



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. De Giorgio G.	Geol. Gigante G.	MBG	Seconda Emissione

Numero Commessa:

SV317b

Data Elaborato:

11/05/2021

Revisione:

R1

Titolo Elaborato:

Relazione di compatibilità Geologica e Geotecnica

Progettista:

ing.MarcoG.Balzano

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

Elaborato:

V.05

Sommario

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. UBICAZIONE DELL'AREA	4
4. LINEAMENTI GEOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI DELL'AREA DI STUDIO	6
5. GEOMORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DEL TERRITORIO	9
6. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	11
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRETTE E DIRETTE REALIZZATE	13
8. IL MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	15
8.1 STENDIMENTO AA'	15
8.2 STENDIMENTO BB'	16
8.3 STENDIMENTO CC'	17
9. IL MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	19
10. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE DEI SITI DI PROGETTO	23
10.1 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO AA'	23
10.2 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO BB'	24
10.3 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DELLO STENDIMENTO CC'	25
11. CARATTERIZZAZIONE ELASTICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	26
12. SISMICITÀ DELL'AREA	27
12.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA	27
12.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (D.M. 17/01/2018)	27
12.2.1 <i>Categoria di sottosuolo di riferimento</i>	27
12.2.2 <i>Condizioni topografiche</i>	27
12.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	27
12.4 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	28
12.5 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE DELLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA	29
13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	31

1. PREMESSA

La presente relazione di **compatibilità geologica e geotecnica**, redatta dal sottoscritto dott. Geol. Giorgio De Giorgio a seguito dell'incarico conferito alla GeoMoniTek S.r.l. dallo STUDIO TECNICO Ing. Marco Balzano, integra la documentazione a corredo del *Progetto per la Realizzazione di impianto fotovoltaico Utility Scale* da realizzare su un 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 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.

In relazione a quanto riportato in premessa, nel presente documento sono inseriti gli studi geologici, geomorfologici, idrogeologici, sismici e geotecnici effettuati nell'area di progetto per definire la **compatibilità geologica e geotecnica dell'intervento nei confronti dei terreni in cui esso sarà inserito in relazione alle destinazioni e alle trasformazioni d'uso del suolo collegate alla realizzazione dell'intervento stesso**.

Per la realizzazione del modello geologico e del modello geotecnico di riferimento è stata realizzata una campagna di indagini geognostiche di tipo indiretto e diretto consistenti 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;
- n.1 indagine penetrometrica.

Le prove sono state inoltre integrate dall'analisi della bibliografia esistente e dalla prospezione geologica e geomorfologica di superficie.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- D.M. 17 gennaio 2018: "Norme tecniche per le costruzioni" (G.U. del 20 febbraio 2018 Suppl. Ordinario n.42) e Circolare Applicativa C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019 n.7: "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 Gennaio 2018" (G.U. n.35 del 11 febbraio 2019 - Suppl. Ordinario n.5);
- D.G.R. 15 settembre 2009 n.1626: "D.M. 14.01.2008 - Norme tecniche per le costruzioni. Disposizione in merito alle procedure da adottare in materia di controlli e/o autorizzazioni, ai sensi e per gli effetti di cui agli artt. 93 e 94 del D.P.R. n. 06.06.2001, n. 380 e s.m.i." (Boll. Uff. Regione Puglia n.151 del 29.9.2009);
- Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (12/11/04 e nota 25/CT del 15/12/04), in vigore dal Dicembre 2005;
- OPCM n.3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" successive modificazioni e collegata normativa regionale;
- Piano Urbanistico Territoriale Tematico / Paesaggio (PUTT/P), approvato con Del. GR. n.1748 del 15 dicembre 2000, in adempimento di quanto disposto dalla legge n. 431 del 8 Agosto 1985 e dalla legge regionale n.56 del 31 Maggio 1980.
- Piano Paesaggistico Territoriale Regionale della Puglia (PPTR), adottato con Del. GR n.1435 del 2 agosto 2013 (Boll. Uff. Regione Puglia n.108 del 06.08.2013).

Inoltre, la presente relazione è stata redatta tenuto conto di quanto espresso dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (12/11/04 e nota 25/CT del 15/12/04), 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.

3. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area interessata dall'opera in parola é 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:

- 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..

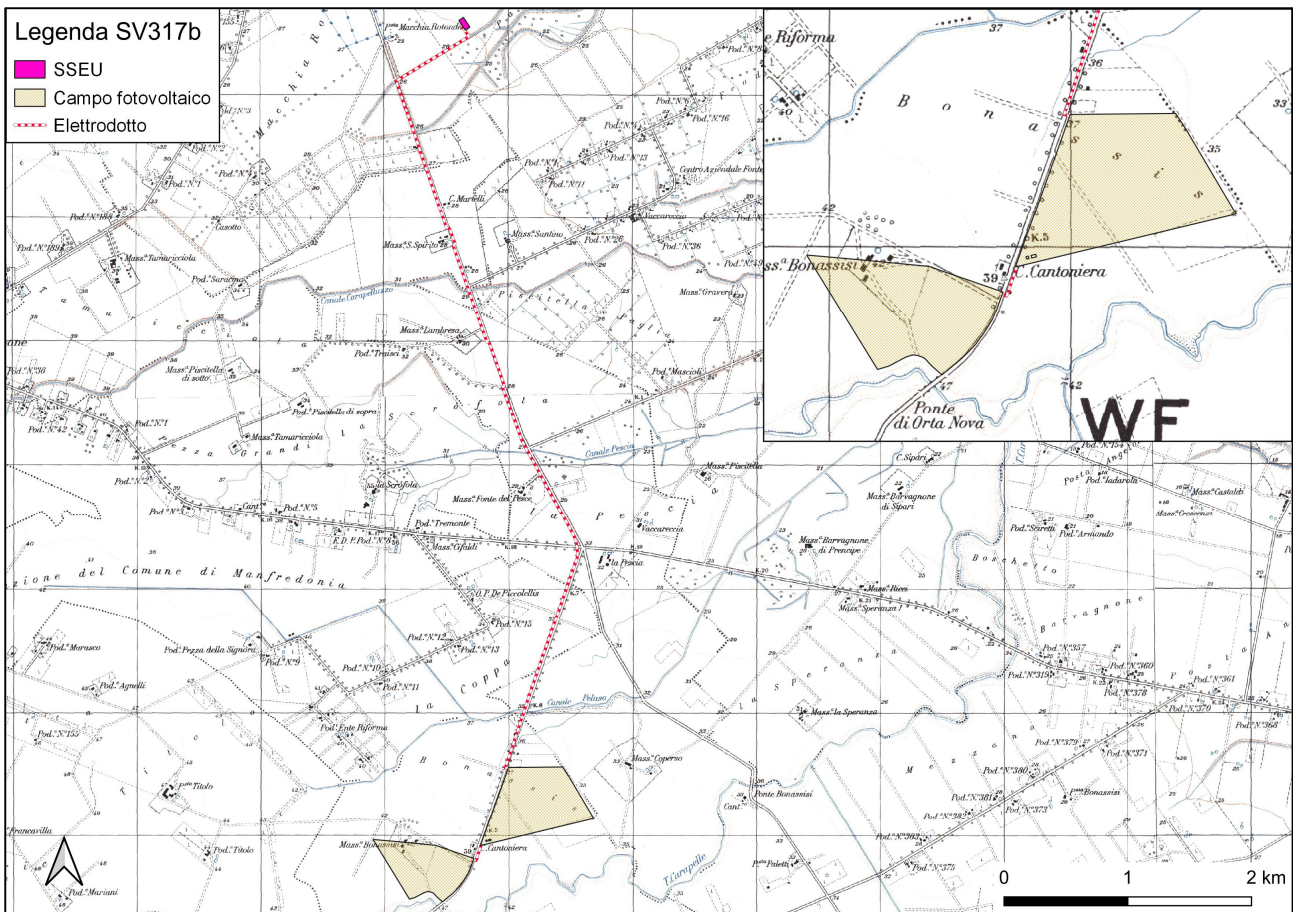


Fig. 1a - Stralcio delle Tavole IGMI F°164 II SO "Stazione di Ortanova" e F°164 II NO "Borgo Mezzanone". Fonte: www.sit.puglia.it.



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

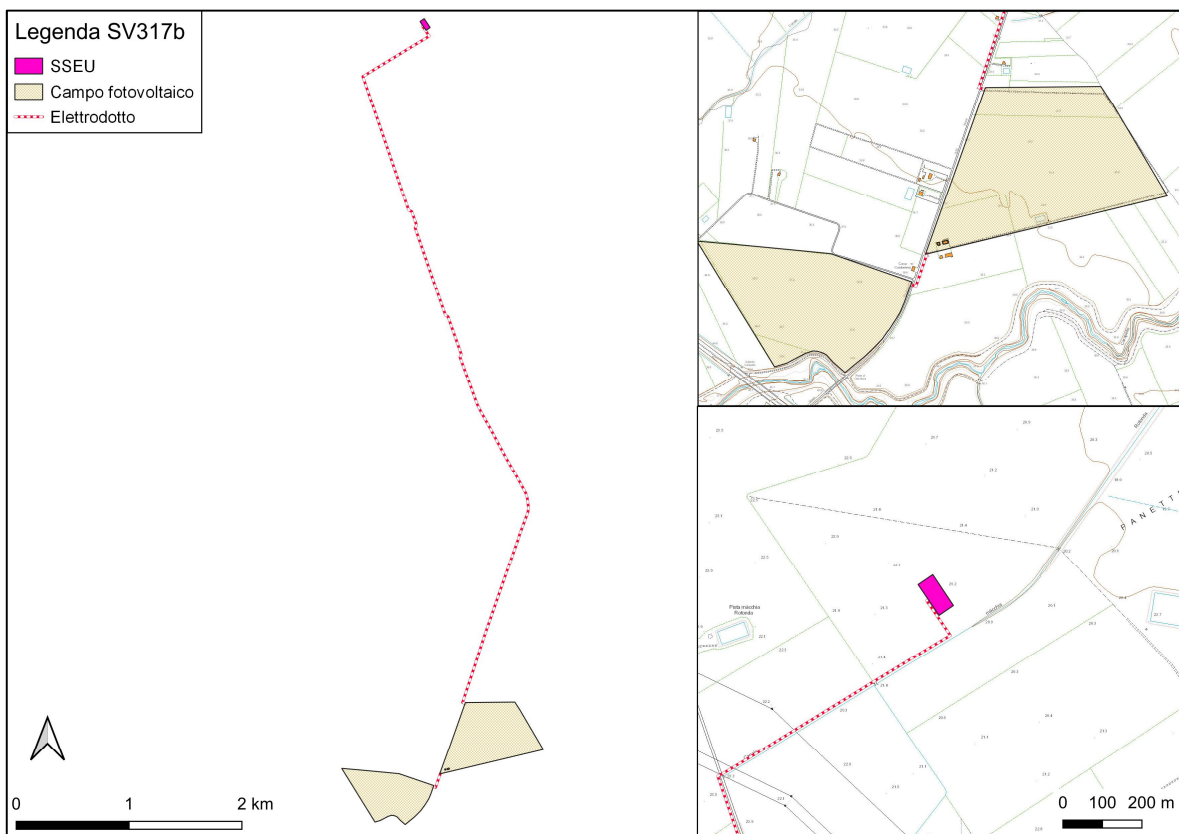


Figura 1c - Ubicazione del sito su CTR Regionale. Fonte: www.sit.puglia.it

4. LINEAMENTI GEOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI 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 raggiungere 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", area generalmente caratterizzata dalla presenza in affioramento di depositi recenti che vanno dal Pleistocene inferiore all'Olocene. All'interno di questi sedimenti, dall'analisi dei dati di perforazione, è stato possibile individuare importanti superfici di discontinuità, che hanno costituito la base per la suddivisione del record sedimentario in unità stratigrafiche a limiti 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.

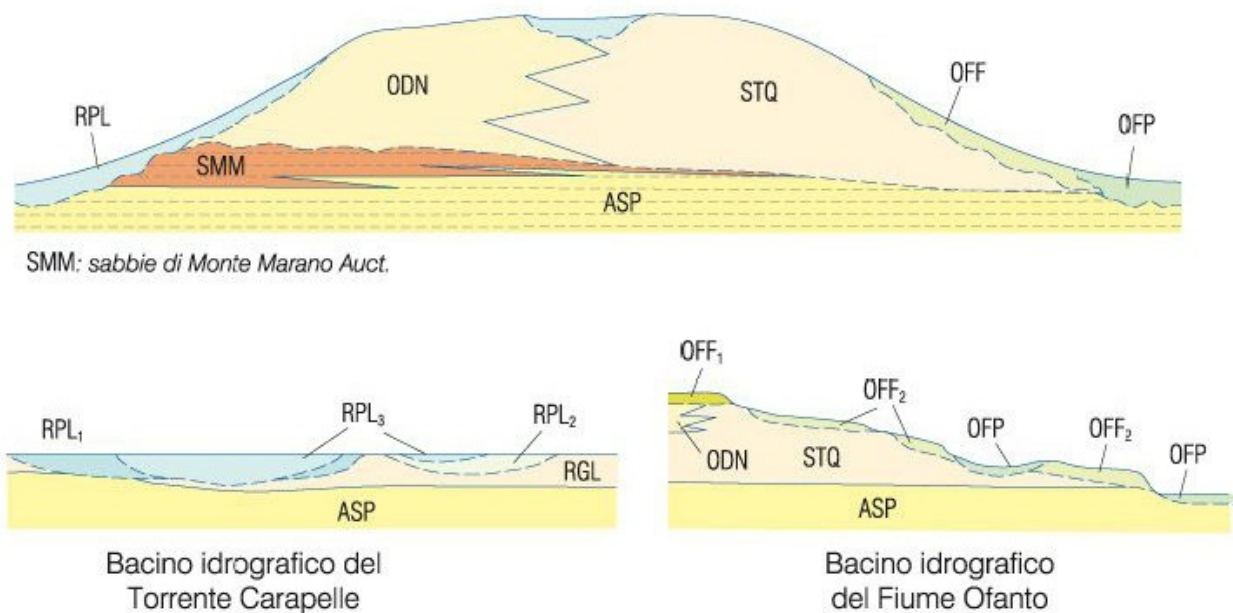


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici del F°422 “Cerignola” in cui ricade l’area di studio. Si segnala un errore di stampa nello schema dei rapporti stratigrafici del Bacino del Torrente Carapelle, dove viene indicata erroneamente con la sigla RGL l’unità delle Sabbie di Torre Quarto che invece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

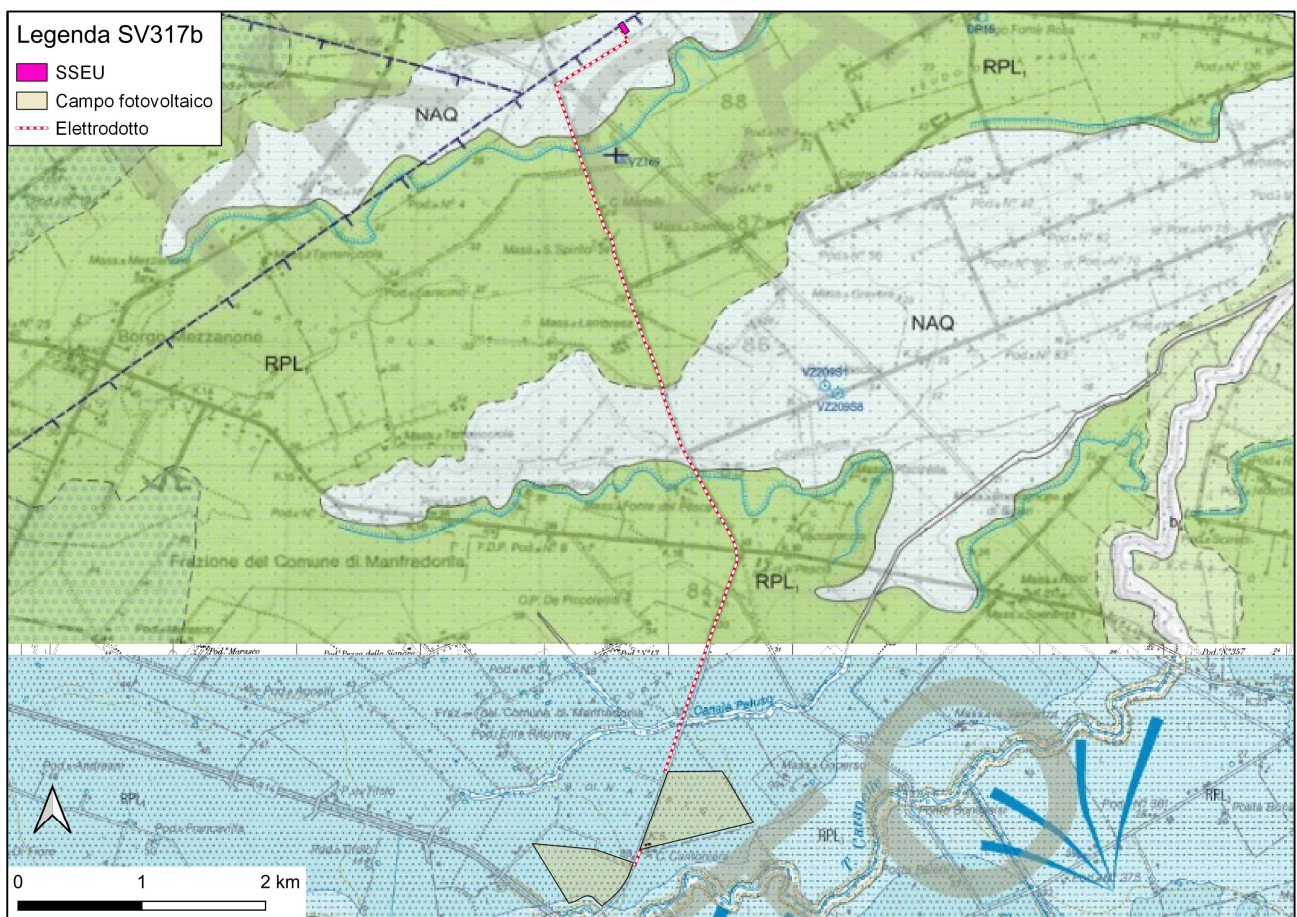


Figura 3 – Stralcio del Foglio 422 “Cerignola” e 409 “Zaponeta” con indicazione dell’area di progetto.
Fonte: www.isprambiente.gov.it

5. GEOMORFOLOGIA ED 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.

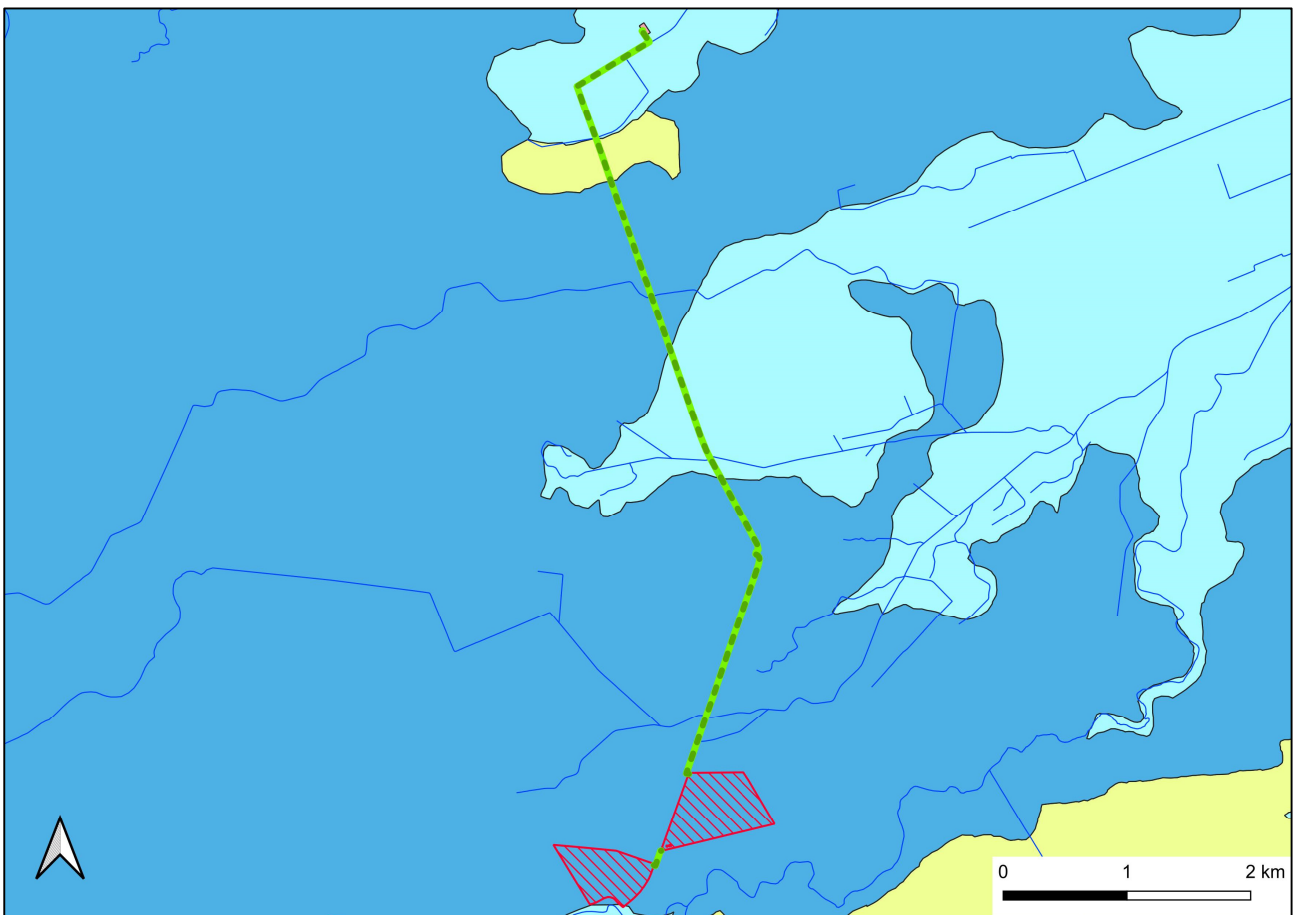


Fig.3 - Stralcio della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (www.adb.puglia.it).

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

un tracciato di circa 6,5 km raggiungerà la sottostazione di servizio. Il tracciato dell'elettrodotto interesserà per circa 2/3 della lunghezza complessiva i depositi ghiaioso-sabbiosi, mentre nel tratto terminale ed in alcune zone di attraverso dei suddetti impluvi invece, interesserà i depositi siltosi costituenti la coltre deposizionale delle canalizzazioni fluviali presenti.

In quest'area l'idrografia superficiale presenta un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra interrotti da piene che, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi, possono assumere un carattere rovinoso. Lo sviluppo del reticolo idrografico è interessato anche da una fitta canalizzazione artificiale con i quali vengono convogliate le acque per l'irrigazione delle colture presenti in zona.

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

L'area in cui saranno installati i pannelli fotovoltaici, indicata in figura dal retino rosso, non è interessata da perimetrazioni di pericolosità idraulica (Fig.4).

Per quanto concerne il tracciato su cui si sviluppa l'elettrodotto invece, è possibile osservare che attraverserà nel primo tratto aree a Media pericolosità, nel tratto centrale occuperà zone idraulicamente perimetrare a media pericolosità, e nel tratto finale interesserà nuovamente aree ad Alta, Media e Bassa pericolosità.

La sottostazione di servizio infine, è posizionata in una zona a media pericolosità idraulica.

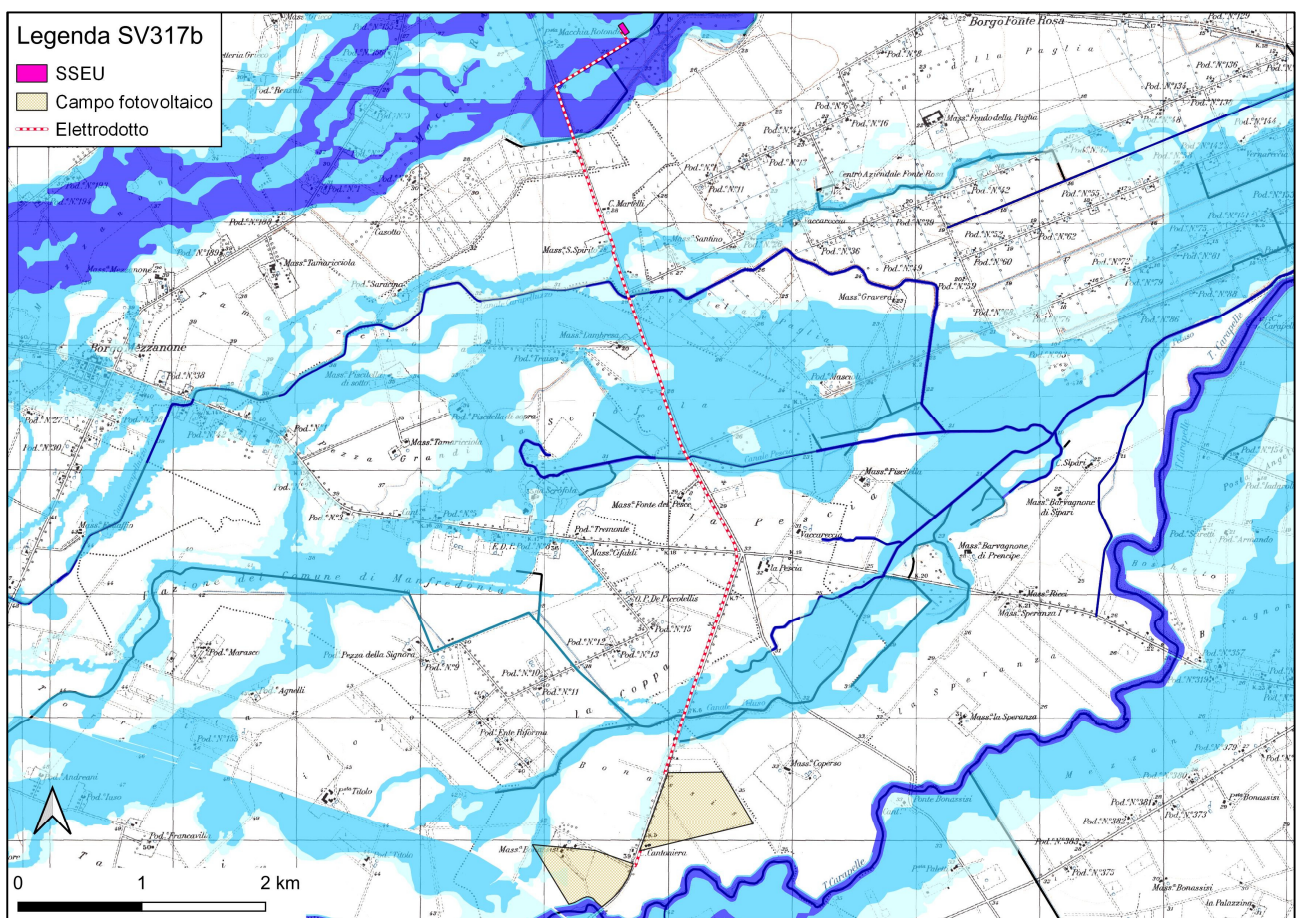


Fig. 4 – Stralcio della Cartografia del PAI Puglia con indicazione delle aree di intervento e delle strutture connesse

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 rinvergono 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).

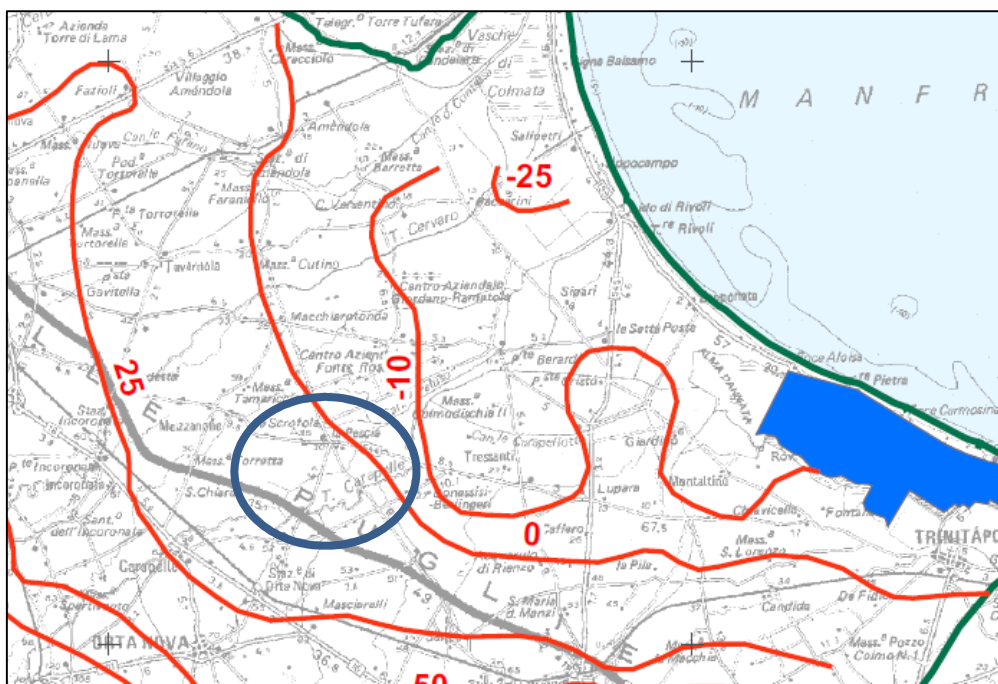


Figura 5 – Stralcio della carta dei carichi piezometri dell'acquifero poroso superficiale del Tavoliere delle Puglia.
(Fonte: Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia)

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRECTE E DIRETTE REALIZZATE

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).

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:

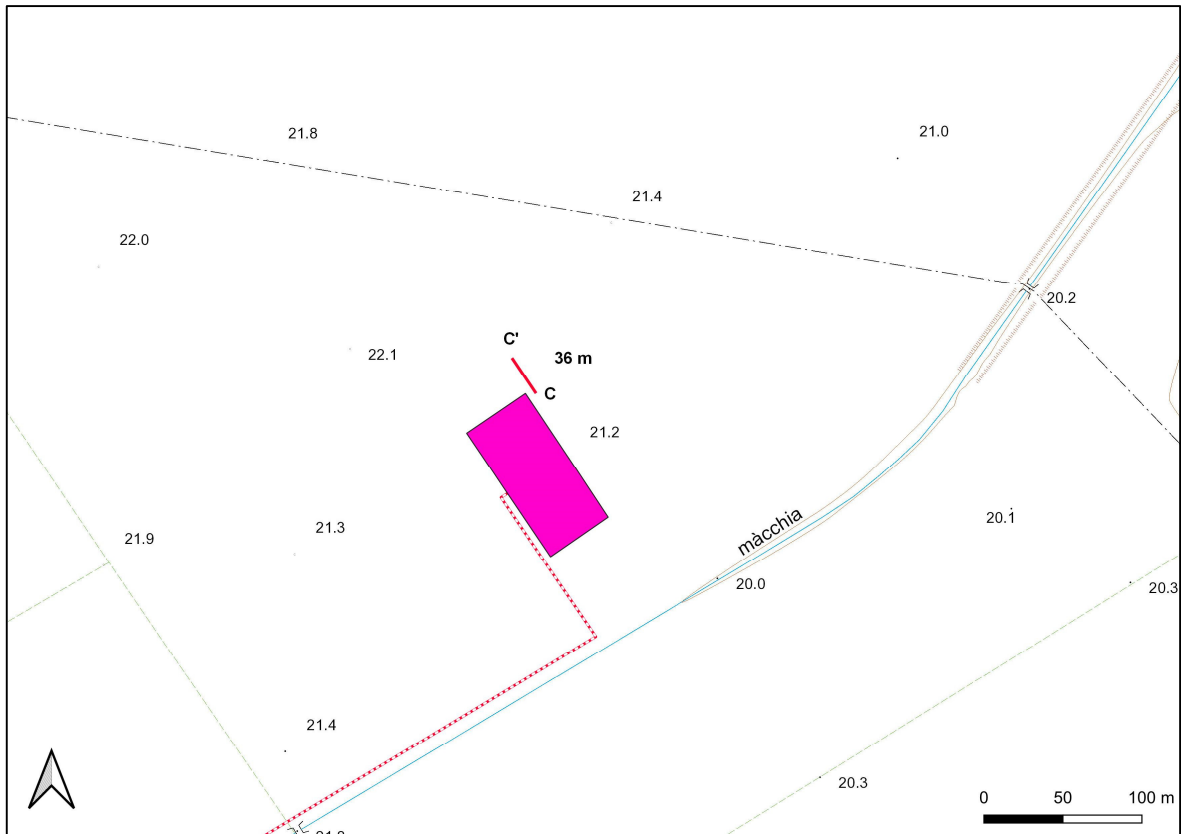
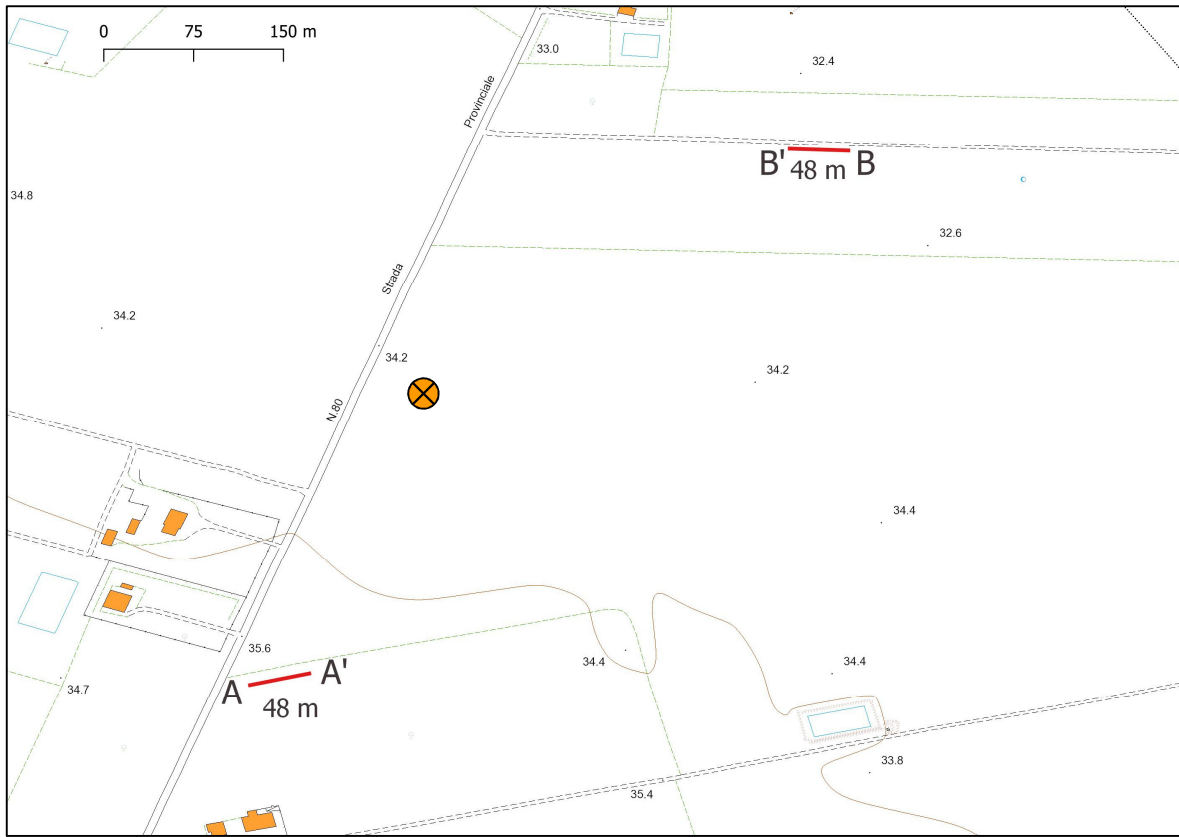


Figura 6 – Ubicazione degli stendimenti geofisici e della prova penetrometrica S1

8. IL MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

L'analisi interpretativa delle tre sezioni sismiche ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, e di conseguenza interpretare in chiave geologica l'analisi sismostratigrafica.

8.1 Stendimento 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.

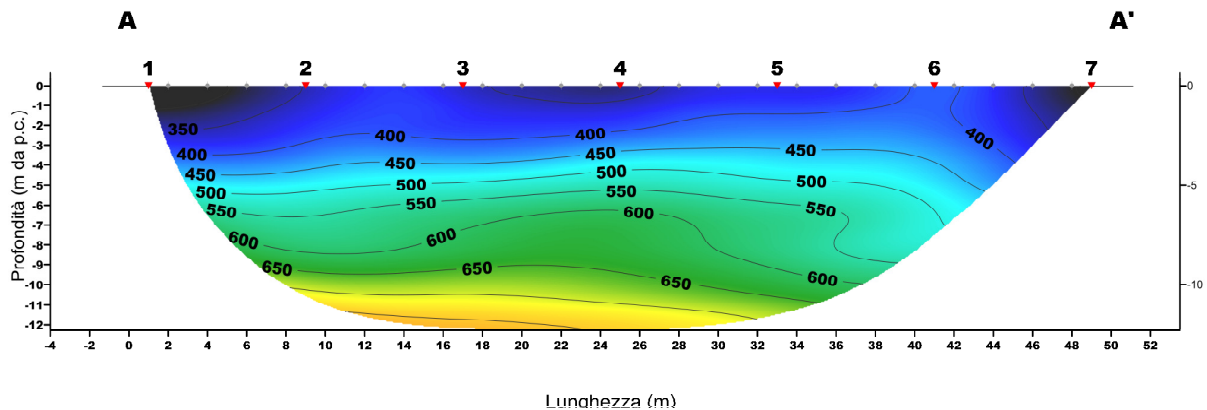


Fig. 7 – Interpretazione sezione tomografica del profilo AA'

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.

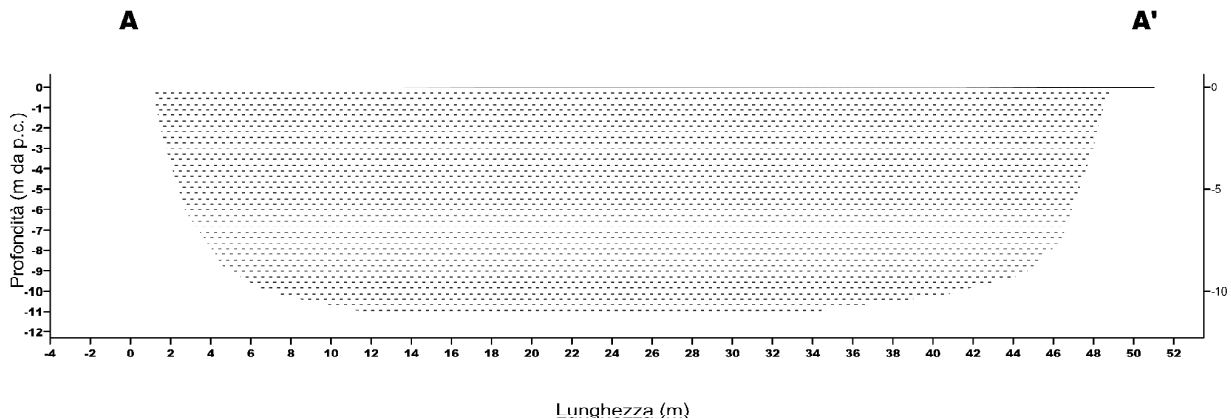


Fig. 8 – Modello geologico del sito

8.2 Stendimento 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.

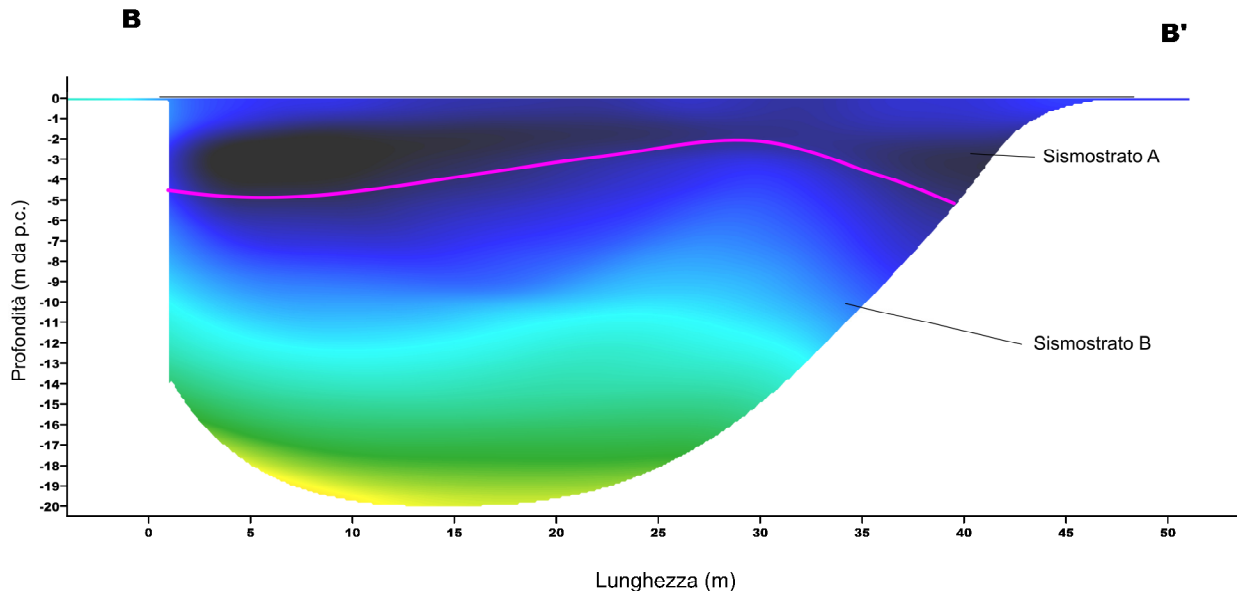


Fig. 9 – Interpretazione sezione tomografica del profilo BB'

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).

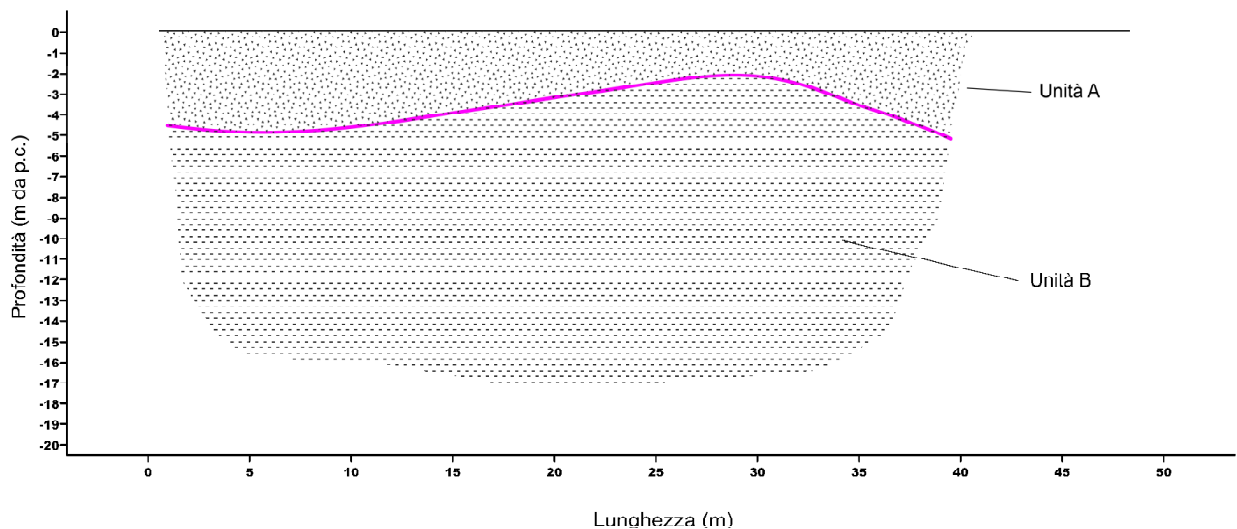


Fig. 10 – Modello geologico del sito

8.3 Stendimento 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.

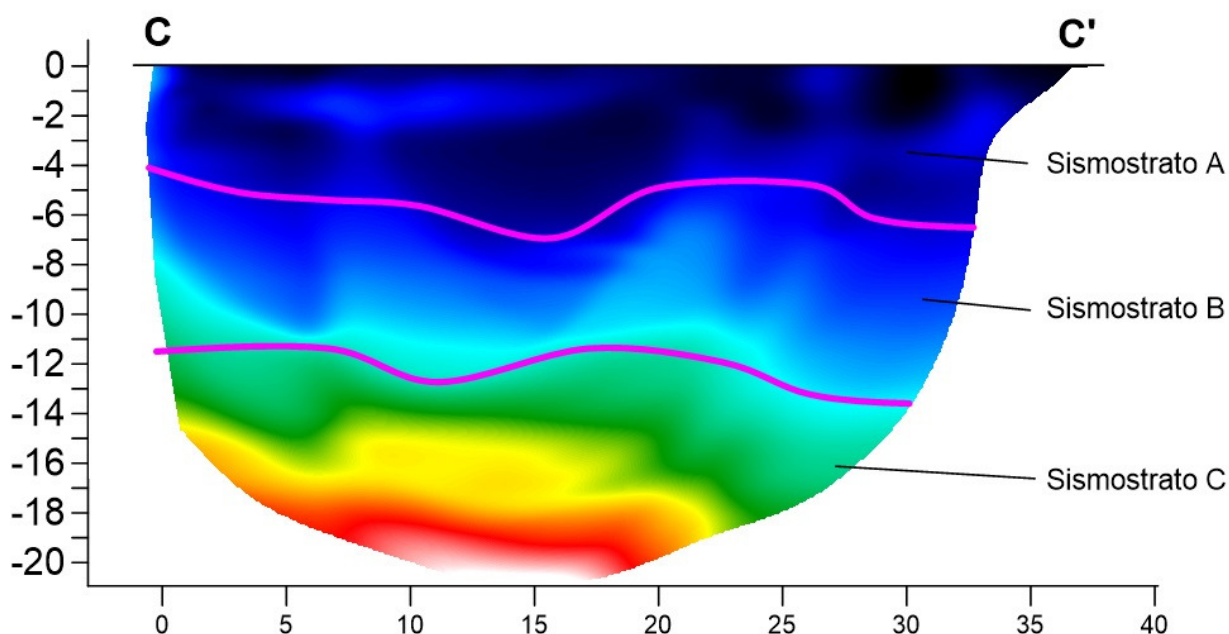


Fig. 11 – Interpretazione sezione tomografica del profilo CC'

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).

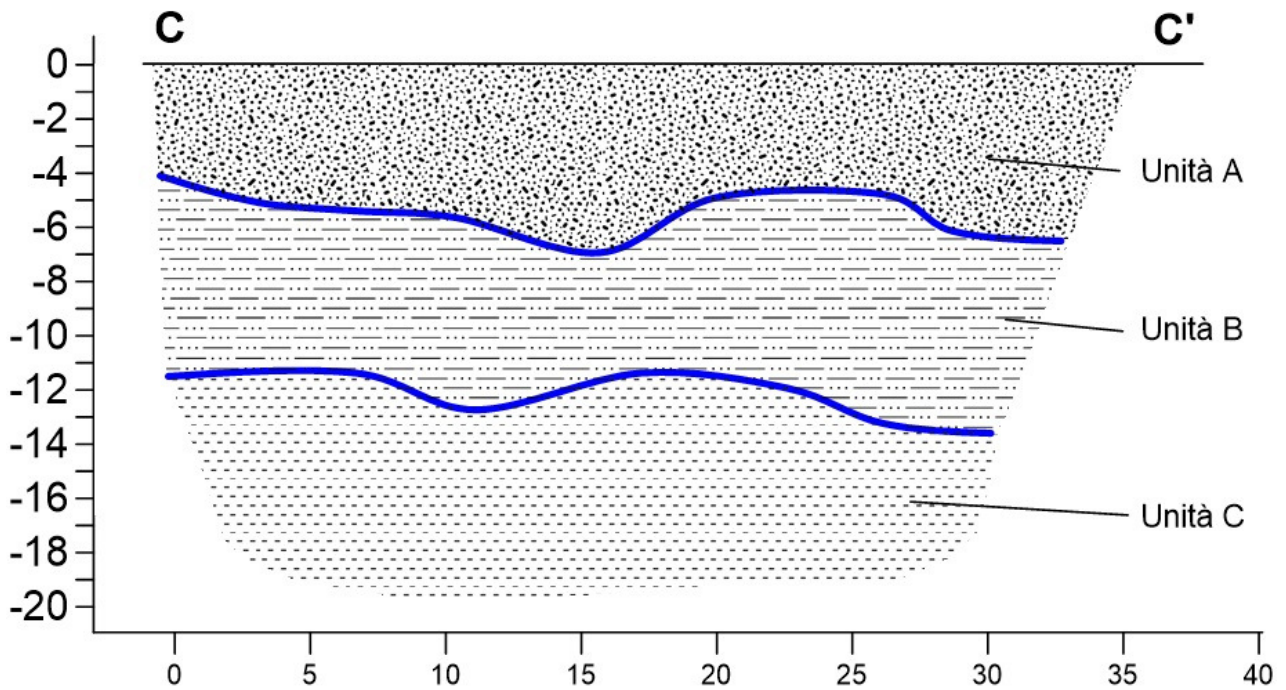


Fig. 12 – Modello geologico del sito

9. IL MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

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 accorpate 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**

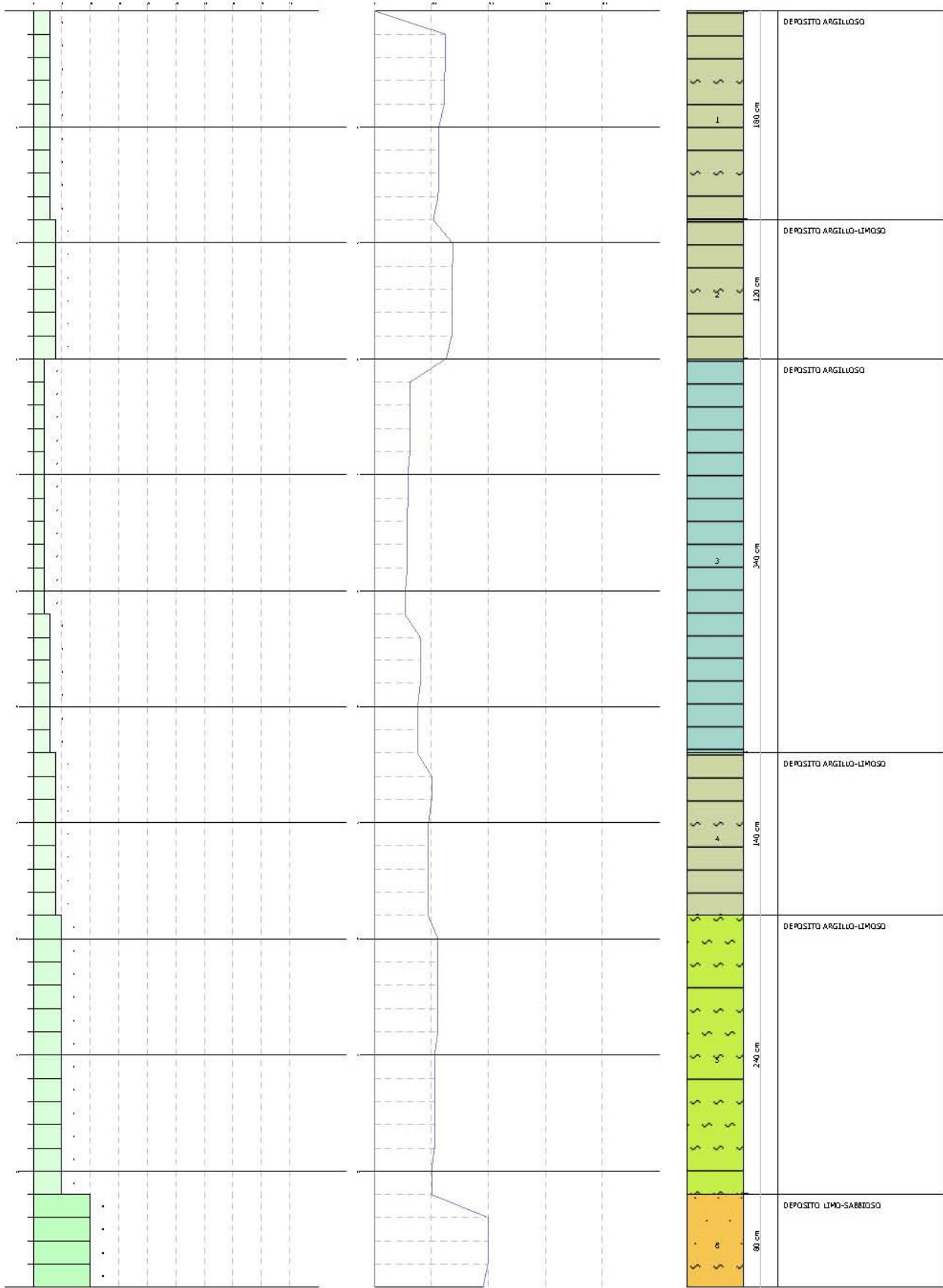
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	3	0,855	24,92	29,15	1,25	1,46
0,40	3	0,851	24,80	29,15	1,24	1,46
0,60	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

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)
9,00	5	0,753	21,18	28,11	1,06	1,41
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

LITOLOGIA (strato geotecnico)	PROFONDITÀ A' dal P.C. (mt)		PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONE	VALORE
	DA	A			
			Peso unità di volume naturale (γ)	[Meyerhof]	1,89 (t/mc)
			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)



10. 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.

10.1 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.**

10.2 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.**

10.3 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.**

11. 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 - Top	350.00	241.00	1.55	912.4	707.8	1914.6	1924.4	0.05	1.45	374.08
A - Bottom	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 - Top	200.00	102.00	1.40	147.0	369.1	389.2	565.0	0.32	1.96	200.00
A - Bottom	400.00	213.00	1.59	731.0	1603.4	1903.8	2578.1	0.30	1.88	400.00
B - Top	400.00	213.00	1.59	731.0	1603.4	1903.8	2578.1	0.30	1.88	400.00
B - Bottom	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.

12. 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.

12.1 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.

12.2 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).

12.2.1 Categoria di sottosuolo di riferimento

Per la determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione sono stati considerati i risultati delle indagini sismiche realizzate nei siti di progetto. Pertanto, sulla base delle risultanze delle indagini sismiche considerate, poichè il substrato sismico non risulta affiorante e presente nei primi 30 metri di profondità dal p.c., è possibile affermare che il profilo stratigrafico del suolo di fondazione delle opere in progetto ricada nella **categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

12.2.2 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 $\leq 15^\circ$.

12.3 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

12.4 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) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.41 \cdot 0.043 \text{ g} = 0.509 \text{ m/s}^2$;**
- **A_{max} (SLD) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.38 \cdot 0.054 \text{ g} = 0.638 \text{ m/s}^2$;**
- **A_{max} (SLV) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.30 \cdot 0.133 \text{ g} = 1.569 \text{ m/s}^2$;**
- **A_{max} (SLC) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.29 \cdot 0.173 \text{ g} = 2.031 \text{ m/s}^2$.**

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:

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

$K_v = 0.5 \cdot K_h$.

12.5 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) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.41 \cdot 0.044 \text{ g} = 0.521 \text{ m/s}^2$;**
- **A_{max} (SLD) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.38 \cdot 0.055 \text{ g} = 0.653 \text{ m/s}^2$;**
- **A_{max} (SLV) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.30 \cdot 0.133 \text{ g} = 1.566 \text{ m/s}^2$;**
- **A_{max} (SLC) = $S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.29 \cdot 0.170 \text{ g} = 1.996 \text{ m/s}^2$.**

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:

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

$$K_v = 0.5 \cdot K_h.$$

13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio compiuto ha consentito di inquadrare l'area di progetto dal punto di vista geologico, idrogeologico, geomorfologico, geotecnico e sismico e definire la **compatibilità geologica e geotecnica dell'intervento nei confronti dei terreni in cui esso sarà inserito in relazione alle destinazioni e alle trasformazioni d'uso del suolo collegate alla realizzazione dell'intervento stesso.**

Lo schema geologico in corrispondenza del sito di progetto, desunto dall'analisi dei dati pregressi, dalla prospezione geologica di superficie e dall'indagine sismica compiuta, è praticamente identico e formato da un corpo litologico costituito da depositi siltesi 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.

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 il modello geotecnico generale del sito in cui sarà realizzato l'impianto fotovoltaico e le opere connesse inoltre, è possibile affermare che nei primi 3 metri di profondità sono presenti depositi argillosi moderatamente addensati, le cui caratteristiche tecniche risultano idonee alla posa delle fondazioni di progetto.

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).

La panoramica delle considerazioni tecniche effettuate quindi, permette di concludere che il sito, in relazione alla tipologia delle opere previste (pannelli fotovoltaici ancorati al suolo mediante paletti infissi nel terreno), e su cui graveranno carichi strutturali alquanto limitati, sia idoneo dal punto di vista geologico e geotecnico alla realizzazione dell'opera e delle strutture ad essa connesse.

Alberobello, 11.05.2021

Dott. Geol. Giorgio De Giorgio

