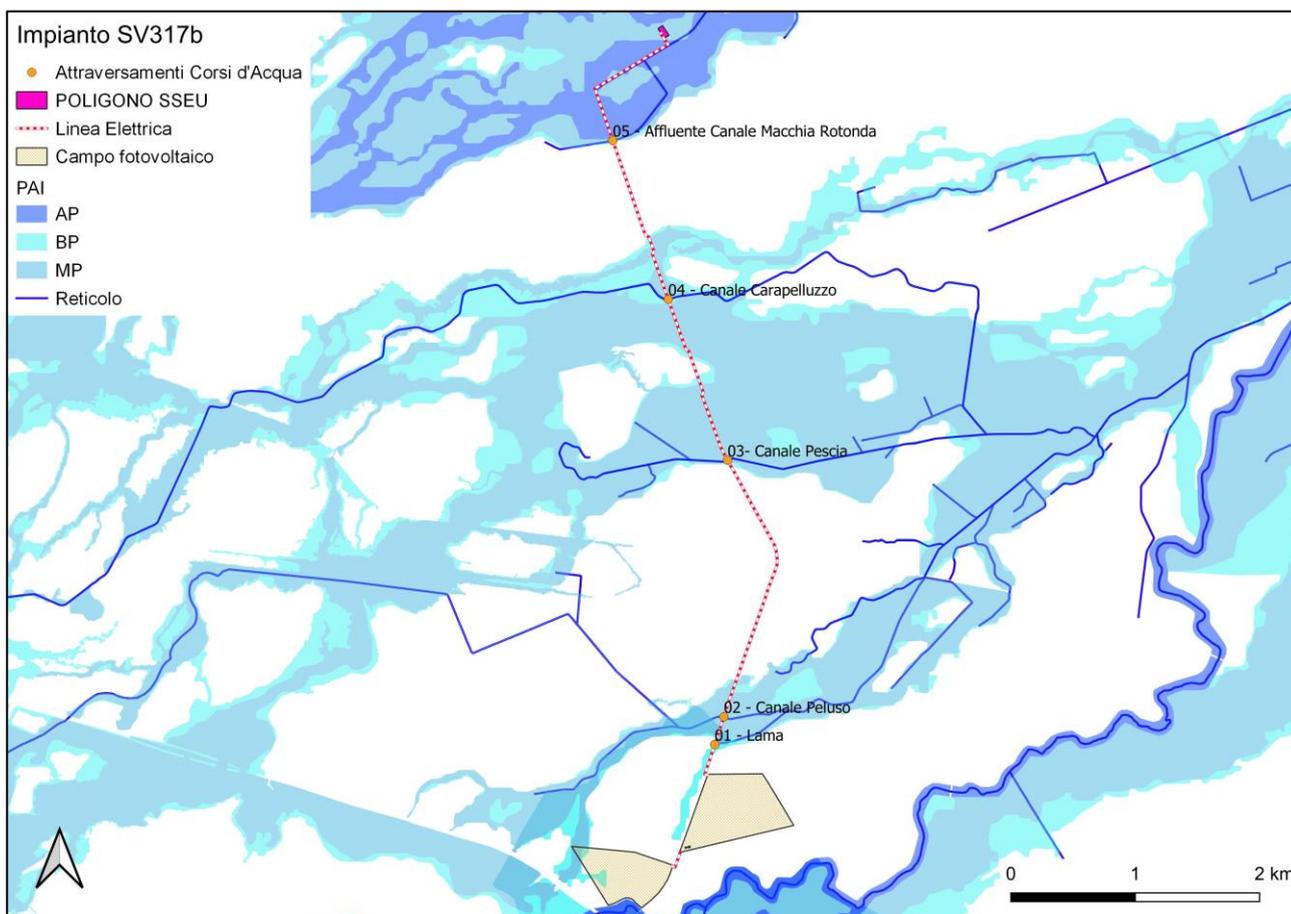


Fig. 32 - Intersezioni con il reticolo idrografico dell'elettrodotto

Il cavo dell'elettrodotto, in relazione alle intersezioni indicate, sarà posato con due tecniche differenti. Con scavo a cielo aperto nelle zone non interessate dal reticolo, e con metodologia TOC (Trivellazione orizzontale controllata) per l'attraversamento dei corsi d'acqua.

Nei tratti con posa dell'elettrodotto con scavo a cielo aperto sarà realizzata una trincea avente una larghezza di 0.60 m ed una profondità di 1.30 m dal piano campagna. Alla base della trincea sarà posato un letto di sabbia di 5 cm su cui sarà

adagiato il cavo di media tensione, a sua volta avvolto da una coltre sabbiosa di 0.3 m di spessore. Su questa coltre sarà posizionata la tubazione per F.O. a sua volta coperta da uno strato di 0.2 m di sabbia. La restante parte dello scavo sarà colmata con materiale misto granulare-tout venant di cava.

La schematizzazione della modalità di realizzazione della trincea e della posa del cavidotto è illustrata nella seguente immagine.

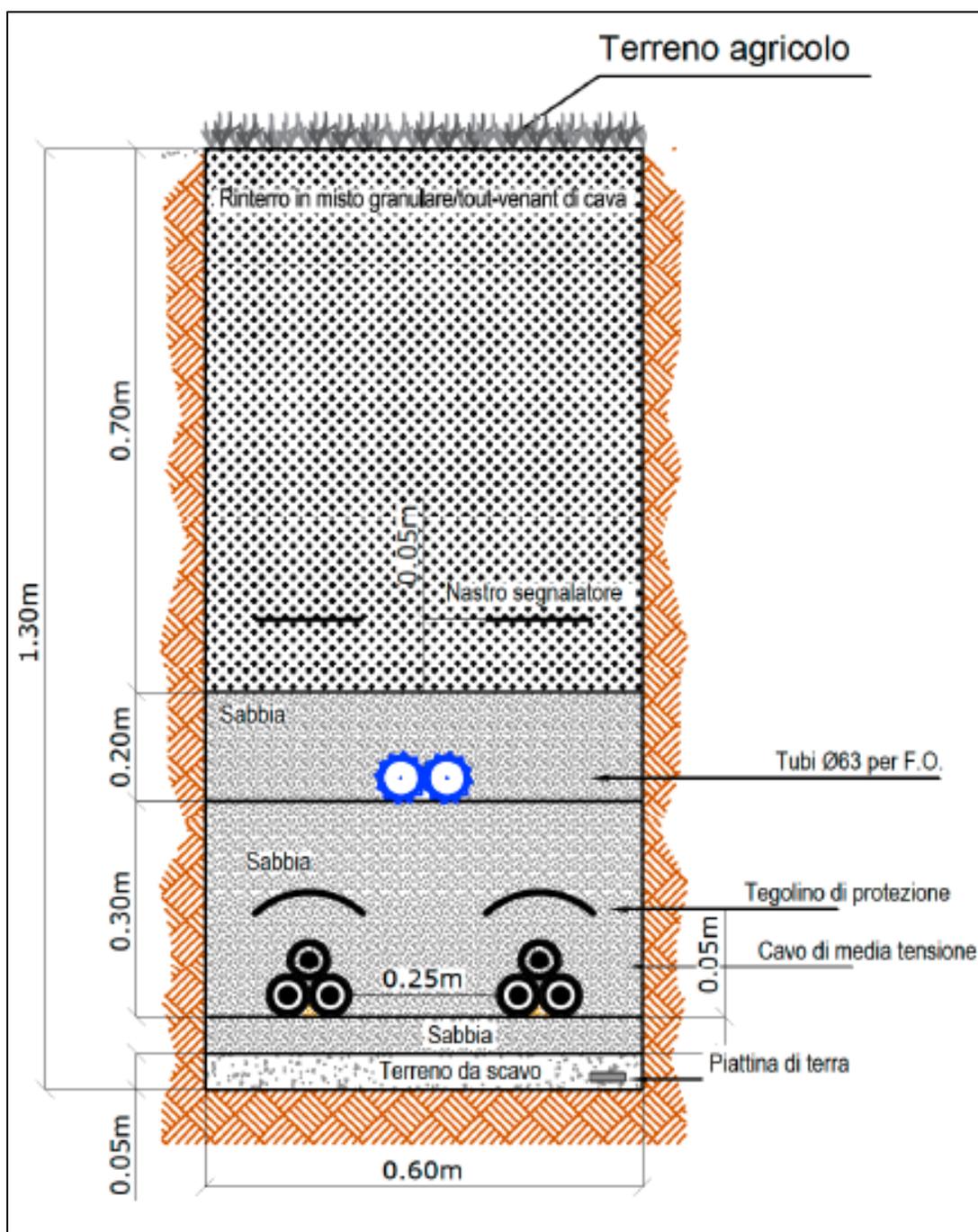


Fig. 33 - Sezione della trincea su terreno agricolo

Nei tratti in cui si dovrà utilizzare la metodologia TOC per l'attraversamento dei corsi d'acqua invece, la profondità di installazione del cavidotto rispetto alla quota d'alveo sarà di 2,5 metri, con inizio e fine del tratto in TOC posizionato a 15 metri di distanza dagli argini destro e sinistro del canale interessato.

La modalità di realizzazione è schematicamente rappresentata nella seguente immagine.

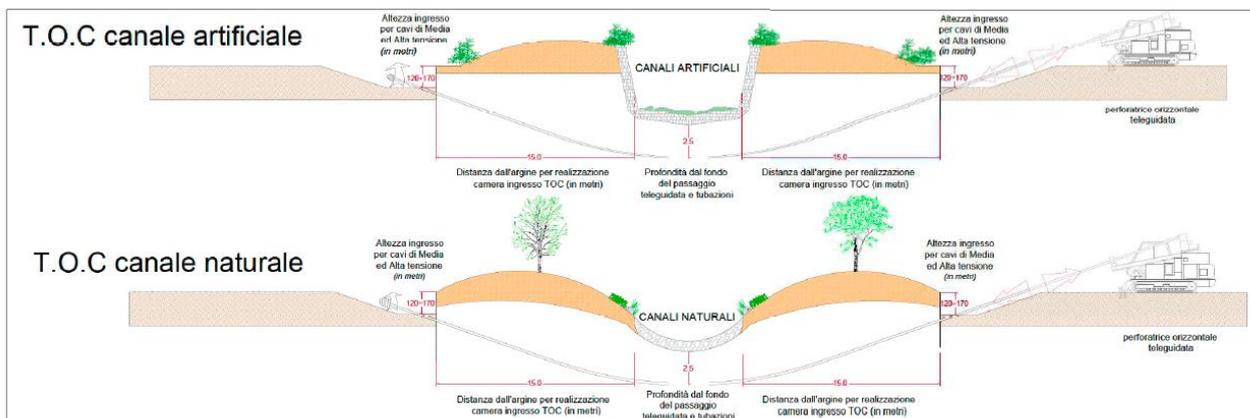


Fig. 34 - Modalità di attraversamento dei corsi d'acqua con tecnica TOC

Nel presente progetto si prevede di utilizzare questa tecnica in tre punti, per l'attraversamento dei seguenti corsi d'acqua:

- Canale Peluso;
- Canale Pescia;
- Canale Carapelluzzo.

È stata comunque realizzata una ricognizione di tutti i canali intersecati le cui caratteristiche sono illustrate nei seguenti sottocapitoli.

14.3.1 Attraversamento n.01 - Lama

Il primo attraversamento è previsto con la posa dell'elettrodotto in scavo a cielo poiché come è possibile osservare dalla Sezione realizzata usando come base topografica il rilievo lidar con risoluzione 1x1 m, e dalle immagini riportanti lo stato attuale della conformazione fisiografica, in corrispondenza dell'attraversamento del tracciato non è presente alcun canale, anche se segnato nella cartografia tematica consultata. La morfologia del terreno è perfettamente pianeggiante e non sono presenti altri elementi di rilievo. Il canale comincia nella zona occidentale. Nelle immagini seguenti sono rappresentate: ubicazione della sezione; profilo topografico; immagini del sito.

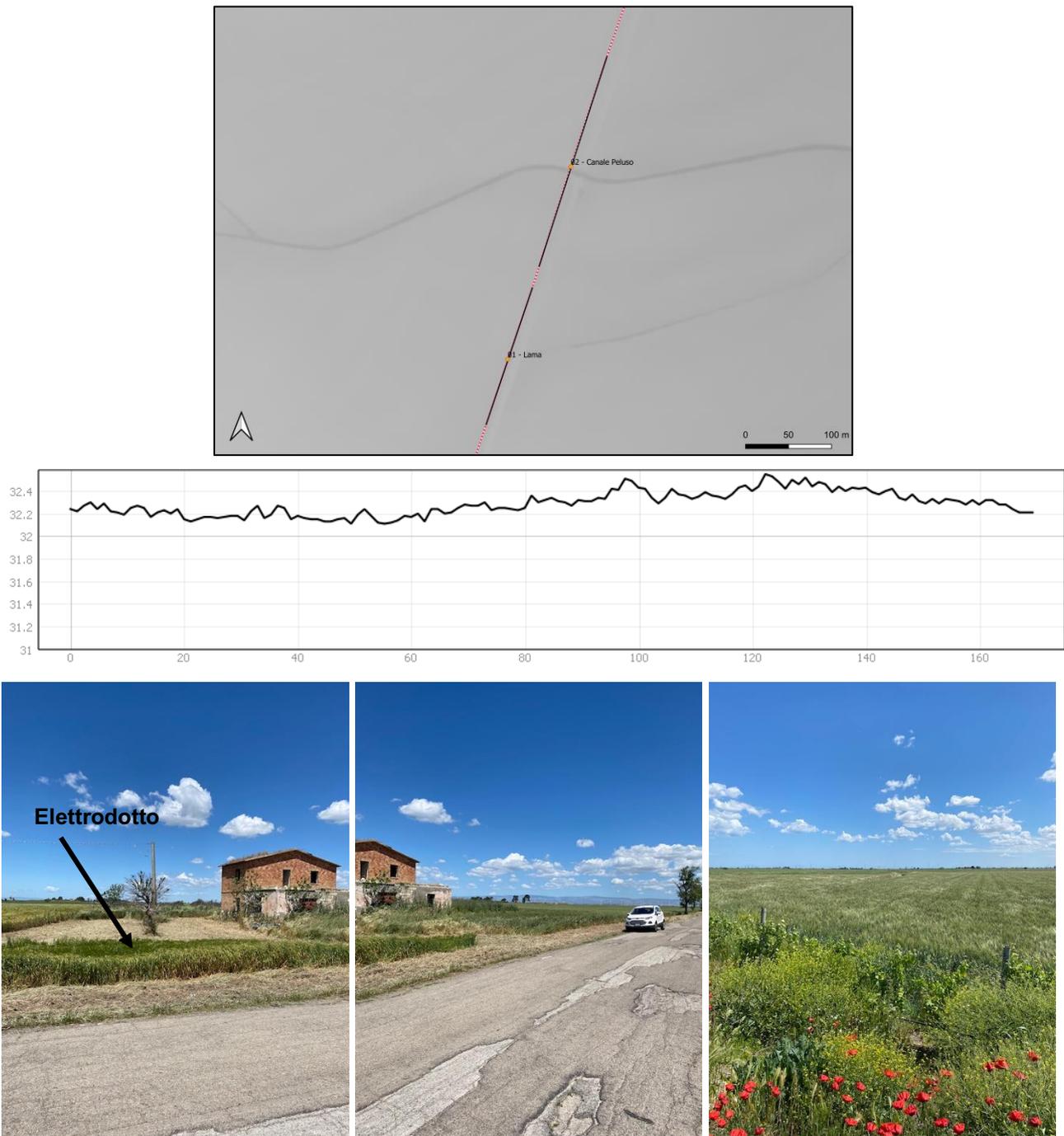


Fig. 35 - Ubicazione e profilo topografico della sezione. Immagini del sito

14.3.2 Attraversamento n.02 - Canale Peluso

Per quanto concerne il Canale Peluso invece, è previsto l'attraversamento con tecnica TOC. Si tratta di un canale artificiale con sponde ed alveo naturali costituito dalle litologie presenti in sito, a forma di V.

Nella tabella sono riportate le quote topografiche degli elementi principali e la quota di attestazione dell'attraversamento in TOC.

Quota d'alveo [m s.l.m.]	Quota argine destro [m s.l.m.]	Quota argine sinistro [m s.l.m.]	Quota attestazione TOC [m s.l.m.]
29.47	31.89	32.50	26.97

Nelle immagini seguenti sono rappresentate: ubicazione della sezione; profilo topografico; immagini del sito.

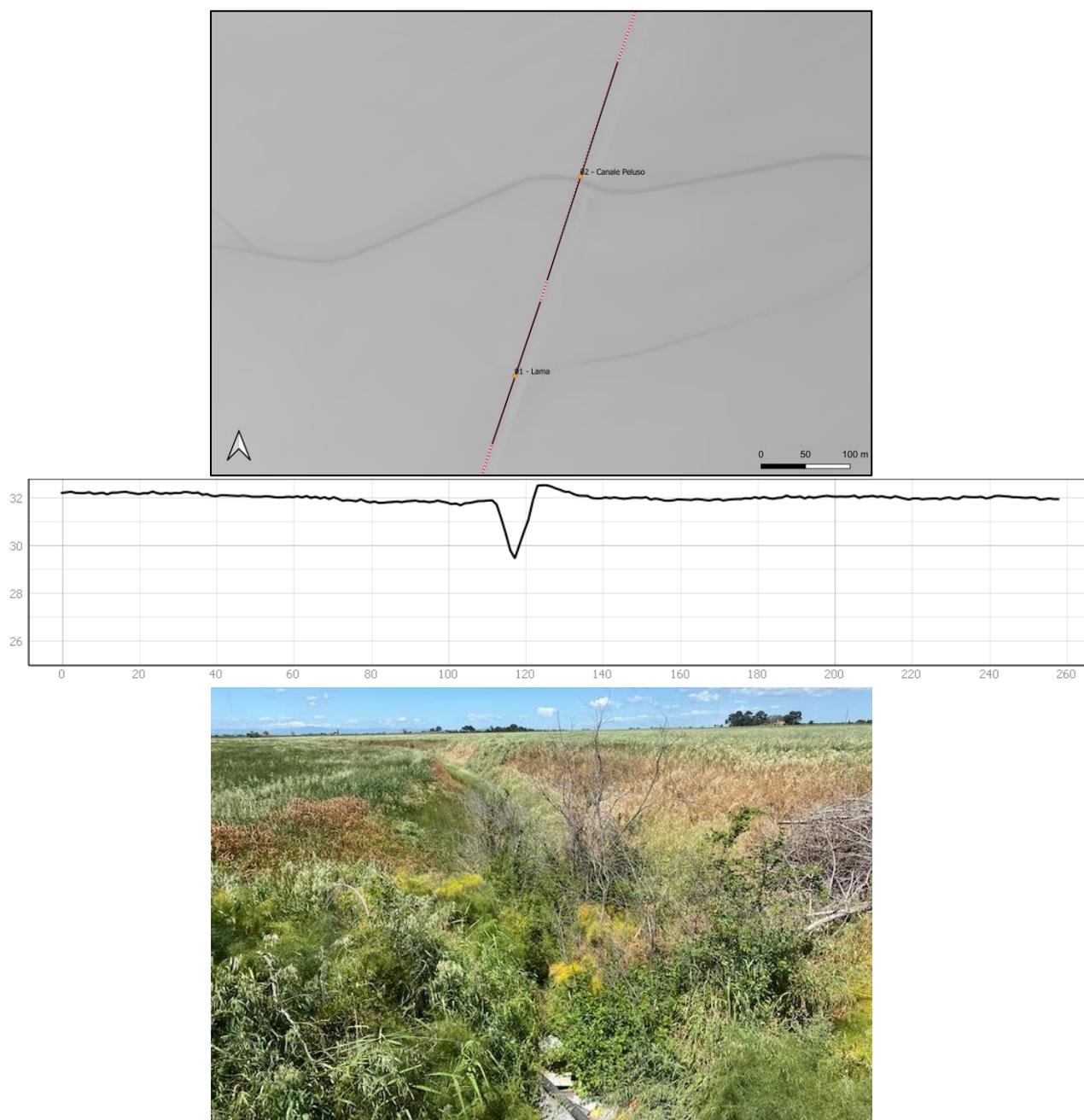


Fig. 36 - Ubicazione e profilo topografico della sezione. Immagini del sito

14.3.3 Attraversamento n.03 - Canale Pesca

Anche per il Canale Pesca è previsto l'attraversamento con tecnica TOC. Si tratta di un canale artificiale con sponde ed alveo naturali costituito dalle litologie presenti in sito, a forma di V asimmetrica, con argine destro più elevato.

Nella tabella sono riportate le quote topografiche degli elementi principali e la quota di attestazione dell'attraversamento in TOC.

Quota d'alveo [m s.l.m.]	Quota argine destro [m s.l.m.]	Quota argine sinistro [m s.l.m.]	Quota attestazione TOC [m s.l.m.]
23.84	26.35	25.20	21.34

Nelle immagini seguenti sono rappresentate: ubicazione della sezione; profilo topografico; immagini del sito.

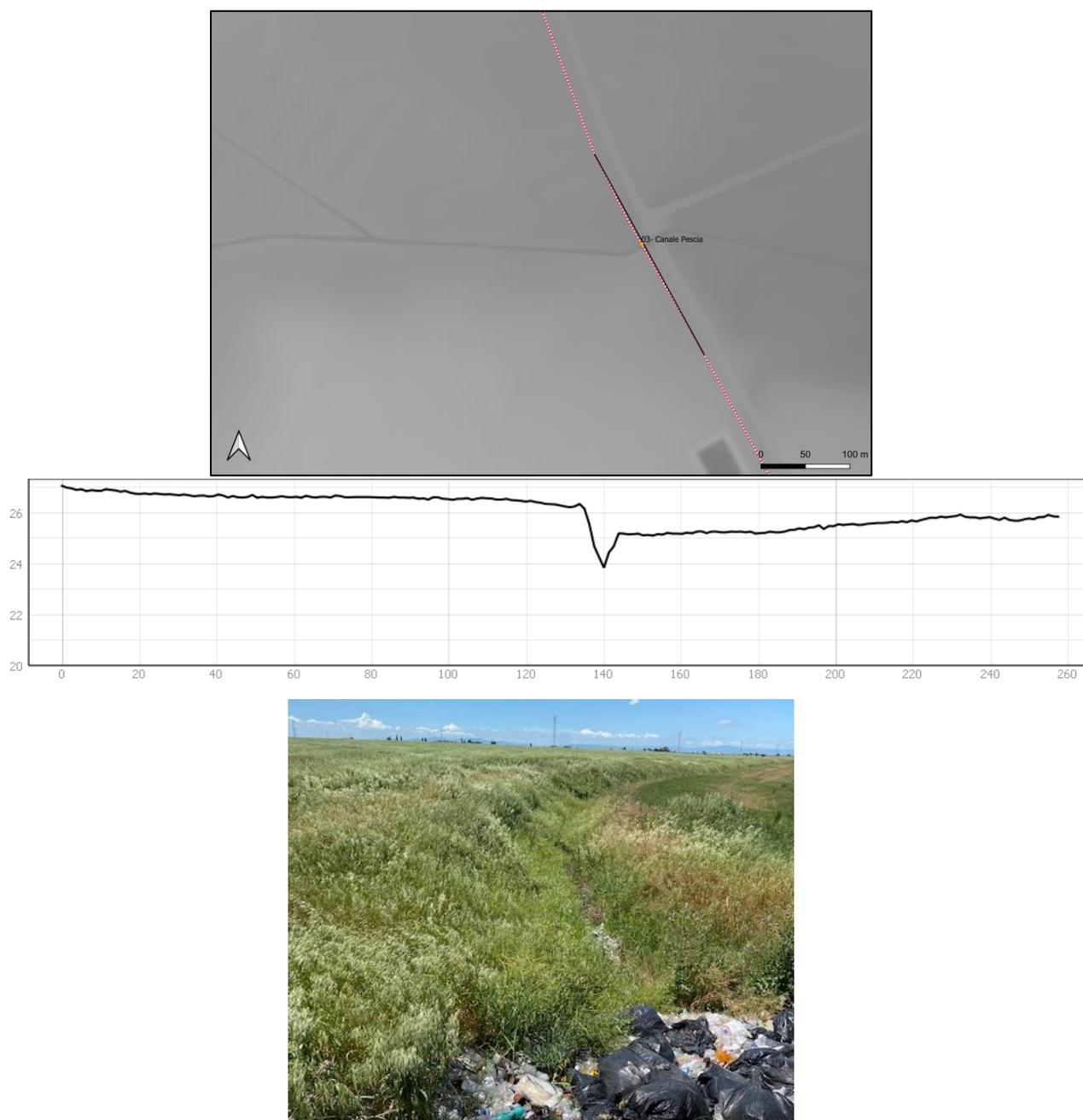


Fig. 37 - Ubicazione e profilo topografico della sezione. Immagini del sito

14.3.4 Attraversamento n.04 - Canale Carapelluzzo

Anche per il Canale Carapelluzzo è previsto l'attraversamento con tecnica TOC. Si tratta di un canale artificiale con sponde ed alveo naturali costituito dalle litologie presenti in sito, a forma di V.

Nella tabella sono riportate le quote topografiche degli elementi principali e la quota di attestazione dell'attraversamento in TOC.

Quota d'alveo [m s.l.m.]	Quota argine destro [m s.l.m.]	Quota argine sinistro [m s.l.m.]	Quota attestazione TOC [m s.l.m.]
26.13	27.74	27.66	23.63

Nelle immagini seguenti sono rappresentate: ubicazione della sezione; profilo topografico; immagini del sito.

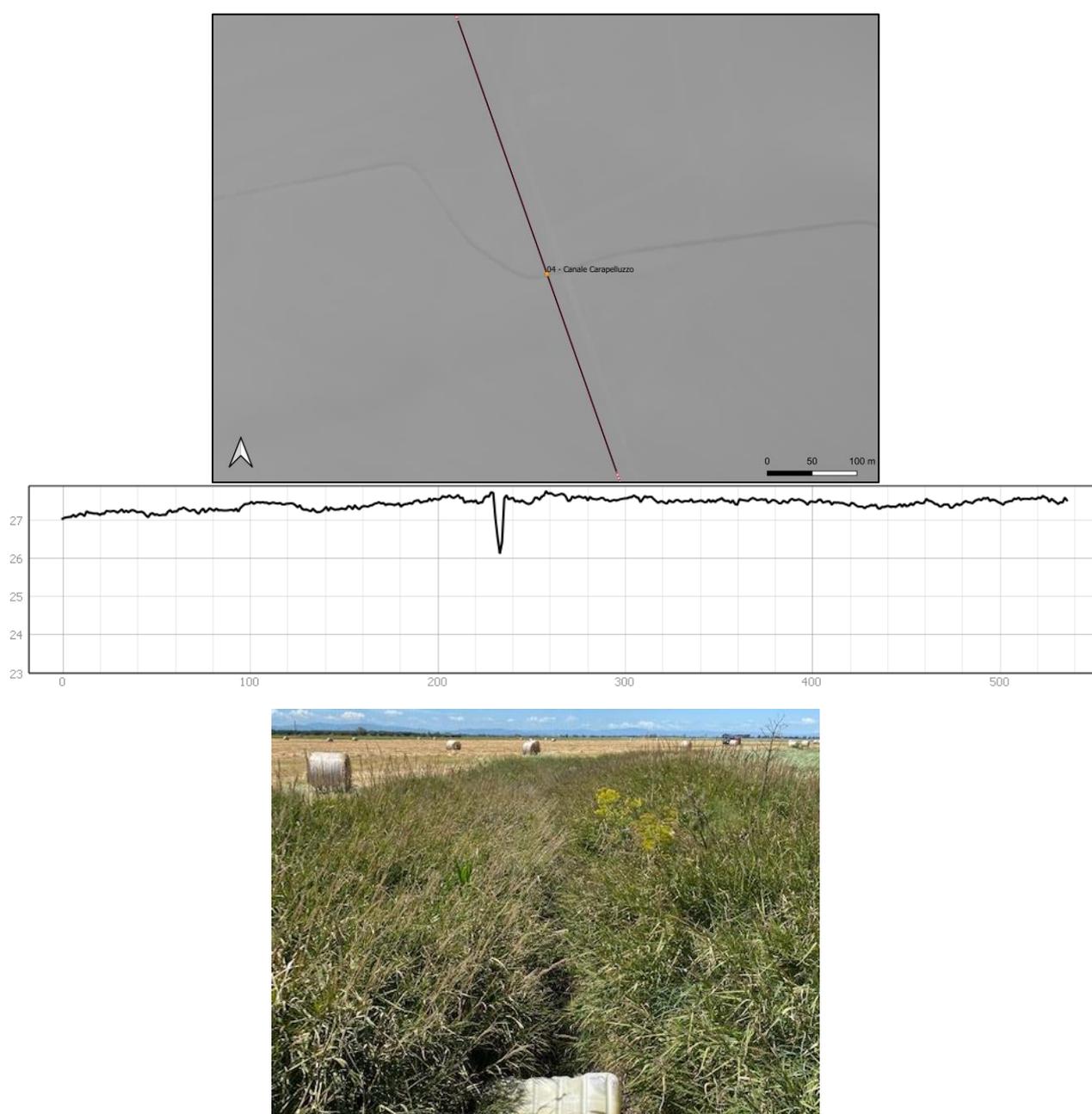


Fig. 38 - Ubicazione e profilo topografico della sezione. Immagini del sito

14.3.5 Attraversamento n.05 - Affluente Canale Macchia Rotonda

L'ultimo attraversamento è previsto con la posa dell'elettrodotto in scavo a cielo. Come è possibile osservare dalla Sezione realizzata usando come base topografica il rilievo lidar con risoluzione 1x1 m, e dalle immagini riportanti lo stato attuale della conformazione fisiografica, in corrispondenza dell'attraversamento del tracciato, il canale non è più presente, molto probabilmente a causa delle lavorazioni agrarie che lo hanno obliterato. La morfologia del terreno sembra degradare dolcemente verso nord senza elementi di rilievo. Nelle immagini seguenti sono rappresentate: ubicazione della sezione; profilo topografico; immagini del sito.

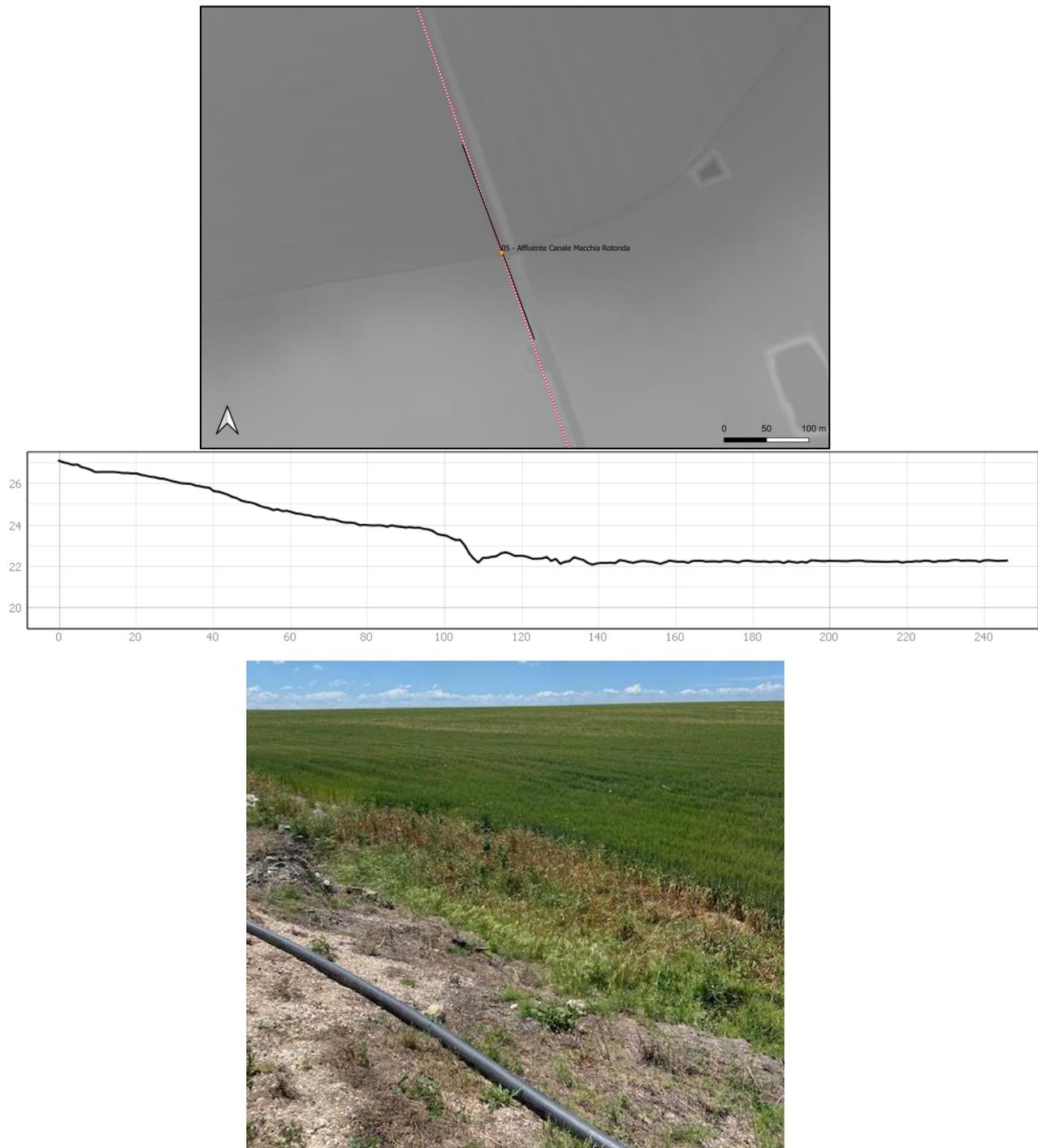


Fig. 39 - Ubicazione e profilo topografico della sezione. Immagini del sito

15. 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/>).

Nei successivi paragrafi si farà riferimento a due siti, il campo fotovoltaico e la zona dove sarà realizzata la Sottostazione.

15.1 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 Carapelle viene classificato come Zona 2.

15.2 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).

15.2.1 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, poiché 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.*

15.2.2 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 $\leq 15^\circ$.

15.3 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 - CAMPO FOTOLTAICO

Latitudine (ED 50)	Longitudine (ED 50)	Stato limite	T_R (anni)	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
41.387437	15.768387	SLO	30	0,043	2,483	0,288
41.387437	15.768387	SLD	50	0,054	2,551	0,327
41.387437	15.768387	SLV	475	0,133	2,615	0,440
41.387437	15.768387	SLC	975	0,173	2,611	0,450

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

Latitudine (ED 50)	Longitudine (ED 50)	Stato limite	T_R (anni)	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
41.445303	15.762465	SLO	30	0,044	2,474	0,288
41.445303	15.762465	SLD	50	0,055	2,538	0,325
41.445303	15.762465	SLV	475	0,133	2,595	0,430
41.445303	15.762465	SLC	975	0,170	2,611	0,442

15.4 Accelerazione massima attesa in superficie del CAMPO FOTOVOLTAICO

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) = 1.41 (SLO) – 1.38 (SLD) – 1.30 (SLV) – 1.29 (SLC).

$S_T = 1.00$ (categoria topografica T1);

$a_g = 0,043$ g (SLO) - **0,054 g (SLD) – 0.133 g (SLV) – 0.173 g (SLC).**

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

- **A_{max} (SLO) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.41 \cdot 0.043$ g = **0.509 m/s²**;**
- **A_{max} (SLD) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.38 \cdot 0.054$ g = **0.638 m/s²**;**
- **A_{max} (SLV) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.30 \cdot 0.133$ g = **1.569 m/s²**;**
- **A_{max} (SLC) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.29 \cdot 0.173$ g = **2.031 m/s²**.**

I coefficienti sismici inoltre, sono riportati nella seguente tabella:

	K_h [-]	K_v [-]	β [-]
SLO	0,010	0,005	0,200
SLD	0,013	0,007	0,200
SLV	0,038	0,019	0,240
SLC	0,050	0,025	0,240

Dove K_h e K_v sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale desunti dalle seguenti relazioni:

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

$K_v = 0.5 \cdot K_h$.

15.5 Accelerazione massima attesa in superficie della SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

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) = 1.41 (SLO) – 1.38 (SLD) – 1.30 (SLV) – 1.29 (SLC).

$S_T = 1.00$ (categoria topografica T1);

$a_g = 0,043$ g (SLO) - **0,054 g (SLD) – 0.133 g (SLV) – 0.173 g (SLC).**

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

- **A_{max} (SLO) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.41 \cdot 0.044$ g = **0.521 m/s²**;**
- **A_{max} (SLD) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.38 \cdot 0.055$ g = **0.653 m/s²**;**
- **A_{max} (SLV) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.30 \cdot 0.133$ g = **1.566 m/s²**;**
- **A_{max} (SLC) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.29 \cdot 0.170$ g = **1.996 m/s²**.**

I coefficienti sismici inoltre, sono riportati nella seguente tabella:

	Kh [-]	Kv [-]	β [-]
SLO	0,011	0,005	0,200
SLD	0,013	0,007	0,200
SLV	0,038	0,019	0,240
SLC	0,049	0,024	0,240

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

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

$$K_v = 0.5 \cdot K_h.$$

16. 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, desunto dall'analisi dei dati pregressi, dalla prospezione geologica di superficie e dalle specifiche indagini condotte (prospezioni geofisiche e prova penetrometrica), risulta molto simile e formato da un corpo litologico costituito da depositi siltosi e argillosi caratterizzati da variabili gradi di coesione.

Questa unità, con relative differenze del grado di coesione e tenori granulometrici, è presente in corrispondenza di tutte le opere di progetto, ossia la zona dove saranno installati i pannelli fotovoltaici, lungo il tracciato seguito dall'elettrodotto ed in corrispondenza della sottostazione di servizio. Per gli specifici modelli geologici si faccia riferimento a quanto riportato in relazione.

A seguito delle indagini sismiche effettuate inoltre, sono state riscontrate velocità delle Vs eq rispettivamente di 536.47 m/s e 467.24 m/s, per i terreni in corrispondenza del campo fotovoltaico, e di 422.15 m/s per la zona dove sarà realizzata la sottostazione di servizio. In relazione ai risultati sperimentali acquisiti, è possibile attribuire a tutti i terreni analizzati la seguente categoria di sottosuolo di fondazione:

- 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).

Dal punto di vista idrogeologico, l'unico acquifero presente è quello poroso superficiale la cui soggiacenza dal piano campagna risulta elevata 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.

Per quanto concerne l'elettrodotto, si fa presente che saranno utilizzate per la posa, due tecniche di differenti. Con scavo a cielo aperto nelle zone non interessate dal reticolo, e con metodologia TOC (Trivellazione orizzontale controllata) per l'attraversamento dei corsi d'acqua. Nei tratti con posa dell'elettrodotto con scavo a cielo aperto sarà realizzata una trincea avente una larghezza di 0.60 m ed una profondità di 1.30 m dal piano campagna. Alla base della trincea sarà posato un letto di sabbia di 5 cm su cui sarà adagiato il cavo di media tensione, a sua volta avviluppato da una coltre sabbiosa di 0.3 m di spessore. Su questa coltre sarà posizionata la tubazione per F.O. a sua volta coperta da uno strato di 0.2 m di sabbia. La restante parte dello scavo sarà colmata con materiale misto granulare-tout venant di cava.

In relazione alla tenuta dei fronti laterali di scavo della trincea, si consiglia e prescrive di inserire opere di sostegno temporaneo in quanto, a causa della presenza di litotipi con grado di coesione limitato o di sacche di terreni sabbiosi, potrebbero verificarsi cedimenti del versante. La realizzazione di queste opere di sostegno sarà da valutare in relazione alla natura delle litologie incontrate, ma dovranno essere assolutamente realizzate qualora lo scavo venga lasciato aperto e le lavorazioni sospese. Si consiglia inoltre di procedere allo scavo di tratti di lunghezza limitati, dell'ordine dei 20-30 metri, in modo da completare e riempirlo quasi contestualmente all'apertura per non incrementare il rischio per gli operatori e comunque in funzione di un rapido ripristino delle condizioni morfologiche presenti ante-operam in quanto in molte zone dell'elettrodotto sono presenti perimetrazioni PAI, legate al rischio allagamento.

Particolare cura infine, dovrà essere rivolta durante i lavori di captazione e smaltimento delle acque sia meteoriche 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 infine di comunicare al sottoscritto l'inizio dei lavori, al fine di poter fornire eventuali integrazioni, chiarimenti e suggerimenti tecnici per variazioni progettuali da adottare in corso d'opera, richiesti da possibili imprevisti geologici.

Alberobello, 11.05.2021

Dott. Geol. Giuseppe Gigante



A circular professional stamp from the "ORDINE DEI GEOLOGI PUGLIA" (Order of Geologists Puglia). The stamp contains the text: "geologo GIUSEPPE GIGANTE N. 718". To the right of the stamp is a handwritten signature in blue ink that reads "Giuseppe Gigante".