

Regione Puglia



Provincia di Brindisi



Comune di Brindisi

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO
E OPERE CONNESSE
(Potenza Impianto Fotovoltaico 25MW)**

BR_AS_AUR20 – RELAZIONE GEOLOGICA

Committente:		Engineering:	
ACEA SOLAR s.r.l. Piazzale Ostiense n.2 00154 Roma (RM)		 ACEA SOLAR SRL	
			
Il Tecnico	Relazione Geologica	Revisioni	DATA
Geol. Michele Ognibene  			
		Iter Autorizzativo	Feb/2023
Descrizione	Relazione Geologica		
Commessa	BR-AGRIAIA		

Indice

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
2.1 Inquadramento Geografico e Territoriale.....	6
3. INQUADRAMENTO VINCOLISTICO.....	11
3.1 Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia	11
3.2 Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia (PPTR)	13
3.3 Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia (PTA).....	15
3.4 Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della regione Puglia (PAI)	17
4. CONTESTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO	19
4.1 Successione stratigrafica dell'area brindisina.....	23
4.1.1 Depositi continentali	24
4.1.2 Depositi Marini Terrazzati [DT]	26
4.1.3 Argille Subappennine [SB – AS].....	26
4.1.4 Calcareniti di Gravina [CG].....	27
4.1.5 Calcari di Altamura [CG].....	28
5. IDROGEOLOGIA ED IDROGRAFIA SUPERFICIALE	29
5.1 Idrografia superficiale.....	29
5.2 Acque sotterranee	30
5.2.1 Caratteristiche dell'acquifero superficiale	31
5.2.2 Superficie piezometrica e regime	34
5.2.3 Permeabilità dell'acquifero	36
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.....	37
6.1 Prove Penetrometriche Dinamiche Continue (DPSH)	38
6.1.1 Interpretazione delle prove	39
6.2 Indagini sismiche a rifrazione.....	49
6.2.1 Il metodo sismico a rifrazione con ricostruzione tomografica	51
6.2.2 Analisi dei dati ed interpretazione dei risultati	52
6.3 Indagini sismiche MASW	53
6.3.1 Calcolo Vs,eq (D.M. 17/01/2018 NTC2018).....	54
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	56
7.1 Amplificazione topografica	58
7.2 Classificazione della categoria del suolo di fondazione.....	59
7.3 Calcolo dell'azione sismica	59
8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	61
9. CONCLUSIONI	65

10.	APPENDICE ALLA RELAZIONE	67
11.	ALLEGATI	68

1. PREMESSA

Su incarico della ACEA Solar S.r.l., lo scrivente, geologo Michele Ognibene, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sicilia con n° 3003 sez. A, ha redatto la presente relazione geologica relativa ad un progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia della potenza di 25 MWp in Località Masseria Restinco nel Comune di Brindisi, provincia di Brindisi.

Accettato l'incarico e presa visione dell'opera progettuale, il relazionante si è recato sul sito al fine di riconoscere la situazione litostratigrafica locale, di definire l'origine e la natura dei depositi, nonché la geologia locale dell'area oggetto di studio nel contesto regionale; il relazionante ha integrato i dati in suo possesso con una ricerca bibliografica sulla letteratura geologica.

Con l'aggiornamento del Testo unico "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 17/01/2018, si definiscono le procedure per eseguire una modellazione geologica e geotecnica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce.

Perciò in ottemperanza alle prescrizioni del suddetto decreto ed alle "Raccomandazioni per la redazione della "RELAZIONE GEOLOGICA" di cui alle Norme Tecniche sulle Costruzioni, redatto dalla Fondazione Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi CNG sono state svolte delle indagini per la caratterizzazione dell'area in oggetto, per la definizione del modello geologico del terreno e per la definizione delle caratteristiche geotecniche dello stesso. Il modello geologico qui elaborato è orientato alla costruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici.

Il programma delle indagini è stato articolato come segue:

- Consultazione dei dati geotecnici stratigrafici e idrogeologici relativi a indagini eseguite dallo scrivente su tutto il territorio di Laterza;
- Rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio;
- Elaborazione geotecnica dei parametri ricavati in base alla tipologia delle strutture che si intendono realizzare;

In particolare l'indagine eseguita è stata mirata alla definizione delle successioni stratigrafiche e dei rapporti intercorrenti tra i vari litotipi che direttamente o indirettamente condizionano l'opera in progetto curando in specie:

- la stratigrafia dell'area e l'eventuale spessore dei terreni di copertura da sbancare;
- presenza o meno di falda d'acqua superficiale;
- le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e sottofondazione;

In particolare le indagini effettuate sono consistite in:

- Esecuzione di n. 5 Prove Penetrometriche Dinamiche (DPSH), al fine di avere

informazioni circa le caratteristiche di resistenza dei litotipi indagati.

- Esecuzione di n. 1 Indagine Sismica MASW, al fine di definire la $V_{s,eq}$ e di conseguenza la categoria del suolo di fondazione (NTC18).
- Esecuzione di N. 1 stendimento sismici a rifrazione con restituzione tomografica.

Per la descrizione dettagliata delle indagini eseguite si rimanda all'ALLEGATO 1 – REPORT SULLE INDAGINI IN SITO.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

2.1 Inquadramento Geografico e Territoriale

L'area presa in considerazione nel presente progetto ricade nel territorio comunale di Brindisi in Località Masseria Restinco, posizionata ad una distanza di circa 4,5 km in direzione Ovest rispetto al nucleo urbano di Brindisi, a nord della Strada Statale n. 7, ad ovest rispetto alla Strada Provinciale n.43 e ad una distanza di ca. 5 Km dalla Stazione Elettrica RTN 150/380 kV di Brindisi.

L'area di studio ricade amministrativamente all'interno del territorio di Brindisi (BR), ovvero, più in dettaglio, nel settore ovest del territorio comunale.

Cartograficamente questa area è all'interno della tavoletta I.G.M. alla scala 1:50.000 denominata "Laterza" Foglio IGM 473. Alla scala 1:5.000 il sito di interesse ricade nelle sezioni Brindisi n° 476154 – Masseria Marmorelle, n° 476153 Masseria Casignano della Carta Tecnica Regionale della Puglia.

L'area interessata dal progetto è raggiungibili grazie ad una fitta rete di strade di vario ordine presenti in zona; tra queste l'arteria di collegamento più importante è costituita dalla Strada Provinciale n. 43 accessibile a nord dal raccordo con la Strada Statale n.16 Adriatica e a sud dal raccordo con la Strada Statale n. 7 per Mesagne. La effettiva strada di accesso al campo FV è rappresentata dalla SP 43.



Figura 1: Inquadramento regionale.

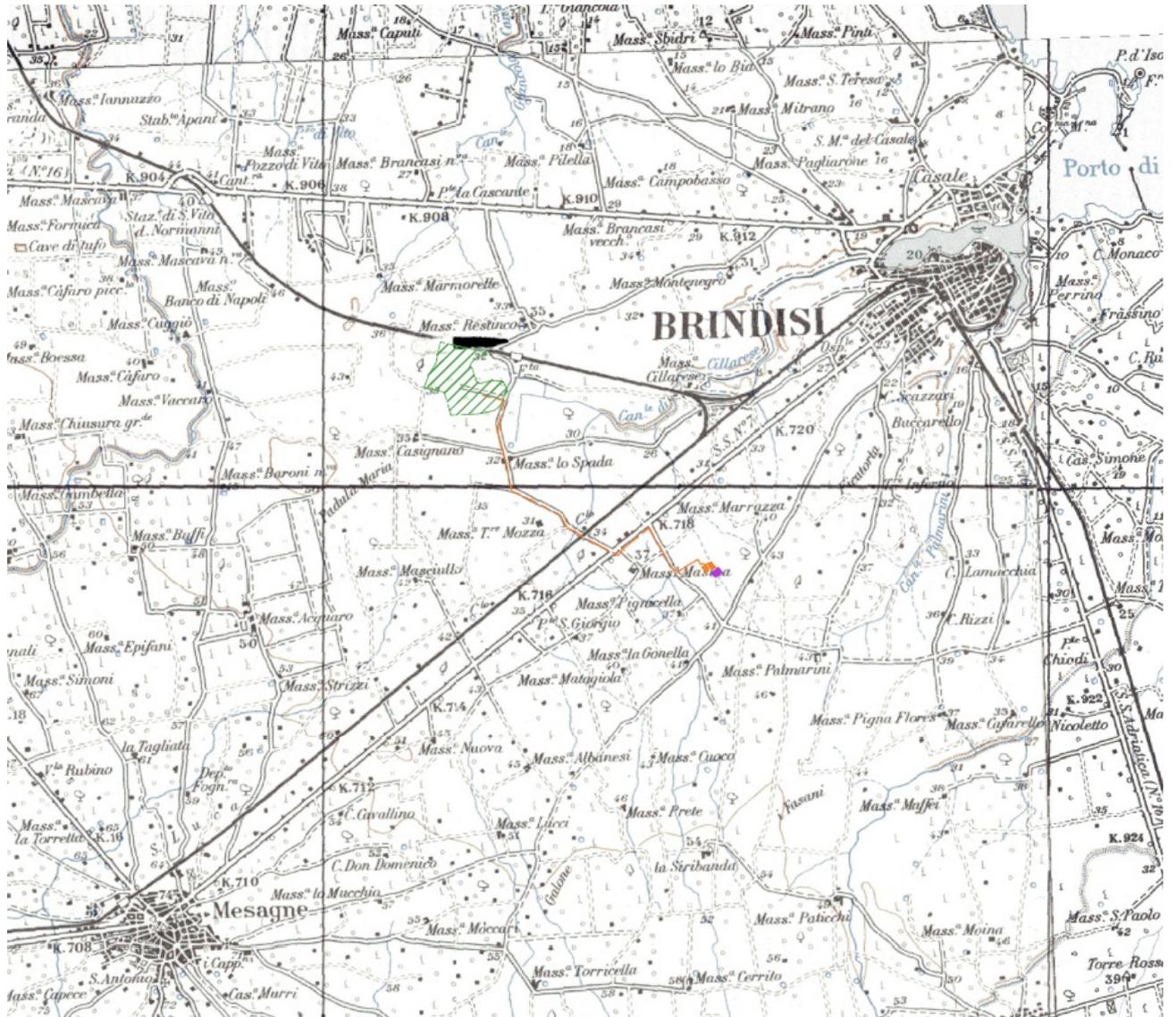


LEGENDA	
AREE INTERESSATE DAL PARCO AGRIVOLTAICO	
INTERCONNESSIONI ELETTRICHE INTERRATE E OPERE DI CONNESSIONE	
STAZIONE ELETTRICA UTENTE / CONDOMINIO TERNA AMPLIAMENTO STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE DELLA RTN 380/ 150 kV DI BRINDISI	

Figura 2: Inquadramento su ortofoto.

Coordinate Geografiche Sito:

Lat. 40,626042° - Long. 17,859954°



LEGENDA	
AREE INTERESSATE DAL PARCO AGRIVOLTAICO	
INTERCONNESSIONI ELETTRICHE INTERRATE E OPERE DI CONNESSIONE	

Figura 3: Inquadramento area di Intervento su IGM 1:25.000.

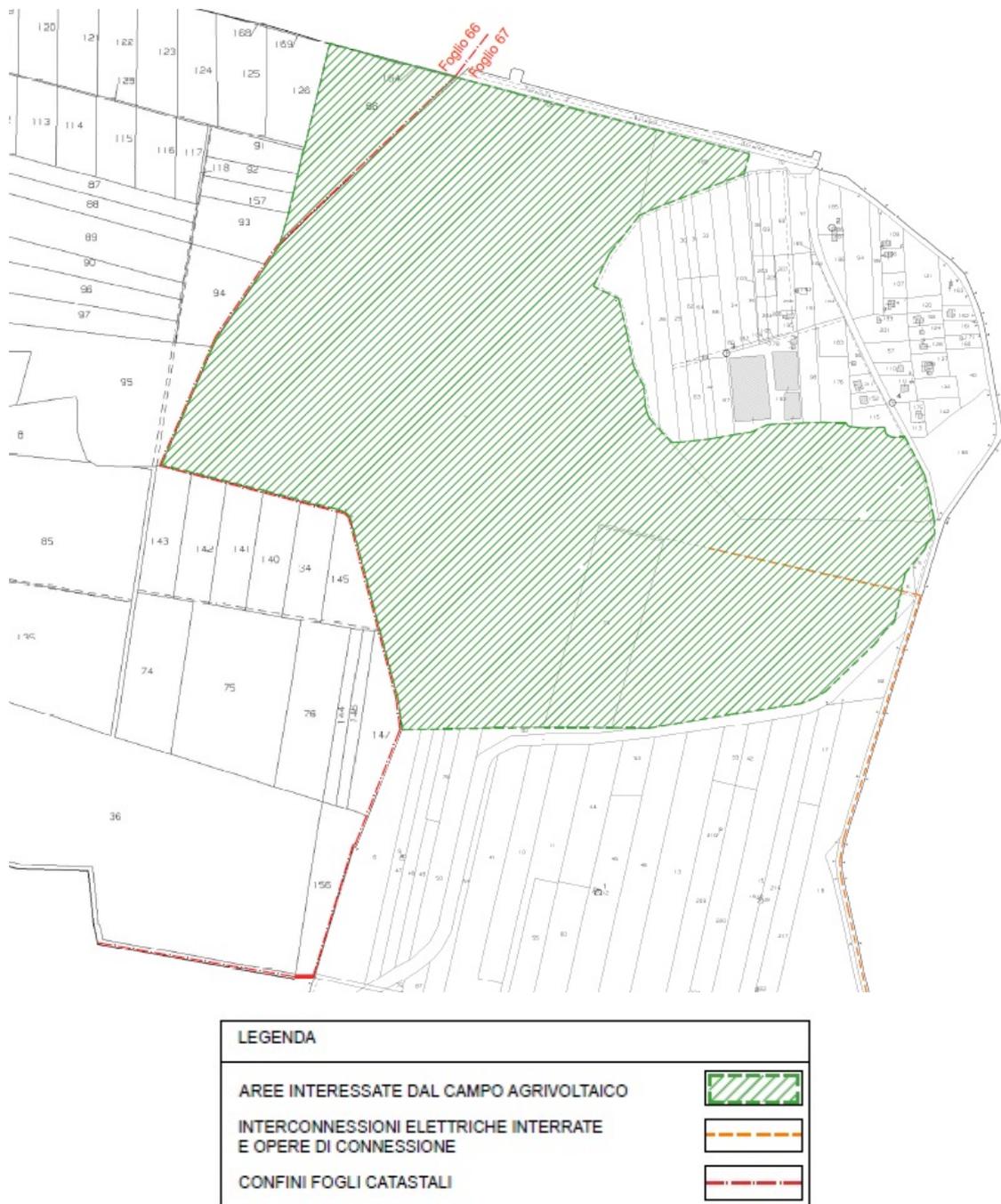


Figura 4: Area di impianto su stralcio catastale del comune di Brindisi Fg. 66 e 67.

L'impianto agrivoltaico ricade sulle particelle del Comune di Brindisi: Fg. 66 - p.lla 86 - Fg. 67 - p.lle 7, 27, 73, 168.

Secondo il P.R.G. vigente nel comune di Brindisi le aree ricadono in zona "AGRICOLA Tipizzata E" del P.R.G. vigente approvato con D.C.C. n. 48 del 23/10/2003 e definitivamente con D.G.R. n. 568 del 20/04/2004 come attestato dal certificato di destinazione urbanistica rilasciato dal Comune di Brindisi.

3. INQUADRAMENTO VINCOLISTICO

Nel presente paragrafo, si analizzano le relazioni tra le aree interessate dal progetto e gli atti di pianificazione e programmazione territoriale e di settoriale esistenti.

Per verificare la compatibilità del progetto con gli strumenti di pianificazione territoriale, dopo aver eseguito un rilievo geomorfologico di dettaglio per la verifica di emergenze geomorfologiche, di particolare interesse paesaggistico, sono state consultate le seguenti cartografie di settore:

- Carta Idrogeomorfologica redatta dall'AdB Puglia su commissione della stessa Regione Puglia;
- Piano di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia;
- Piano Paesaggistico Territoriale Regionale della Regione Puglia (PPTR);
- Piano di Tutela delle Acque (PTA).

3.1 Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia

La giunta regionale della Regione Puglia, con delibera n. 1792 del 2007, ha affidato all'Autorità di Bacino della Puglia il compito di redigere una nuova Carta Idrogeomorfologica del territorio pugliese, quale parte integrante del quadro conoscitivo del nuovo Piano Paesaggistico Territoriale regionale (PPTR), adeguato al Decreto Legislativo 42/20047.

La nuova Carta Idrogeomorfologica della Puglia, in scala 1:25.000, ha come principale obiettivo quello di costituire un quadro di conoscenze, coerente e aggiornato, dei diversi elementi fisici che concorrono all'attuale configurazione dell'assetto morfologico e idrografico del territorio, delineandone i caratteri morfografici e morfometrici ed interpretandone l'origine in funzione dei processi geomorfici, naturali ed antropici.

La Carta Idrogeomorfologica della Puglia ha seguito un percorso strettamente definito e cadenzato che ha previsto un approfondimento continuo e costante del quadro conoscitivo fisico del territorio, sulla base anche della nuova cartografia tecnica e delle immagini disponibili e di conseguenti elaborazioni e valutazioni.

Tale cartografia risulta quindi sicuramente più aggiornata e precisa rispetto alla serie n. 10 geomorfologia del PUTT, che lo sostituisce, considerata la scala di elaborazione del piano stesso, redatta sulla base delle carte CTR.

Come si può osservare dallo stralcio della Carta Idrogeomorfologica mostrato in Figura 5, nell'area in studio non si rileva alcuna emergenza geomorfologica significativa; solo parte del tracciato del cavodotto interferisce in parte con il reticolo idrografico.

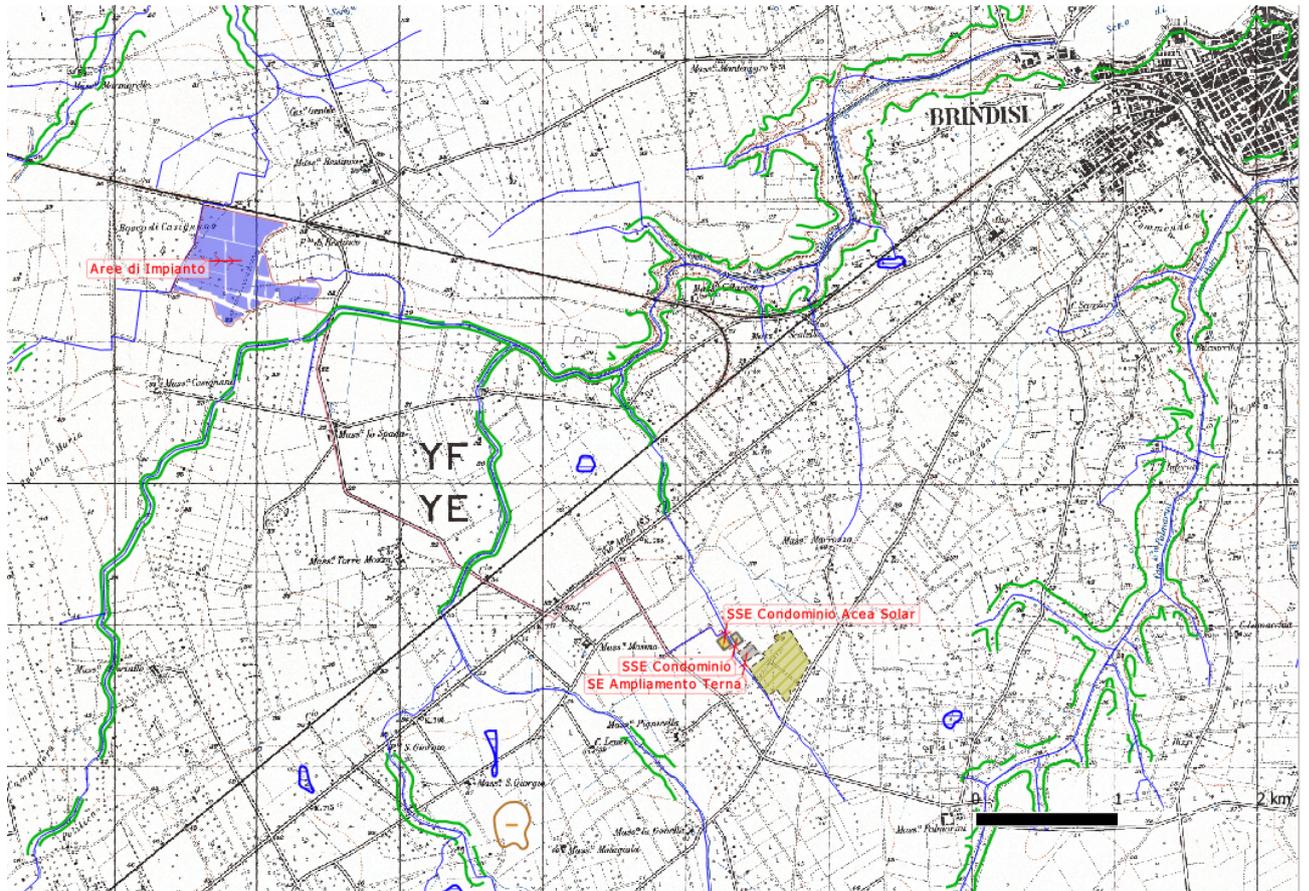


Figura 5: Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (elaborazione GIS con base di dati SIT Puglia).

3.2 Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia (PPTR)

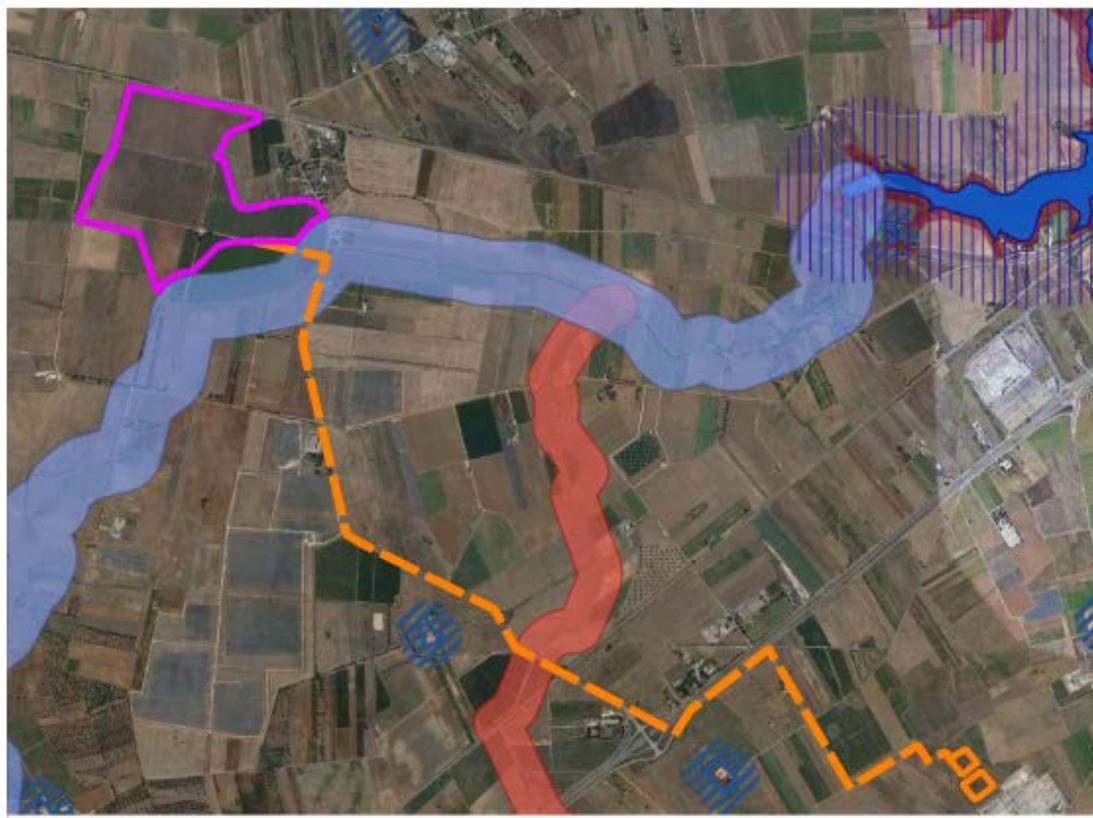
Così come esplicitato nelle Norme Tecniche di Attuazione, il Piano Paesaggistico Territoriale – PPTR, è basato sui seguenti principi e finalità:

- Il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) è piano paesaggistico ai sensi degli artt. 135 e 143 del Codice, con specifiche funzioni di piano territoriale ai sensi dell'art. 1 della L.R. 7 ottobre 2009, n. 20 "Norme per la pianificazione paesaggistica". Esso è rivolto a tutti i soggetti, pubblici e privati, e, in particolare, agli enti competenti in materia di programmazione, pianificazione e gestione del territorio e del paesaggio.
- Il PPTR persegue le finalità di tutela e valorizzazione, nonché di recupero e riqualificazione dei paesaggi di Puglia, in attuazione dell'art. 1 della L.R. 7 ottobre 2009, n. 20 " Norme per la pianificazione paesaggistica" e del D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del Paesaggio" e successive modifiche e integrazioni (di seguito denominato Codice), nonché in coerenza con le attribuzioni di cui all'articolo 117 della Costituzione, e conformemente ai principi di cui all'articolo 9 della Costituzione ed alla Convenzione Europea sul Paesaggio adottata a Firenze il 20 ottobre 2000, ratificata con L. 9 gennaio 2006, n. 14.
- Il PPTR persegue, in particolare, la promozione e la realizzazione di uno sviluppo socioeconomico autosostenibile e durevole e di un uso consapevole del territorio regionale, anche attraverso la conservazione ed il recupero degli aspetti e dei caratteri peculiari dell'identità sociale, culturale e ambientale, la tutela della biodiversità, la realizzazione di nuovi valori paesaggistici integrati, coerenti e rispondenti a criteri di qualità e sostenibilità.

In questo studio sono stati analizzati i caratteri del paesaggio che il PPTR definisce in tre strutture, a loro volta articolate in componenti, ciascuna delle quali è soggetta a specifica disciplina:

- a) Struttura Idrogeomorfologica:
 - Componenti geomorfologiche
 - Componenti idrologiche
- b) Struttura eco-sistema ed ambiente:
 - Componenti botanico vegetazionali
 - Componenti delle aree protette e dei siti naturalistici
- c) Struttura antropica e storico-culturale:
 - Componenti culturali ed insediative
 - Componenti dei valori percettivi.

La figura 6, mostra i vincoli PPTR gravanti sull'area in studio, dalla quale si evince che solo



500 0 500 1000 1500 2000 m

 Aree impianto fotovoltaico

 Cavidotto

 Opere di connessione

PPTR

6.1.2 Componenti idrologiche

 BP - Territori contermini ai laghi (300m)

 BP - Fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche (150m)

 UCP - Reticolo idrografico di connessione della R.E.R. (100m)

6.2.1 Componenti botanico-vegetazionali

 BP - Boschi

 UCP - Aree umide

 UCP - Formazioni arbustive in evoluzione naturale

 UCP - Aree di rispetto dei boschi

6.3.1 Componenti culturali e insediative

 BP - Zone di interesse archeologico

UCP - Testimonianza della stratificazione insediativa

 segnalazioni architettoniche e segnalazioni archeologiche

UCP - Area di rispetto delle componenti culturali e insediative (100m - 30m)

 siti storico culturali

Figura 6: Stralcio cartografico del Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) (Elaborazione GIS su base dati del SIT Puglia).

3.3 Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia (PTA)

Con deliberazione di Consiglio Regionale n. 230 del 20 ottobre 2009 è stato approvato il Piano Regionale di Tutela delle Acque.

Il Piano rappresenta lo strumento per il raggiungimento e il mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale per i corpi idrici significativi superficiali e sotterranei e degli obiettivi di qualità per specifica destinazione, nonché della tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.

La Regione Puglia, in virtù della natura dei terreni di natura calcarea che interessano gran parte del territorio, è interessata dalla presenza di limitati corsi d'acqua.

Nello specifico, sulla base delle risultanze delle attività di studio integrato dei caratteri del territorio e delle acque sotterranee, sono stati delimitati comparti fisico-geografici del territorio meritevoli di tutela perché di strategica valenza per l'alimentazione dei corpi idrici sotterranei.

Zone di protezione speciale idrogeologica, di cui alla Tavola A del Piano di Tutela delle Acque. L'analisi comparata dei caratteri del territorio e delle condizioni idrogeologiche ha portato ad una prima definizione di zonizzazione territoriale, codificata mediante le lettere A, B e C. Il PTA propone strumenti e misure di salvaguardia specifici per ogni tipo di zona di protezione speciale idrogeologica, riportate di seguito:

- Le Zone di Protezione Speciale Idrogeologica – Tipo “A” - individuate sugli alti strutturali centro-occidentali del Gargano, su gran parte della fascia murgiana nord-occidentale e centro-orientale - sono le aree afferenti ad acquiferi carsici complessi ritenute strategiche per la Regione Puglia in virtù del loro essere aree a bilancio idrogeologico positivo, a bassa antropizzazione ed uso del suolo non intensivo.
- Le Zone di Protezione Speciale Idrogeologica – Tipo “B” sono aree a prevalente ricarica afferenti anch'esse a sistemi carsici evoluti (caratterizzati però da una minore frequenza di rinvenimento delle principali discontinuità e dei campi carsici, campi a doline con inghiottitoio) e interessate da un livello di antropizzazione modesto ascrivibile allo sviluppo delle attività agricole, produttive, nonché infrastrutturali.
- Le Zone di Protezione Speciale Idrogeologica – Tipo “C” - individuate a SSW di Corato-Ruvo, nella provincia di Bari e a NNW dell'abitato di Botrugno, nel Salento - sono aree a prevalente ricarica afferenti ad acquiferi strategici, in quanto risorsa per l'approvvigionamento idropotabile, in caso di programmazione di interventi in emergenza.

L'intervento in oggetto non ricade in nessuna Zona di Protezione Speciale Idrogeologica.

Aree interessate da contaminazione salina - Acquifero carsico del Salento, di cui alla Tavola B del Piano di Tutela delle Acque.

L'intervento in oggetto ricade in Aree interessate da contaminazione salina. Le norme di

salvaguardia per tali aree non pongono limitazioni a progetti di realizzazione di impianti da energie rinnovabili. Le misure di salvaguardia per tali aree sono riferite esclusivamente a limitazioni riguardanti la realizzazione di nuovi pozzi e a limitazioni riguardanti le massime portate emungibili in funzione degli abbassamenti dinamici della falda.

Aree di tutela quali-quantitativa - Acquifero carsico del Salento, di cui alla Tavola B del Piano di Tutela delle Acque.

L'intervento in oggetto non ricade in nessuna Area di tutela quali-quantitativa.

Alla luce di quanto detto si ritiene l'intervento compatibile con il Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia.

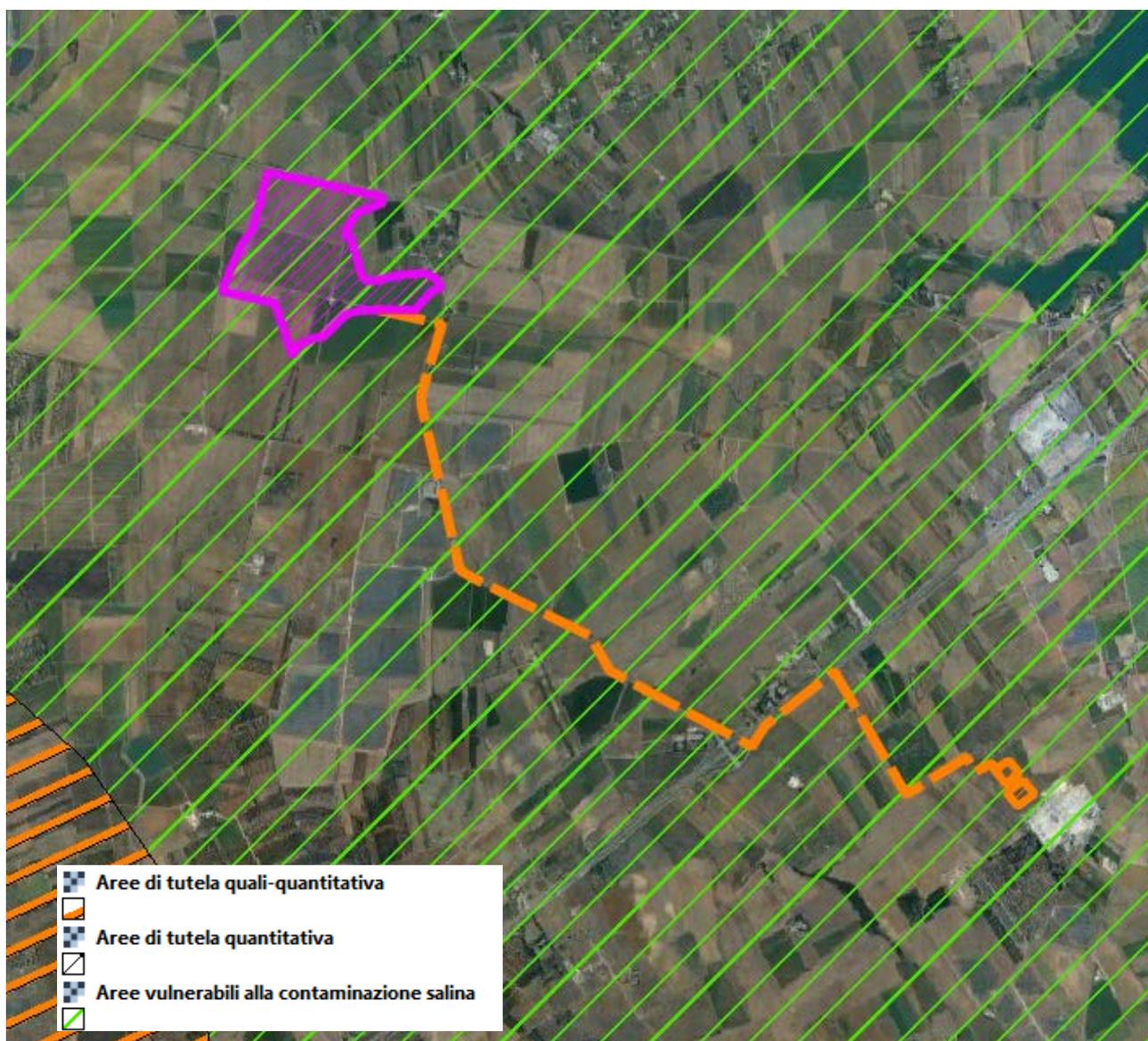


Figura 7: Stralcio del Piano di Tutela delle Acque con perimetrazione dell'area di progetto.

3.4 Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della regione Puglia (PAI)

Il piano di bacino per l'assetto idrogeologico dell'UoM Regionale Puglia e Interregionale Ofanto (ex AdB interr. Puglia), ricadente all'interno del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale, è finalizzato al miglioramento delle condizioni del regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessari a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo del territorio sostenibile rispetto agli assesti naturali ed alla loro tendenza evolutiva.

Il PAI in merito alla pericolosità geomorfologica ed idraulica individua le seguenti aree:

- Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3): porzione di territorio interessata da fenomeni franosi attivi o quiescenti.
- Aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2): porzione del territorio caratterizzata dalla presenza di due o più fattori predisponenti l'occorrenza di instabilità di versante e/o sede di frana stabilizzata
- Aree a pericolosità geomorfologica media e bassa (P.G.1): porzione di territorio caratterizzata da bassa suscettività geomorfologica all'instabilità
- Aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni.
- Aree a media pericolosità idraulica (M.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso fra 30 e 200 anni.
- Aree bassa pericolosità idraulica (B.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 anni.

Inoltre sulla base del DPCM del 29 settembre 1998 sono individuate le aree a rischio:

- Molto elevato (R4)
- Elevato (R3)
- Medio (R2)
- Moderato (R1)

Dall'analisi del PAI vigente (Figura 8), si evince che l'area interessata dalle principali opere in progetto (strutture fotovoltaiche e cabinati) è priva di vincoli PAI in merito alla pericolosità idraulica. Solo alcune opere accessorie (alcuni tratti di recinzione perimetrale e un breve tratto di strada interna) interferiscono con aree a pericolosità idraulica.

Per il dettaglio delle interferenze con il PAI, si rimanda alla relazione idrologica-idraulica.



Pericolosità Idraulica

- AP - Alta pericolosità idraulica
- MP - Media pericolosità idraulica
- BP - Bassa pericolosità idraulica

Pericolosità da Frana

- PG1 - Aree a pericolosità geomorfologica Media e Moderata
- PG2 - Aree a pericolosità geomorfologica Elevata
- PG3 - Aree a pericolosità geomorfologica Molto Elevata

Figura 8: Particolare dei lotti di progetto con indicazione dei Perimetri PAI vigenti.

Pleistocene medio-sup., raggruppate sotto il nome di Depositi marini terrazzati e comprendenti sia calcareniti, affioranti sul versante ionico, sia sabbie fini calcaree più o meno argillose, con intercalazioni calcarenitiche, affioranti diffusamente tra Francavilla F. e Brindisi. In questi depositi, di spessore variabile da pochi metri a circa 10 metri, molto spesso hanno sede falde idriche, piuttosto contenute, a carattere stagionale e localmente indicate come falde sospese.

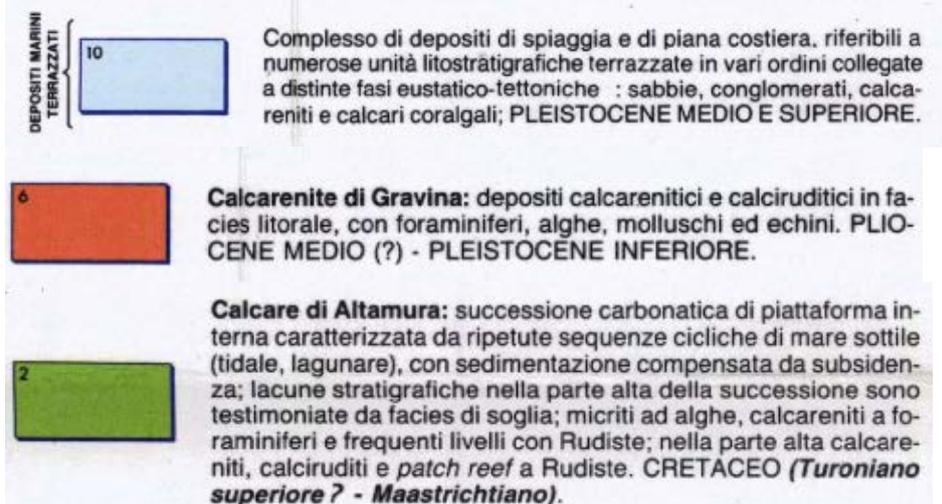
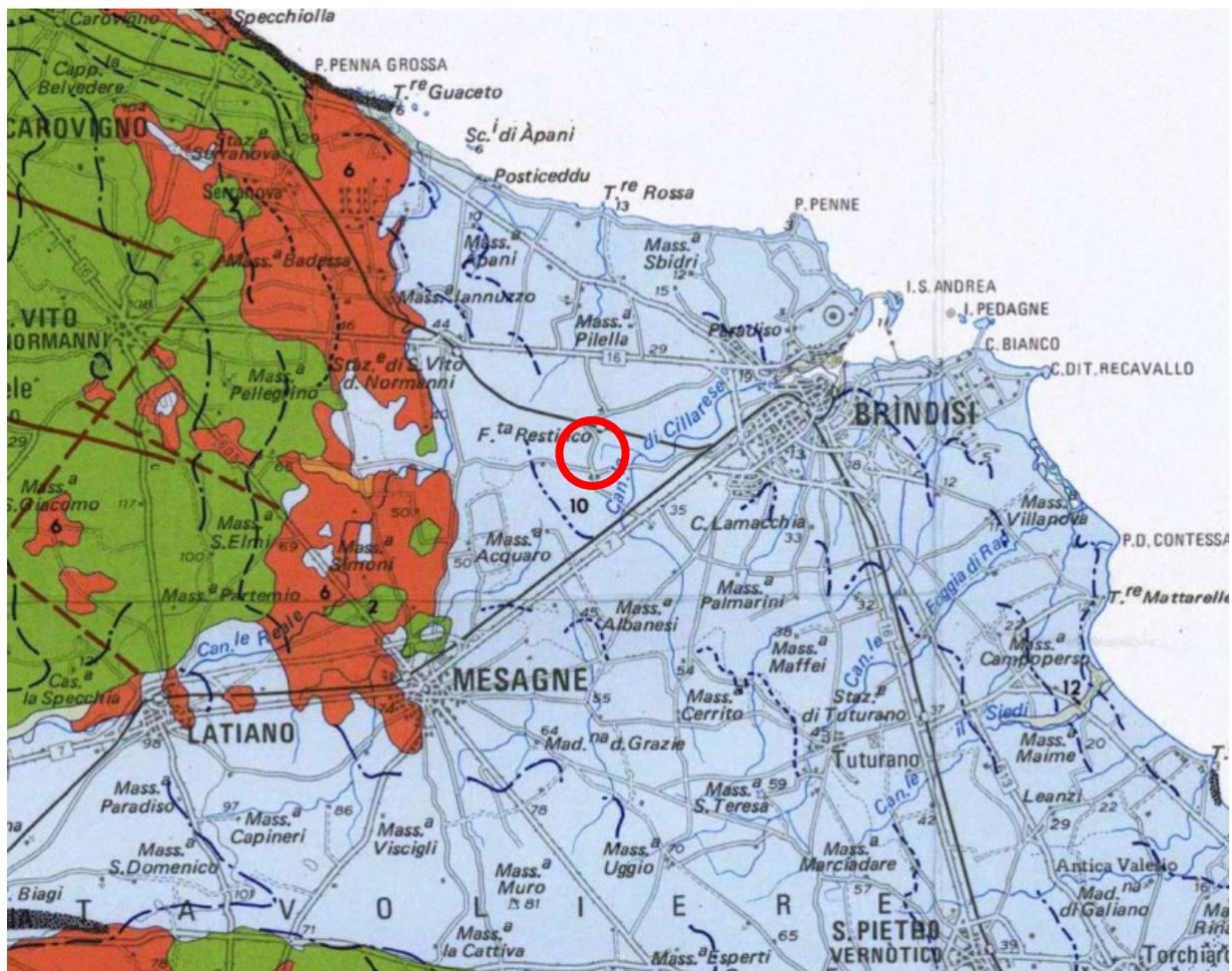


Figura 10: Carta Geolitologica delle Murge e del Salento (Ciaranfi, Pieri, Ricchetti).

I depositi olocenici principali, di estensione e spessori modesti, sono costituiti da sabbie calcaree poco cementate (dune costiere) oppure da limi e argille (area paludosa di Torre Guaceto ed incisioni fluviali, Sciannambolo et al., 1992; Tavolini et al., 1994).

Per quanto concerne i caratteri strutturali (Figura 11), nella zona il basamento carbonatico è dislocato da due sistemi di faglie (Ciaranfi et al., 1983): quello “principale”, con orientazioni NW-SE ed E-W, e quello secondario, con direzione SW-NE. Si tratta di faglie dirette, che configurano il basamento carbonatico a “gradinata” con blocchi digradanti verso il mare. Studi strutturali pregressi (Cotecchia, 1997-99), hanno altresì evidenziato un sistema prevalente di fratture, orientate NW-SE, quasi sempre bene aperte, subverticali e, spesso, totalmente o in parte, riempite di Terra Rossa.

Tale sistema tettonico ha influenzato sia le caratteristiche stratigrafiche così come quelle geomorfologiche di tutte le aree interessate, infatti tutta l’area di Brindisi, fino al territorio di San Pietro Vernotico, ha subito una forte tettonizzazione che ha dato origine alla così detta “Conca di Brindisi”.

Il territorio brindisino, presenta nell’insieme un aspetto tabulare con quote che degradano leggermente verso il mare; il paesaggio è interrotto da solchi erosivi di diversa estensione ed andamento.

Tutta l’area, come accennato, è stata interessata, nel periodo Orogenetico Appenninico, da intense forze tettoniche che hanno dato origine alla Conca di Brindisi, abbassando nella parte centrale i calcari cretacei, che costituiscono l’ossatura rigida dell’intera Puglia.

Una diminuzione altimetrica del tetto dei calcari si riscontra da W verso E; valutando le isobate del tetto del calcare, si nota una discontinuità fra le stesse; la causa è molto probabilmente da ricercarsi in una presumibile faglia che deve aver provocato uno scorrimento orizzontale nella direzione ENE – WSW di parte del massiccio carbonatico (Monterisi, Romanizzi, Salvemini, 1978). Il rigetto di tale faglia è al massimo di 30-40 m e sembrerebbe annullarsi all’altezza del canale pigolati, all’interno del Porto di Brindisi.

Il combinarsi delle azioni tettoniche ha creato l’abbassamento dei calcari, che in tal modo hanno creato la conca di Brindisi, e successivamente sono stati ricolmati da sedimenti silicoclastica di origine marina.

Da un punto di vista tettonico tale conformazione strutturale può essere assimilata ad una struttura a Horst e Graben, in cui gli alti strutturali “Horst” sono rappresentati dai calcari bordanti la conca di Brindisi, mentre la parte depressa “Graben” è quella che comprende la conca.

Fra la fine del Pliocene e l’inizio del Pleistocene, a causa di una glaciazione, vi fu una regressione del livello marino; il ritiro del mare causò l’erosione e l’abrasione del sottostante calcare, tantè che si venne a formare una coltre di sabbia calcarea, che a seguito della diagenesi ha dato origine ad una formazione calcarenitico, meglio nota come “tufi”.

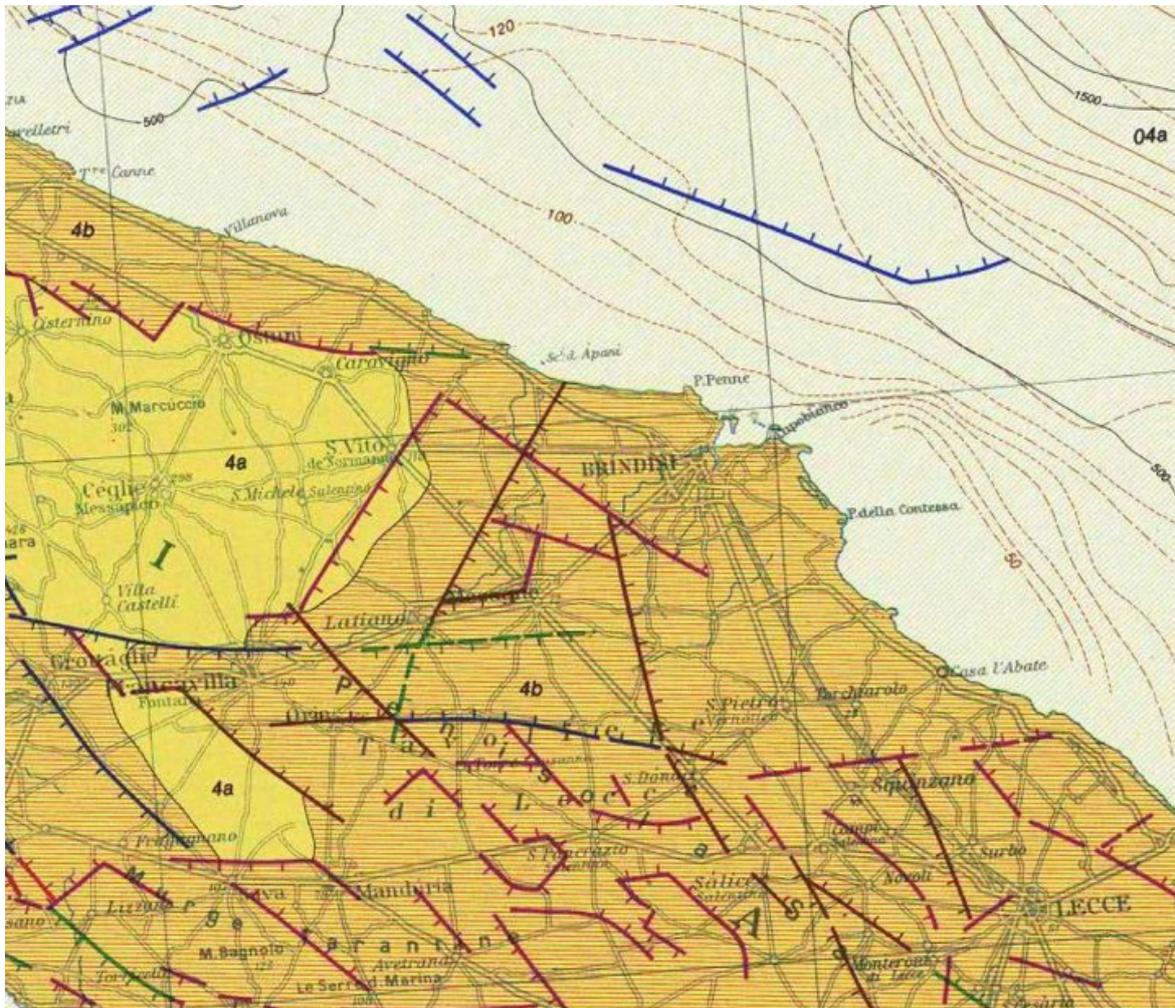


Figura 11: Assetto tettonico dell'area brindisina. Da "NEOTECTONICS MAP OF ITALY – Sheet 4 (Ambrosetti P. et al).

Fra la fine del Pliocene e l'inizio del Pleistocene, a causa di una glaciazione, vi fu una regressione del livello marino; il ritiro del mare causò l'erosione e l'abrasione del sottostante calcare, tant'è che si venne a formare una coltre di sabbia calcarea, che a seguito della diagenesi ha dato origine ad una formazione calcarenitico, meglio nota come "tufi".

Nell'area oggetto dello studio queste, non appaiono in affioramento, limitatamente alla zona costiera, in quanto ricoperte da sedimenti più recenti.

Finita la glaciazione si è assistito ad un fenomeno trasgressivo, in cui il mare gradualmente alzò il suo livello. In tali condizioni si è avuta la sedimentazione di materiali silicoclastica argillosi, più o meno sabbiosi.

La potenza stimata di tale unità formazionale è variabile, con spessori che tendono ad aumentare dagli alti strutturali verso la parte più depressa, nella quale si presuppone uno spessore medio di circa 45-50 m.

In essa è possibile distinguere una parte basale costituita essenzialmente da argilla, una parte centrale in cui vi è un aumento nella percentuale di limo e sabbia, ed una parte superiore nettamente più sabbiosa. Tale gradazione sta ad indicare una graduale diminuzione del livello marino, con una nuova regressione della linea di costa. La

colorazione tipica delle argille è azzurre, nella parte in cui la frazione argillosa è predominante, mentre varia da toni grigiastri e verdastri con associazioni percentuali differenti di limo e sabbia. Tale unità prende il nome di “Argille Azzurre Calabriane”.

Tali argille, per le loro caratteristiche di impermeabilità, impediscono il traboccamento della imponente falda dolce artesianica, sovrapposta alle acque marine di invasione continentale. Laddove, per fenomeni di erosione areale e fenomeni di asportazione dell’argilla, si è verificato il traboccamento della falda artesianica che ha dato origine a diverse aree umide lungo la costa.

A copertura dell’unità argillosa Calabriana, a causa presumibilmente di una nuova glaciazione, si è venuta a formare una nuova unità costituita da una successione ritmica di materiali sciolti sabbiosi e di materiali lapidei; tale formazione viene denominata in bibliografia con il termine di “Depositi Marini Terrazzati”. I livelli lapidei sono costituiti da materiali sabbiosi cementati da carbonato di calcio per azioni elettrostatiche.

Tale materiale a consistenza lapidea viene a generarsi nella zona intercotidale cioè, fra la linea di bassa marea e quella di alta marea, dando luogo, in alcuni casi, ad una crosta evaporitica.

I Depositi di Terrazzo hanno spessori estremamente variabili da zona a zona e non sono sempre presente, motivo per il quale può definirsi del tutto discontinua. Gli spessori come detto variano da punto a punto, ed ai punti più alti strutturalmente raggiungono gli 8 – 10 m.

Il colore della sabbia è solitamente giallognolo, con tonalità più o meno scure in funzione del maggior o minor grado di ossidazione.

Le alternanze lapidee sono costituite da un aggregato di gusci di foraminiferi, briozoi, molluschi e materiale clastico, cementato da una matrice calcarea. Si riscontrano delle differenze nell’aspetto dell’ammasso sia in termini di porosità che di alterazione. In corrispondenza degli strati basali, il cemento calcitico ingloba completamente i nuclei originali, non rendendoli più visibili, sicché la roccia si presenta molto compatta e tenace. In altre zone si riscontra invece, tra i veli calcitici costituenti in cemento numerosi vuoti, conseguenza della dissoluzione della struttura organica; in questo caso i gusci ed i frammenti clastici sono nettamente visibili e la roccia appare più tenera e porosa.

Il susseguirsi delle alternanze sabbiose e lapidee risulta essere del tutto irregolare.

Tale unità geologica è la più saliente e caratteristica della zona in studio; questa è inoltre sede di una falda freatica alimentata dalle acque meteoriche; il traboccamento di tale falda avviene essenzialmente in mare.

I terreni di copertura della panchina sono costituiti essenzialmente da limi-sabbiosi e da sabbia più o meno limosa di colore rossastro o bruno, con frequenti inclusioni di ciottoli ghiaiosi.

4.1 Successione stratigrafica dell’area brindisina

I dati del sottosuolo rinvenuti da letteratura e dalla banca dati in possesso dello scrivente, opportunamente elaborati hanno evidenziato, dall’alto verso il basso, la successione litostratigrafica seguente (Figura 12):

DEPOSITI MARINI

- Calcare di Altamura (Turoniano sup. –Maastrichtiano) (CA)
- Calcarenite di Gravina (Pliocene sup.- Pleistocene inf.) (CG)
- Argille Subappennine (Pleistocene inf.) (AS_SB)
- Depositi Marini Terrazzati (pleistocene med. Sup.) (DT)

DEPOSITI CONTINENTALI

- Depositi alluvionali ed eluvio-colluviali (Olocene) (A1-A2-A3-A4)

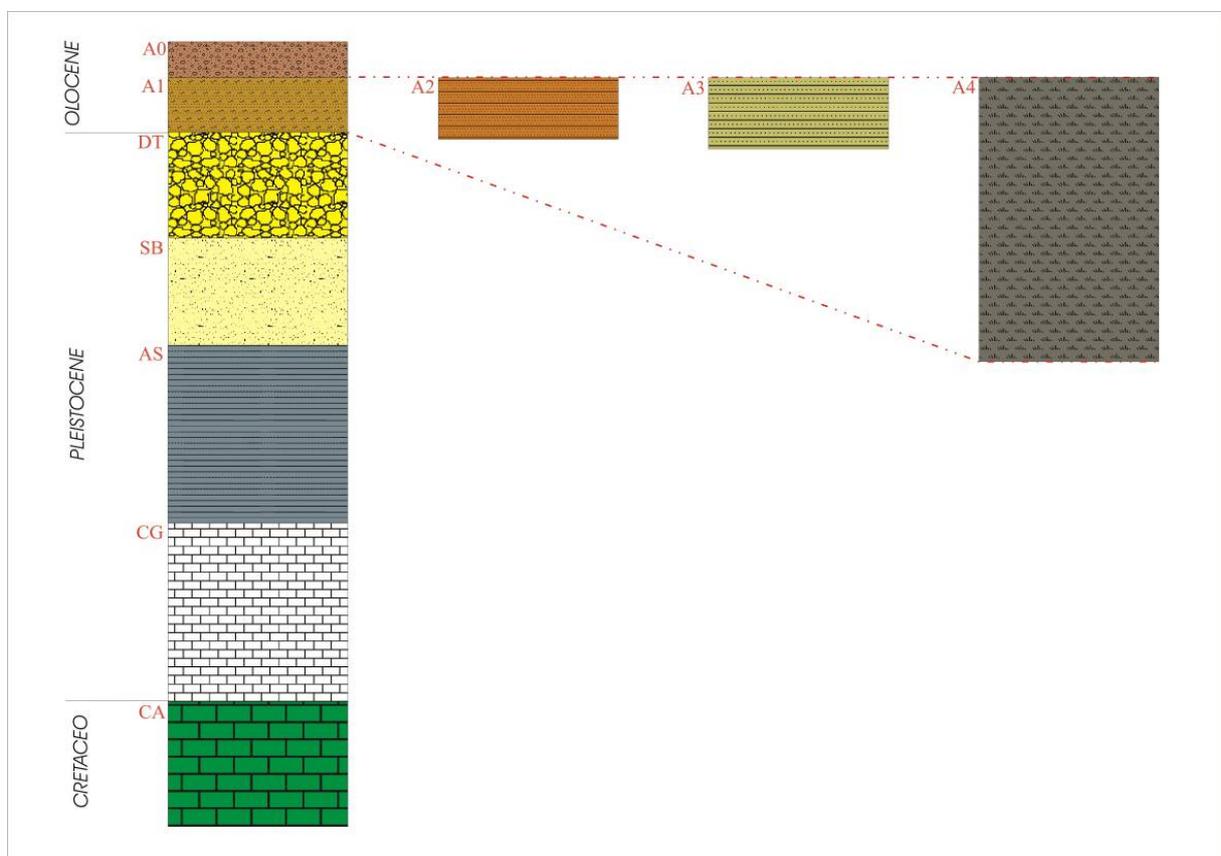


Figura 12: Successione stratigrafica dell'area brindisina.

4.1.1 Depositi continentali

Depositi continentali attuali e materiale di riporto A0

I depositi continentali attuali sono caratterizzati da terreno vegetale di colore generalmente marrone, tendente all'avana verso il basso, costituito da sabbie limose con un contenuto di materiale organico in genere poco elevato.

Il terreno vegetale costituisce uno strato di spessore variabile, compreso tra 0,5 m e 2,0 m circa, ed è distribuito su quasi tutta l'area in esame; non si rinviene solo laddove affiorano depositi eluviali. Le sabbie, variamente addensate risultano talvolta riportate su

vaste aree bonificate. Esse ricoprono i livelli eluvio-colluviali dei quali costituiscono in gran parte il materiale di alterazione.

Depositi continentali recenti A1

Questi depositi insieme alle litofacies indicate come livello A2 e A3, rappresentano la sedimentazione alluvionale recente olocenica che ricopre ovunque i Depositi di Terrazzo.

I sedimenti sono caratterizzati da sabbie e sabbie limose di colore prevalentemente nocciola, con inclusioni frequenti di clasti eterometrici calcarei. Stratigraficamente poggiano con un passaggio graduale, direttamente sui Depositi di Terrazzo e lateralmente con i depositi denominati A2 e A3.

Lo spessore di questi depositi è variabile tra i 70÷80 cm ed i 3,00 m.

Depositi continentali recenti A2

Si tratta di sabbie e sabbie argillose, di origine eluviale, di colore variabile dal rosso bruno all'avana verso il basso. Il deposito si presenta omogeneo, debolmente addensato e privo di inclusioni lapidee ad eccezione che nei tratti di passaggio ai sottostanti Depositi di Terrazzo. Gli aspetti caratteristici di questi terreni sono la prevalenza della frazione sabbiosa, la lacuna granulometrica nel campo dei limi, il contenuto della frazione argillosa che può variare tra il 15% ed il 40% nonché la composizione mineralogica quasi priva della componente carbonatica. Il livello di saturazione non è elevato. Lo spessore massimo è di circa 3,5 m.

Depositi continentali recenti A3

Sono caratterizzati da limi argillosi e/o sabbioso argillosi, di colore grigio verde e nocciola, laminitici e contenenti residui carboniosi nonché concrezioni calcaree, il tutto in assetto caotico e con patine di ossidazione. I caratteri litologici e sedimentologici lasciano intendere che si tratta di un deposito di ambiente lagunare o di pianura alluvionale di bassa energia.

La composizione granulometrica è quasi equamente ripartita tra la frazione sabbiosa, limosa ed argillosa ed elevata è, dal punto di vista mineralogico la percentuale di carbonati. Il grado di saturazione è di circa il 95%. Il deposito presenta un basso coefficiente di permeabilità che può favorire a livello locale la formazione di livelli idrici sospesi contenuti nel materiale di riporto ed offrire, dove presente, una parziale protezione all'acquifero superficiale sottostante. Lo spessore è variabile tra 1 m e 6,5 m.

Depositi torbosi A4

Sono caratterizzati da torba con un notevole contenuto organico non decomposto, frammisto con percentuali variabili con fango sabbioso-limoso ed argilla. Il contenuto organico diminuisce dall'alto verso il basso, mentre aumenta la frazione argillosa e la plasticità. In particolare, la frazione argillosa varia dal 23% al 54% mentre meno significative sono le percentuali relative alla frazione sabbiosa (2%÷25%).

Questi depositi sono riscontrabili in corrispondenza di alcuni bacini paludosi, localizzati all'interno della Zona Industriale di Brindisi e nelle aree litoranee a sud del centro urbano.

4.1.2 Depositi Marini Terrazzati [DT]

L'unità pleistocenica dei Depositi di Terrazzo è litologicamente costituita da calcareniti giallastre a grana grossa ben cementate con intercalati livelli sabbiosi ed altri costituiti da calcari organogeni in strati di spessore variabile da qualche centimetro a 10÷15 cm; a luoghi, nell'ambito della successione, in particolare nel tratto basale della stessa, a diretto contatto con le Argille Subappennine, sono presenti strati decimetrici di calcari molto compatti e tenaci. La facies sabbiosa è costituita da prevalenti granelli di quarzo, feldspati, materiale carbonatico di origine detritica e bioclastica nonché da subordinati cristalli di mica. I fossili rappresentati da prevalenti lamellibranchi ed alghe, sono frequenti tanto da costituire a luoghi vere lumachelle; le osservazioni al microscopio hanno messo in evidenza che sono frequenti anche i microrganismi rappresentati da foraminiferi. Da quanto sopra esposto se ne deduce che, dal punto di vista granulometrico, per quanto riguarda la facies sabbiosa, i contenuti in ghiaia (0%÷28%), in sabbia (3%÷84%) e limo (2%÷75%) sono estremamente variabili in funzione degli intervalli stratigrafici presi in considerazione.

Il contenuto naturale d'acqua oscilla intorno ad un valore medio del 20,79% con indice dei vuoti variabile e compreso tra 0,49 e 0,87.

Per quanto riguarda l'estensione areale di questa unità si può supporre che sia totale per tutta l'area oggetto di studio. Il passaggio alle sottostanti Argille subappennine può avvenire in maniera diretta o tramite dei termini di passaggio rappresentati da sabbie e limi sabbiosi che si descrivono nel successivo paragrafo.

Lo spessore dell'unità è molto variabile, compreso tra pochi decimetri e una ventina di metri pur essendo i valori più ricorrenti di 5÷6 m. Il tetto di questa unità si trova a quote variabili tra 30 m e -15 m rispetto al l.m.m..

4.1.3 Argille Subappennine [SB – AS]

Per quanto riguarda questa formazione si è ritenuto dover distinguere all'interno della stessa due membri in quanto litologicamente ben separabili e riconoscibili tra di loro: le sabbie di Brindisi e le Argille Subappennine propriamente dette.

Sabbie di Brindisi [SB]

Con questo termine, da considerarsi provvisorio ed informale, si intendono dei depositi sabbiosi e limoso argillosi che si rinvencono, a luoghi, interposti tra i Depositi di Terrazzo e le Argille Subappennine propriamente dette e che comunque si ritiene di includere nella più antica di queste due formazioni pleistoceniche. Il passaggio tra i Depositi di Terrazzo e l'unità che si descrive è concordante così come quello con le sottostanti Argille Subappennine avviene mediante un arricchimento verso il basso della frazione limoso-argilloso e l'intercalazione di millimetrici e centimetrici livelli sabbiosi. Litologicamente le sabbie di Brindisi sono costituite da sabbie a grana fine di colore grigio passante verso l'alto, a luoghi, al giallo - avana. La parte Stratigraficamente inferiore di questa formazione è caratterizzata da limi argillosi – sabbiosi di colore grigio. In quest'ultimo intervallo sono presenti frammenti carboniosi. Dal punto di vista mineralogico, per

quanto riguarda la parte sabbiosa, i granuli sono rappresentati da prevalenti frammenti carbonatici e quarzosi. La porzione basale presenta percentuali delle frazioni argillosa e sabbiosa variabili intorno al 35÷38%. La stratificazione è indistinta.

Lo spessore di questa unità è variabile da pochi decimetri sino ad un massimo di 20 metri. Lo spessore medio si aggira sui 13 m÷14 m.

Argille subappennine [AS]

la formazione infrapleistocenica che si descrive è caratterizzata da argille e argille sabbiose grigio azzurre, fossilifere. Dal punto di vista granulometrico, questi depositi possono essere definiti come limi sabbiosi con argilla; ciò nonostante notevoli sono le variazioni relativamente alla dimensione dei granuli. La percentuale in sabbia varia dal 2% al 55%, quella in limo dal 11%; il contenuto medio in carbonati è del 31%, valore quest'ultimo che tende ad aumentare man mano che ci si avvicina alle sottostanti Calcareniti di Gravina. All'interno della successione, il cui spessore è di difficile valutazione ma sempre perlomeno decametrico, si possono individuare livelli sabbiosi, anch'essi di colore grigio azzurro, la cui estensione laterale e verticale non è ben definibile. Il passaggio stratigrafico con le sottostanti Calcareniti di Gravina avviene mediante un livello continuo sabbioso limoso particolarmente ricco in fossili. Il contenuto naturale d'acqua varia passando da un valore minimo del 14,05% al 43,5% ed il grado di saturazione è anch'esso estremamente variabile passando dal 71,84% al valore limite pari al 100%.

Le analisi geotecniche di laboratorio, eseguite sui campioni indisturbati prelevati in corrispondenza dello strato argilloso, indicano una bassa permeabilità, che si attesta intorno a valori compresi tra 10^{-10} e 10^{-11} m/s (media $1,81E^{-10}$ m/s).

Nel complesso, lo spessore della formazione che si descrive, è molto variabile da qualche metro sino a oltre 50 m. In particolare, lo spessore tende ad aumentare procedendo dalla Centrale di Cerano, (valori medi intorno ai 20 m con massimi di 25 m) verso il Porto di Brindisi, laddove gli spessori riscontrati sono dell'ordine dei 45; in accordo con l'assetto geologico dell'area, che vede un generale approfondimento da ovest verso est delle quote del tetto dei calcari mesozoici e delle calcareniti pleistoceniche sovrastanti che costituiscono il substrato di questa unità, si riscontra un ulteriore aumento degli spessori delle Argille Subappennine nella medesima direzione.

Il tetto delle Argille Subappennine si mantiene al di sopra del livello marino nella zona vicino la centrale di Cerano mentre ovunque è riscontrabile al di sotto dello stesso livello sino a quote di massimo -29 m s.l.m.m..

4.1.4 Calcareniti di Gravina [CG]

L'unità della Calcarenite di Gravina rappresenta la più antica delle unità pleistoceniche presenti nell'area. La formazione, caratterizzata da calcareniti a grana grossa di colore giallastro e ben diagenizzata, con frequenti macro e microfossili (foraminiferi bentonici, briozoi, lamellibranchi, gasteropodi, echinodermi, alghe calcaree e serpulidi), poggia con contatto discontinuo e discordante sul basamento carbonatico cretaceo. Dal punto di vista chimico questi depositi sono costituiti da calcite normale con un basso contenuto in magnesio. Costituenti minori sono la kaolinite, l'illite, la clorite, la smectite, la gibsite e la

goethite che si trovano dispersi nel sedimento mentre quarzo e feldspati si rinvencono come singoli grani. La matrice micritica è più o meno completamente assente.

Lo spessore di questa formazione è molto variabile e raggiunge valori massimi superiori alla trentina di metri. Il grado di porosità è variabile tra il 42,90% ed il 49,40%.

4.1.5 Calcari di Altamura [CG]

L'intervallo stratigrafico, è costituito da un'alternanza tra calcari e calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci di colore biancastro, grigio chiaro o nocciola, in strati di spessore variabile da qualche centimetro a circa un metro. A luoghi gli strati si presentano fittamente laminati e sono facilmente riducibili in lastre. Gli affioramenti sono limitati a qualche metro di spessore, a luoghi coperti da terreno agrario; spessori maggiori, sino a 30÷40 m, sono esposti nelle pareti delle cave, attive e no, in alcuni casi utilizzate come discariche, ubicate nell'entroterra brindisino. In più luoghi gli strati risultano fratturati e disarticolati. I macrofossili sono in genere scarsi, caratterizzati da frammenti di rudiste e subordinati coralli e pettinidi.

Il tetto del basamento carbonatico cretacico si trova a quote molto differenti tra loro anche in aree relativamente vicine, in ciò evidenziando la probabile presenza di faglie che presentano rigetto decametrico. In generale si osserva un approfondimento delle quote del tetto di questa unità dalle murge, in corrispondenza delle quali i calcari che si descrivono sono affioranti, verso il mare e da sud della zona investigata laddove si riscontrano a quote intorno ai -20 m (Centrale di Cerano) verso nord dove si trovano sino a circa -90 m (Porto di Brindisi).

5. IDROGEOLOGIA ED IDROGRAFIA SUPERFICIALE

5.1 Idrografia superficiale

Il sito studiato, in un'ampia visione, ricade all'interno del Bacino Idrografico del Canale Cillarese, codificato nel PTA (Piano di tutela delle Acque della regione Puglia) con la sigla R16-148 (Figura 13).

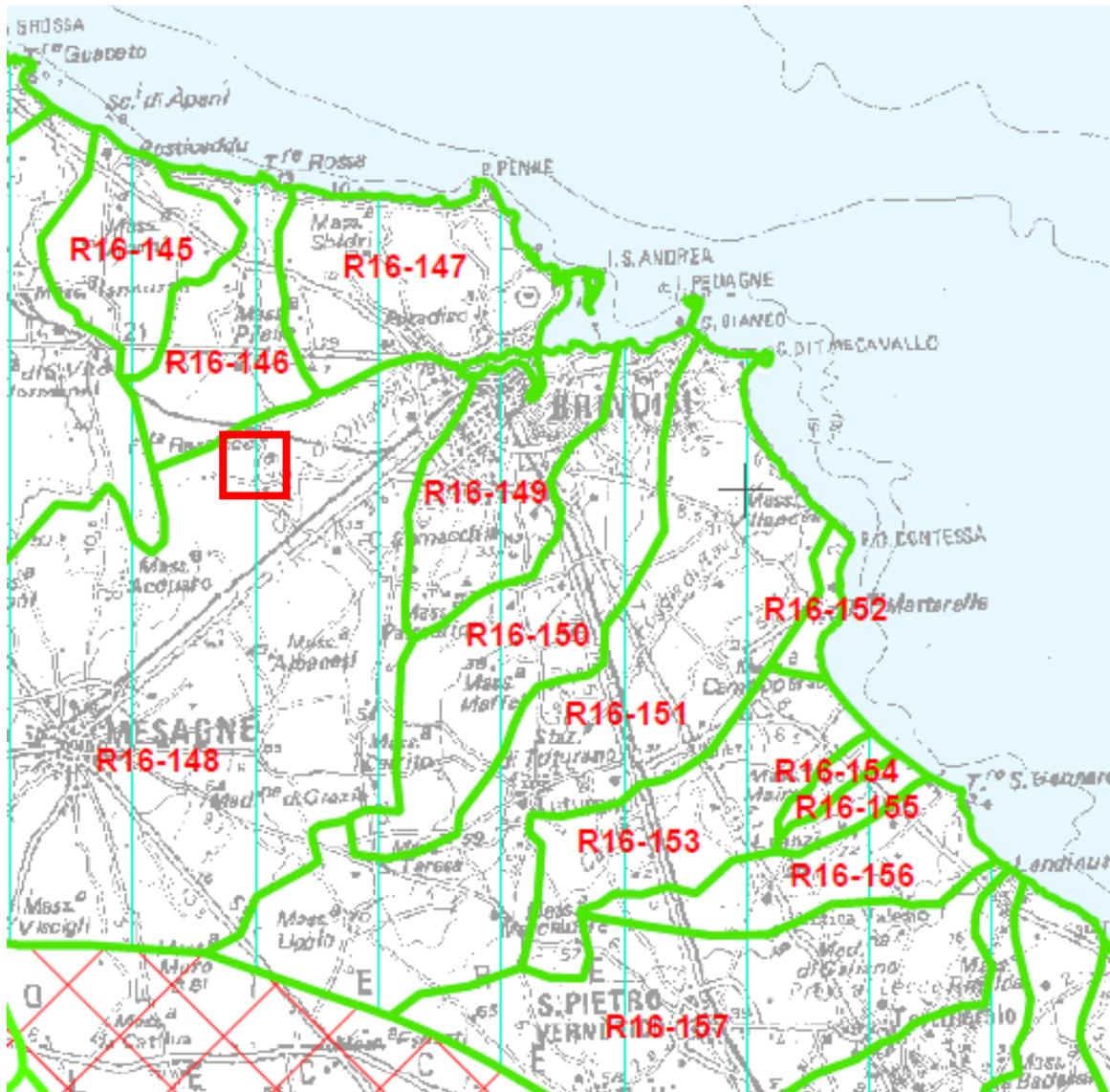


Figura 13: Bacini idrografici significativi (dal Piano Tutela Acque – Tav. 1.4).

Nel dettaglio l'area in studio è localizzata nella parte bassa del bacino idrografico di cui sopra. Le incisioni fluviali sono poco accentuate ed il carattere è prettamente torrentizio: flussi idrici di una certa importanza si rilevano solo in concomitanza di abbondanti precipitazioni.

Nel dettaglio lo schema idrografico è rappresentato in figura 14.

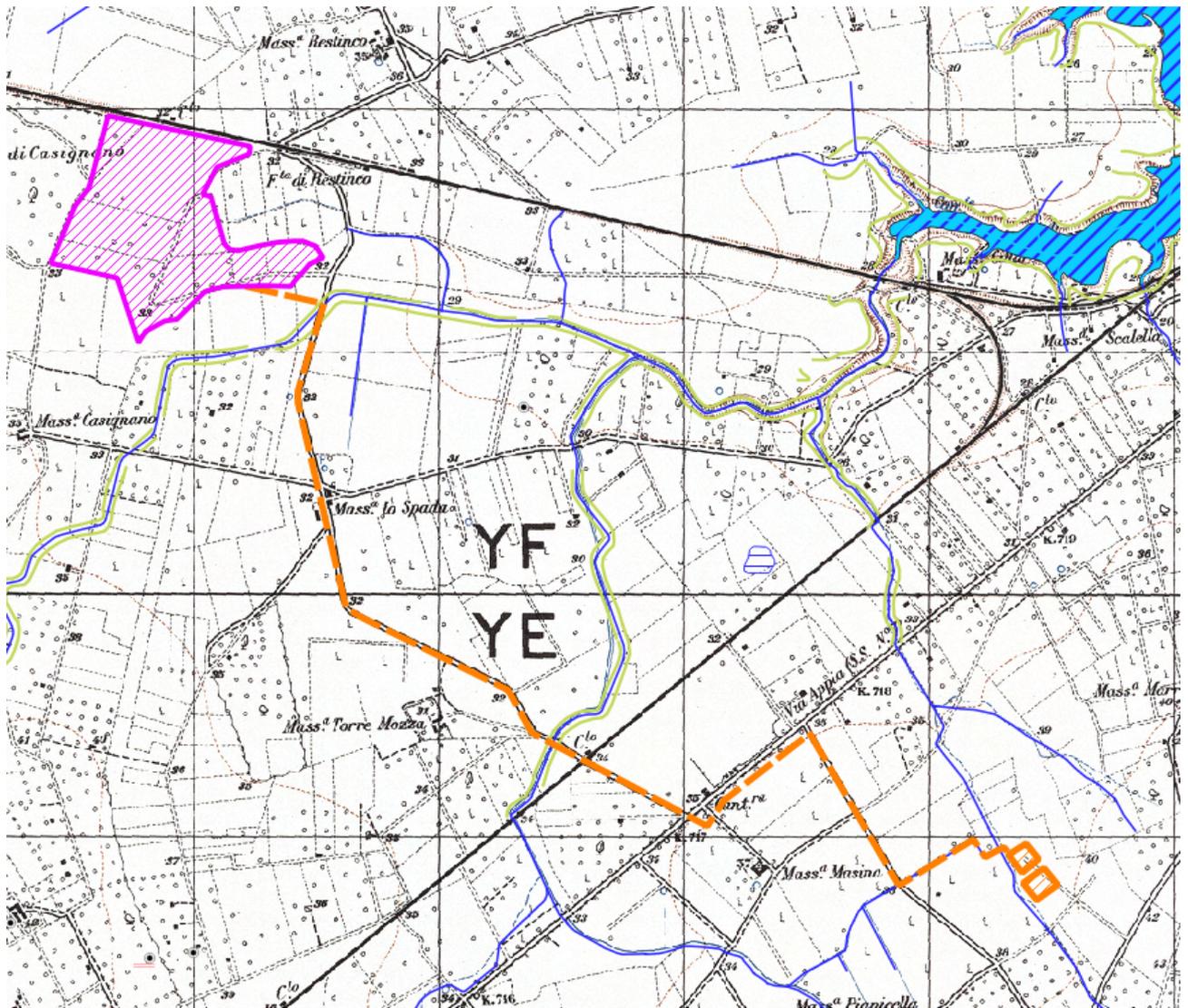


Figura 14: Reticolo idrografico delle aree in studio.

5.2 Acque sotterranee

I particolari caratteri litologici e geologico-strutturali concretizzano, nella zona, due ambienti idrogeologici distinti: uno rappresentato dalla cosiddetta “falda profonda”, principale risorsa idrica della regione, circolante nei calcari; l’altro costituito dalla falda “superficiale”, di discreto interesse locale, attestata nei depositi quaternari, è separata dalla “profonda” da un orizzonte argilloso a spessore variabile. Nel Piano Tutela Acque la falda superficiale è denominata “Acquifero dell’Area Brindisina”, la falda profonda “Acquifero del Salento” (Figura 15).

Nei paragrafi successivi verranno trattate le caratteristiche del solo acquifero superficiale, in quanto di interesse da un punto di vista progettuale; l’acquifero profondo, data la profondità alla quale si rinviene, non presenta alcuna interazione con il progetto in essere.

5.2.1 Caratteristiche dell'acquifero superficiale

I dati in possesso dello scrivente derivati da indagini pregresse, permettono di desumere le seguenti informazioni geometriche relative all'acquifero più superficiale:

- l'acquifero è ospitato nei depositi terrazzati marini, a permeabilità medio-alta, e nei depositi sabbio-limosi e limo-sabbiosi sottostanti, a permeabilità medio-bassa. Pertanto, è possibile ipotizzare, all'interno dell'acquifero, l'esistenza di due zone a differente permeabilità, idraulicamente connesse;
- la falda è di tipo freatico, con condizioni di semi confinamento nei settori dove sussiste, nella parte sommitale del deposito, la presenza di litologie argillo-limose a bassa permeabilità;
- la falda presenta una soggiacenza dal piano campagna variabile da punto a punto;
- la parte satura dell'acquifero superficiale ha uno spessore variabile;
- Il campo di moto della falda è caratterizzato da un flusso idrico sotterraneo con direttrice verso mare.

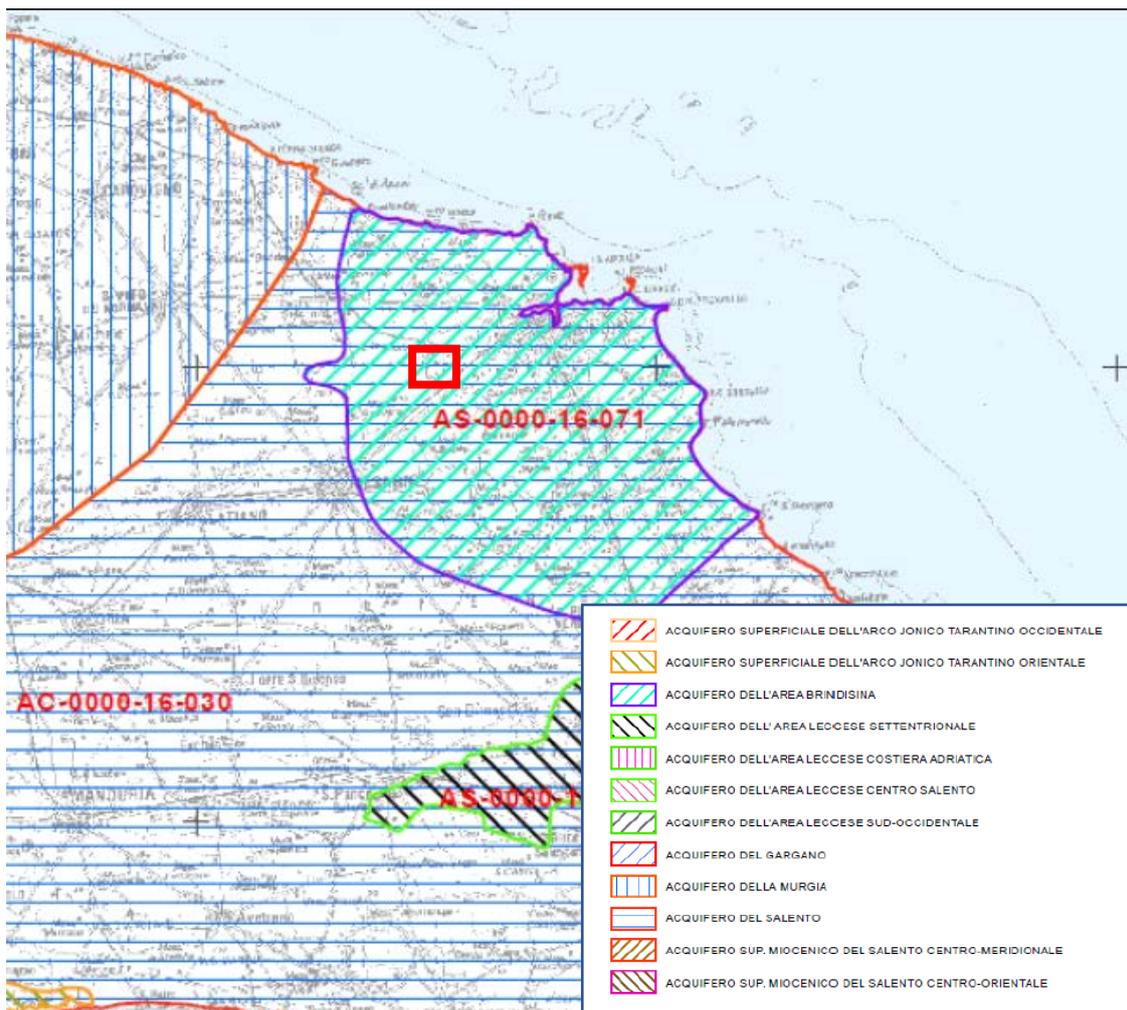


Figura 15: Campi di esistenza delle falde acquifere (dal Piano Tutela Acque della Regione Puglia).

Sulla base dei dati topografici della cartografia ufficiale a scala 1:50.000 e dei dati stratigrafici desunti da 45 pozzi eseguiti nell'area brindisina, sono stati ricostruiti gli spessori dell'acquifero superficiale, la morfologia del suo livello di base e lo spessore dei depositi argillosi impermeabili che sostengono l'acquifero stesso.

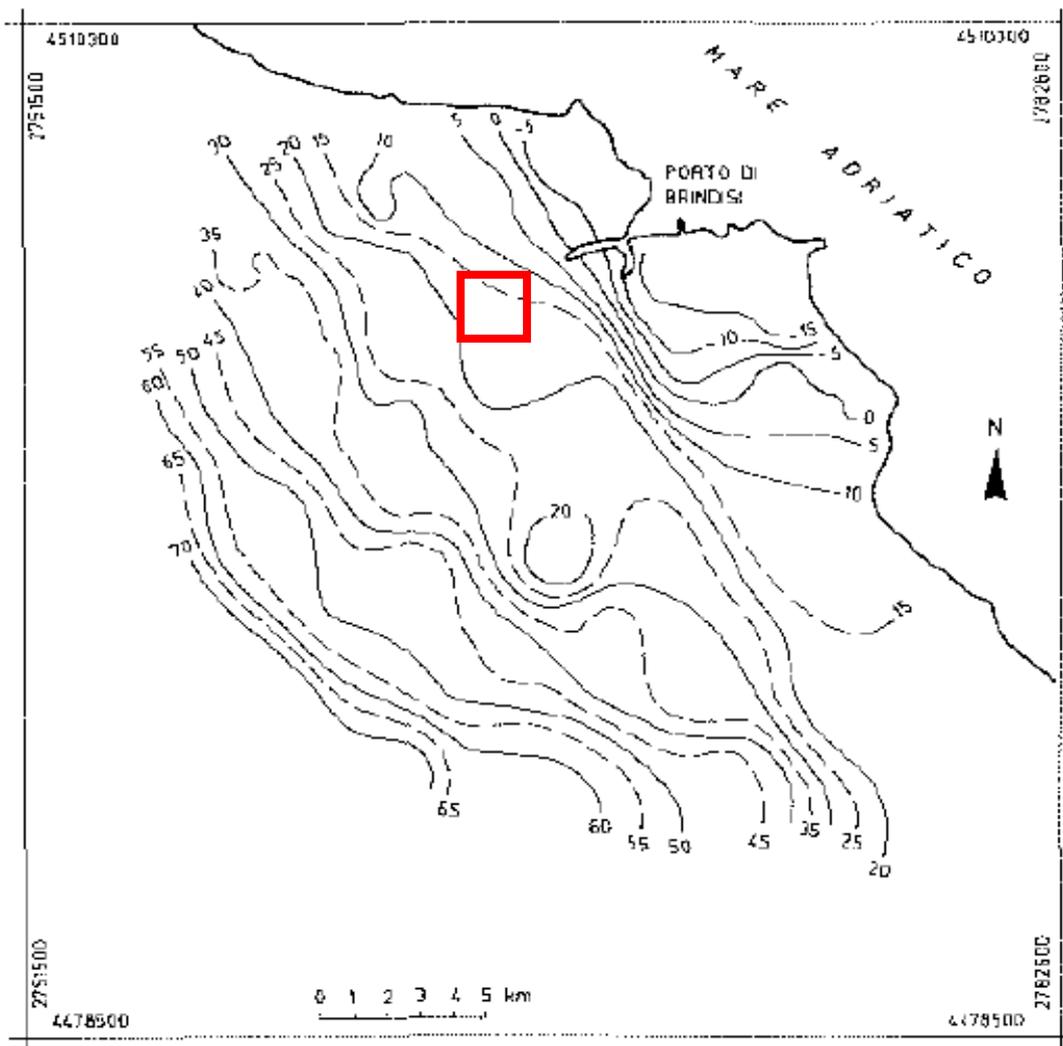


Figura 16: Isoipse del letto dell'acquifero superficiale (da: RICHETTI & POLEMIO, 1996).

Utilizzando i dati stratigrafici di diversi pozzi realizzati nell'area di interesse, sono stati interpolati i valori di elevazione del letto e tetto delle Argille subappennine e dei depositi marini terrazzati. Tali pozzi sono stati eseguiti negli anni cinquanta da enti pubblici per approvvigionamento idrico a scopo.

I dati stratigrafici puntuali evidenziano una notevole variabilità locale degli spessori dell'acquifero superficiale e dei depositi argillosi che lo sostengono, fino ad annullarsi del tutto in alcuni pozzi. Lo spessore massimo rilevato per l'acquifero è di 37 m mentre per le argille impermeabili è di 46 m, con uno spessore medio rispettivamente di 14 m e 22 m circa.

La superficie del letto dell'acquifero evidenzia una generale inclinazione del letto dell'acquifero in direzione NE con una leggera concavità rivolta verso la linea di costa (Figura

16). Sono inoltre evidenti locali irregolarità riconducibili alla originale morfologia del fondo del bacino di sedimentazione dei depositi terrazzati.

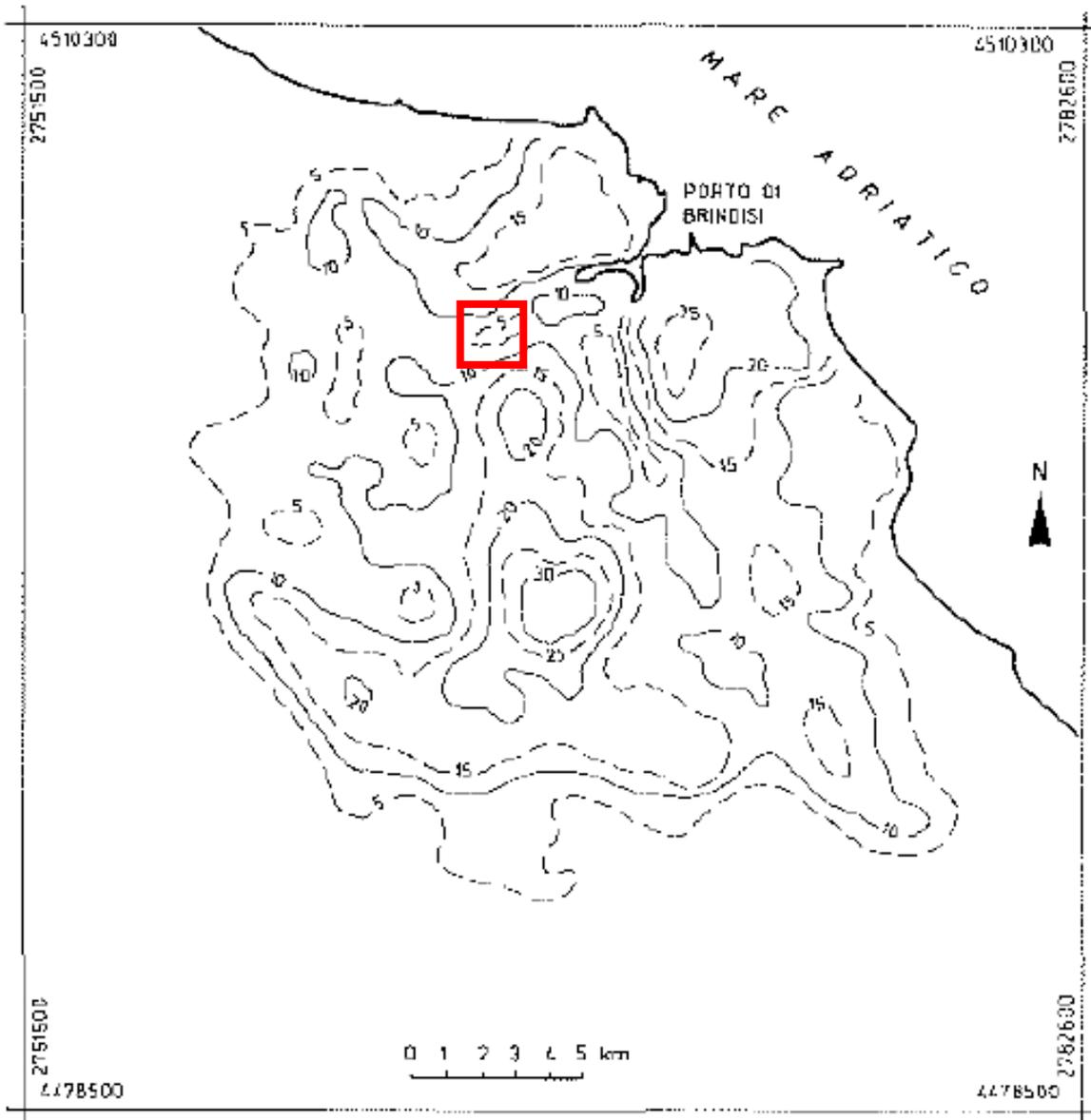


Figura 17: Curve isopache dell'acquifero superficiale (da: RICHETTI & POLEMIO, 1996).

Lo spessore dell'acquifero, riportato in Figura 17, evidenzia una modesta variabilità locale, con un generale ispessimento nell'area centrale lungo una direttrice grossomodo NE-SW passante a sud dell'abitato di Brindisi.

Per quanto concerne lo spessore dei depositi argillosi impermeabili, il risultato dell'interpolazione evidenzia un ispessimento di tali depositi nella parte meridionale dell'area investigata ed in prossimità della linea di costa (Figura 18). Viceversa un generale assottigliamento si riscontra nell'area centrale, con spessori localmente inferiori a 5 m. In quest'area, come pure in prossimità dei margini delle aree di affioramento dei depositi che costituiscono l'acquifero, possono verosimilmente concentrarsi le maggiori perdite idriche a favore dell'acquifero carsico profondo.

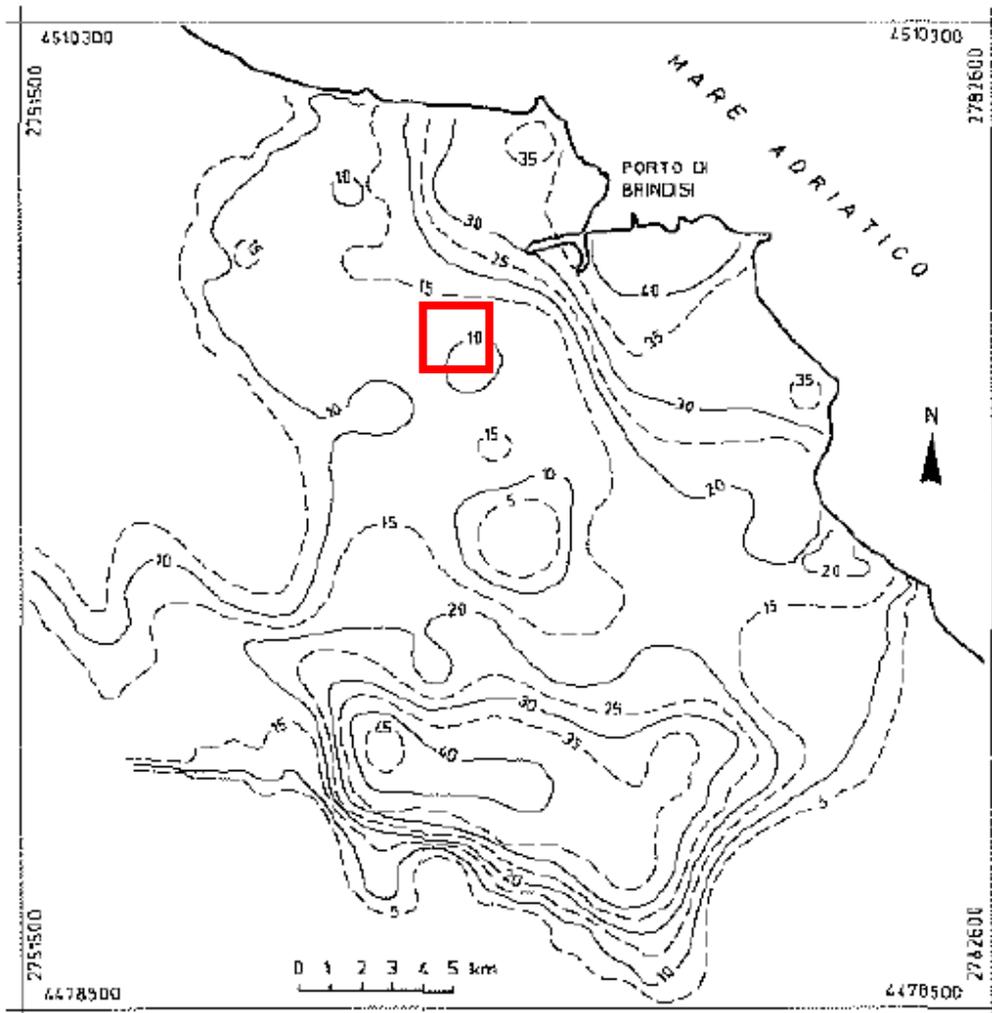
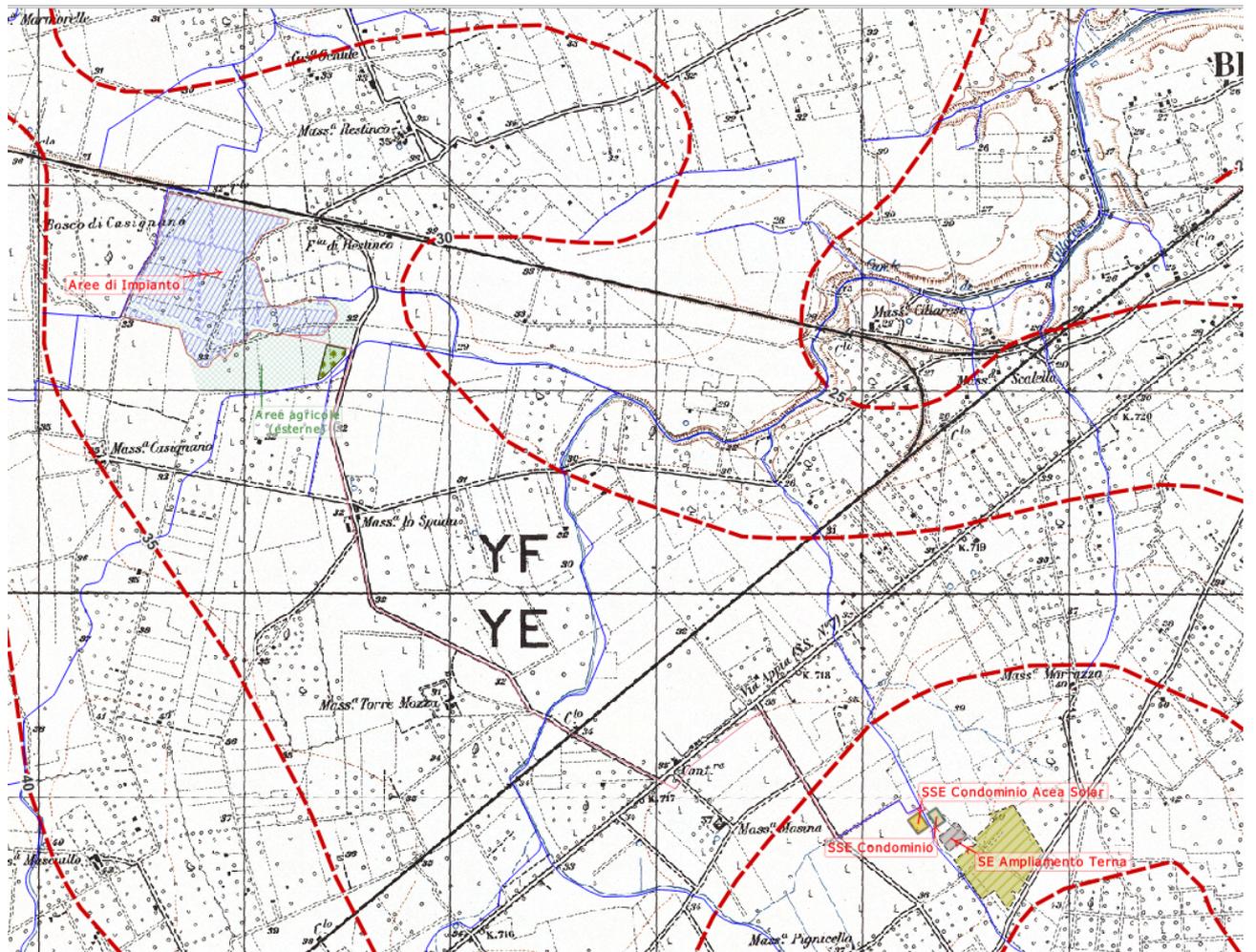


Figura 18: Curve isopache dei depositi argillosi impermeabili (Argille subappennine)
(da: RICETTI & POLEMIO, 1996).

5.2.2 Superficie piezometrica e regime

Dalla ricostruzione della superficie piezometrica si può individuare uno spartiacque idrogeologico principale orientato con asse diretto lungo SW-NE, ubicato subito a oriente dell'incisione del Fiume Grande. Uno spartiacque idrogeologico secondario è orientato grossomodo W-E. I gradienti idraulici sono generalmente modesti ed uniformi. Valori relativamente più elevati si hanno lungo la linea di riva costituita da falesie che attivamente drenano la falda. In linea generale il deflusso avviene dall'interno verso la costa, con carichi piezometri variabili da circa 65 m slm a 0 (Figura 19).



— Isopieze medie acquifero superficiale brindisino (m s.l.m.)

Figura 19: Isofreatiche della Falda Superficiale Brindisina (Fonte: Tav. 6.3.2 PTA, rielaborazione in ambiente GIS).

Sulla base dei dati piezometrici è stata accertata l'azione drenante del Canale Foggia di Rau, del Fiume Grande, del Canale Cillarese e del Canale di Siedi mentre altre incisioni risultano sospese rispetto alla falda superficiale, come nel caso del Canale delle Chianche.

La pendenza della superficie piezometrica risulta, compresa nell'ampio intervallo 0,14÷1,00%.

Il gradiente generale della quota piezometrica è sostanzialmente orientato, se si considera l'intero acquifero superficiale, verso la costa, così come accade per la falda idrica profonda (COTECCHIA,1977). In realtà, diversamente da quanto accade per l'acquifero profondo; si può comunque ritenere modesto o trascurabile l'effetto drenante svolto dal mare sulla falda idrica superficiale. Queste circostanze sono giustificabili se si considera che i gradienti delle quote del tetto e del letto dell'acquifero superficiale sono sostanzialmente paralleli a quello generale piezometrico, che la potenza dell'acquifero freatico è modesta rispetto alla massima differenza tra le quote piezometriche, che la falda viene drenata dal sottostante acquifero profondo e dal reticolo idrografico.

Il regime piezometrico è stato caratterizzato mediante una stazione freaticometrica posta a

35 m s.l.m., considerando 24 anni di osservazioni (LL.PP., 1921-1988). Per la posizione, le condizioni stratigrafiche e per la quantità di dati piezometrici disponibili, tale pozzo è l'unico rappresentativo, tra quelli ad oggi disponibili, del regime della falda freatica superficiale.

La quota piezometrica media per il periodo di osservazione è risultata pari a 31,2 m s.l.m., che corrisponde a una soggiacenza di soli 4 m. Ciò permette di valutare quanto rapida sia l'infiltrazione nella falda superficiale e quanto questa sia vulnerabile.

La quota piezometrica mensile massima è risultata pari a 33,2 m s.l.m., la massima escursione della quota piezometrica mensile è risultata pari a 3 m (Figura 20).

Il regime piezometrico della falda superficiale presenta una modesta escursione annua definita da un solo massimo, caratteristico di aprile, e un solo minimo, che si verifica a settembre. Dato il regime delle precipitazioni, si può ritenere che il ritardo con cui l'acquifero superficiale modula l'impulso pluviometrico sia pari a 2-3 mesi.

Le massime escursioni del regime si verificano a marzo e aprile e sono minime in estate.

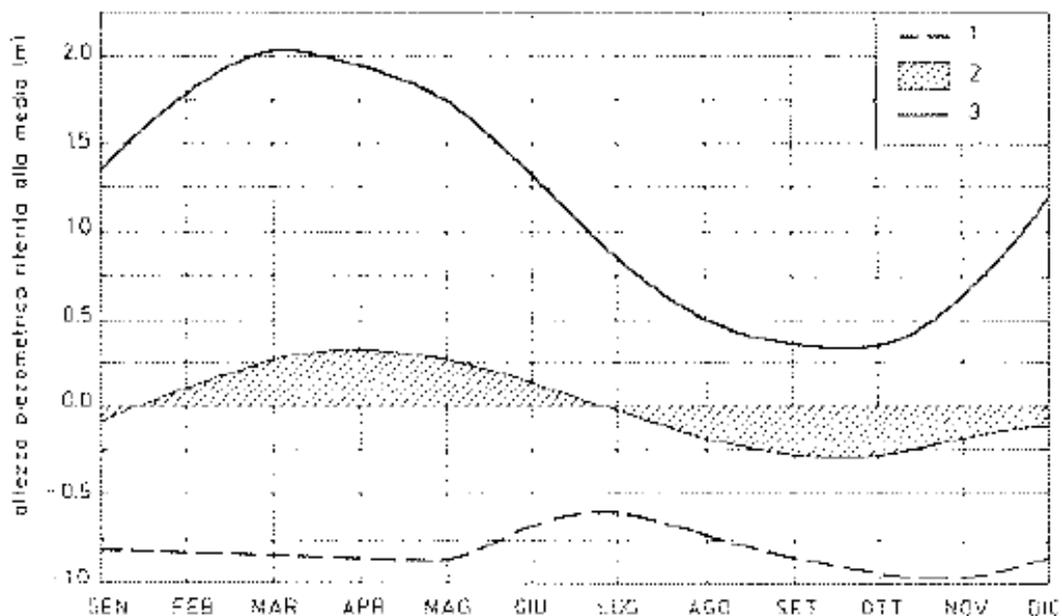


Figura 20: Regime della falda freatica superficiale. Altezze piezometriche mensili, riferite alla quota piezometrica media, pari a 31,2 m s.l.m., del periodo di osservazione: 1) altezza mensile minima; 2) altezza mensile media; 3) altezza mensile massima. (da: RICHETTI & POLEMIO, 1996).

5.2.3 Permeabilità dell'acquifero

Sono state esaminate numerose prove di assorbimento d'acqua a carico variabile, che hanno interessato sia i terreni saturi, che insaturi dell'acquifero.

Si è avuta prova della permeabilità medio-bassa dei terreni acquiferi.

Infatti, mediamente, le prove hanno fornito valori di permeabilità pari a $7,5 \times 10^{-5}$ m/s e con valori estremi pari a $8,0 \times 10^{-6}$ e $1,4 \times 10^{-4}$ m/s.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

La campagna di indagini geognostiche, pianificata per il presente progetto ha indagato essenzialmente l'area in cui sono previste le principali interazioni fra la struttura ed il terreno. L'ubicazione delle indagini ha tenuto altresì conto dell'eventuale presenza di sotto-servizi. Pertanto le indagini eseguite sono state ubicate laddove si era certi di non interferire con i sotto-servizi presenti nel sottosuolo.

Nello specifico la campagna di indagini è consistita in:

- esecuzione di n. 1 indagini sismiche a rifrazione in onde P;
- Esecuzione di n. 5 Prove Penetrometriche Dinamiche (DPSH).
- Esecuzione di n. 1 Indagine Sismica MASW, al fine di definire la $V_{s,eq}$ e di conseguenza la categoria del suolo di fondazione (NTC18).

L'ubicazione, le metodologie di indagine ed i report dettagliati sono riportati nell'Allegato 1 – REPORT SULLE INDAGINI IN SITO.

Le indagini sono state commissionate dallo scrivente, ed eseguite dalla ditta GEOPROVE S.R.L..

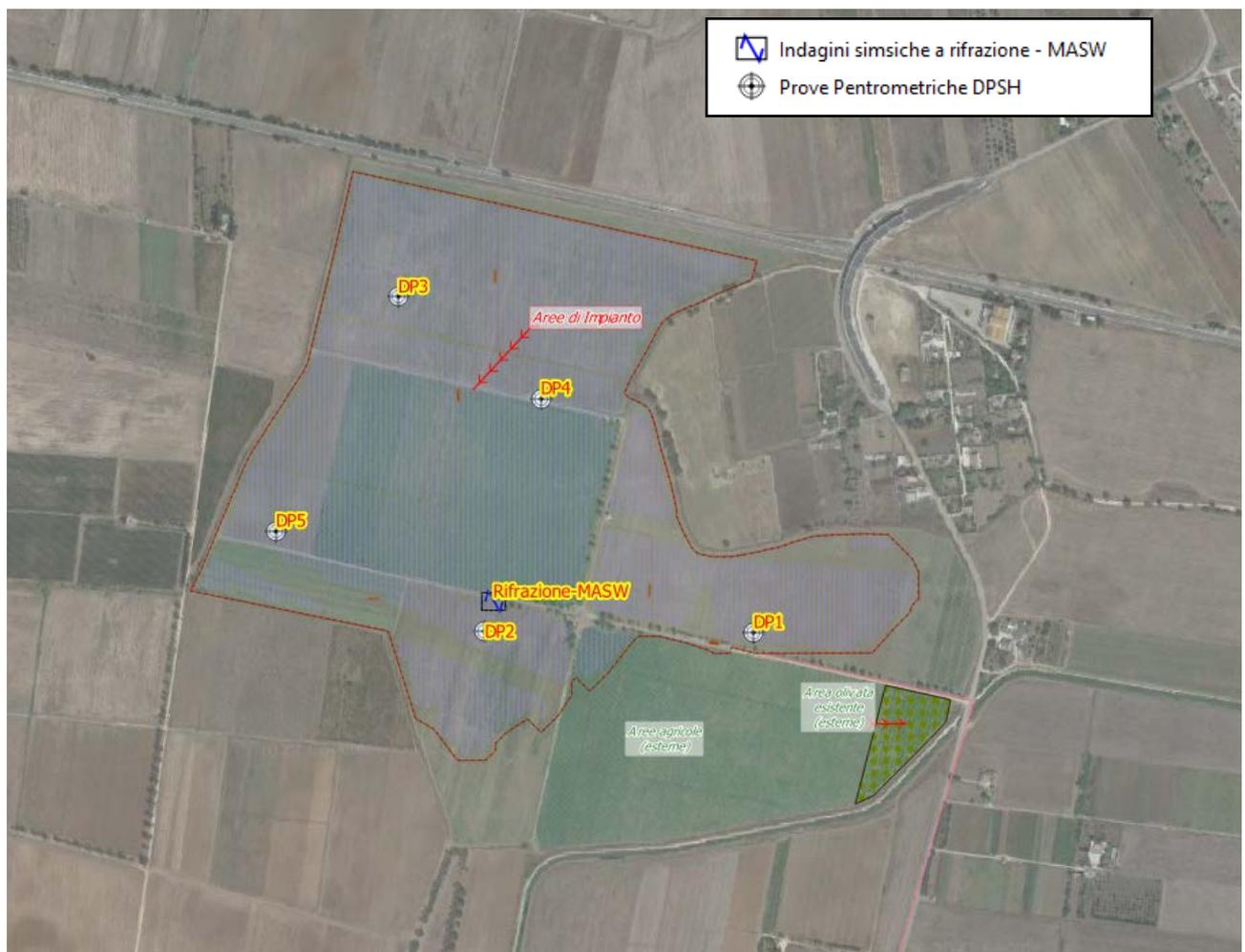


Figura 21: Ubicazione prove penetrometriche dinamiche DPSH e Indagini sismiche (Rifrazione e MASW).

6.1 Prove Penetrometriche Dinamiche Continue (DPSH)

Rispetto alla prova SPT, la prova DP è continua e ha da un lato il vantaggio di essere meno costosa, più rapida, e di fornire valori di N continui e quindi con un maggior dettaglio nel rilevare le variazioni di resistenza alla penetrazione lungo la verticale, dall'altro lo svantaggio principale di una minor standardizzazione a livello mondiale con la conseguente mancanza di una banca dati comune alle diverse esperienze internazionali.

La ragione va ricercata nella incontrollata proliferazione di attrezzature che si differenziano per dimensioni e forma della punta e delle aste e per energia di battitura. Pasqualini (1983) riporta, ad esempio, l'elenco delle caratteristiche, ognuna diversa, di ben 18 attrezzature utilizzate in diversi paesi. In Italia l'utilizzo del penetrometro dinamico continuo ha ricevuto un forte impulso a partire dal 1957 con le esperienze di G. Meardi che, a partire da quanto suggerito da Terzaghi e Peck (1948), propose l'utilizzo di una nuova attrezzatura (Meardi, 1957, 1958) che ha preso rapidamente piede.

Dato lo stato dei luoghi ed il tipo di intervento da realizzare si è optato per l'esecuzione di indagini puntuali di tipo penetrometrico, con l'ausilio di un penetrometro statico/dinamico TG 63-200KN costruito dalla ditta Pagani di Calendasco (PC) (Figura 22 e 23).

Tale sonda, date le sue caratteristiche tecniche, è conforme alle Norme Tecniche UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing" e UNI EN ISO 22476-12:2009 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM)".

Per la descrizione dettagliata delle modalità operative delle prove eseguite, nonché per il report delle stesse si rimanda all'ALLEGATO 1 – REPORT SULLE INDAGINI IN SITO.



Figura 22: Penetrometro statico/dinamico TG 63-200KN – Pagani: fasi di esecuzione delle indagini (DPSH 1).



Figura 23: Penetrometro statico/dinamico TG 63-200KN – Pagani: fasi di esecuzione delle indagini (DPSH2).

L'esecuzione di ciascuna prova prevede l'infissione, con un sistema di battuta automatico che assicura circa 20-30 colpi/minuto, di una punta conica, in questo caso a recupero; ogni 20 cm di avanzamento della punta viene misurato il numero di colpi: tale valore, opportunamente elaborato, viene utilizzato per determinare il valore di numerosi parametri geotecnici per mezzo di abachi e correlazioni empiriche.

L'indagine è consistita nella realizzazione di sette prove all'interno dell'area d'interesse progettuale, le quali hanno raggiunto una profondità rispettivamente di:

- DPSH1 2,60 mt – prova a rifiuto
- DPSH2 4,20 mt – prova a rifiuto
- DPSH3 1,80 mt – prova a rifiuto
- DPSH4 3,20 mt – prova a rifiuto
- DPSH5 2,00 mt – prova a rifiuto

6.1.1 Interpretazione delle prove

La disamina dei dati ottenuti mette in evidenza un assetto stratigrafico omogeneo all'interno delle aree investigate.

In particolare le prove eseguite hanno evidenziato che al di sotto dello strato di terreno vegetale (che si rinviene sino ad una profondità massima di 0,60 m dal p.c.), vi è la presenza di un banco limo-sabbioso dello spessore di circa 1,50 m; tali depositi presentano moderatamente consistenti. Al di sotto dei depositi di cui sopra è stato

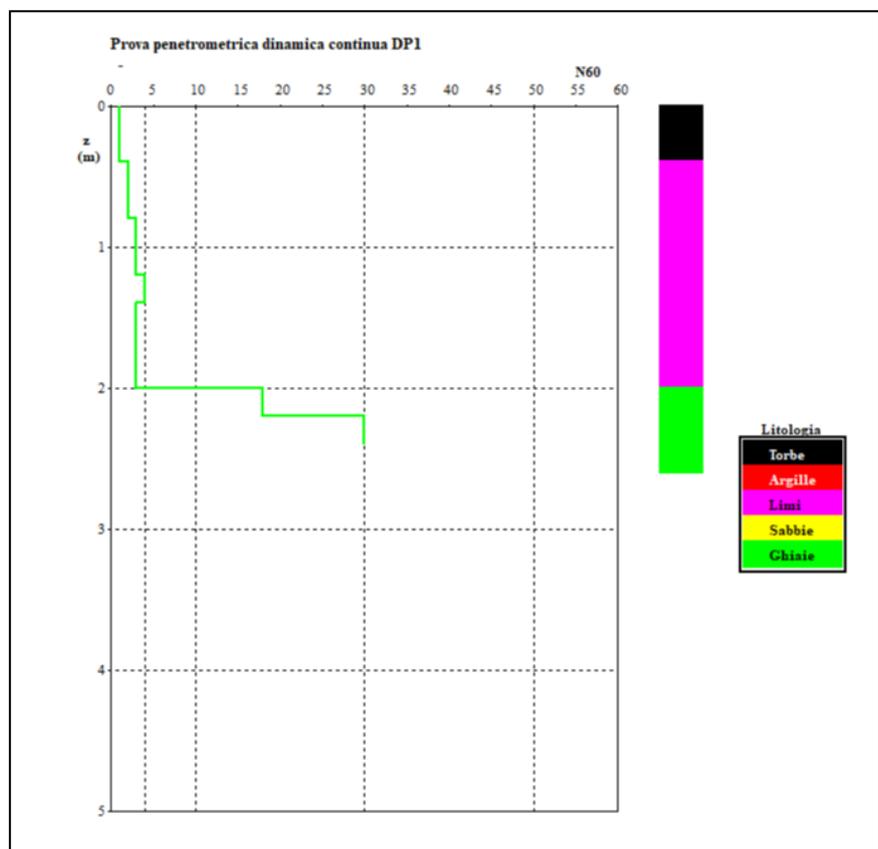
rinvenuto in tutte le prove seguite un baco sabbioso-calcarenitico caratterizzato dalla presenza di bancate litoidi ben cementate, che hanno portato a rifiuto tutte le prove eseguite. Tale deposito è ascrivibile alla formazione dei Depositi Marini Terrazzati, di cui nei precedenti paragrafi ne sono state descritte le principali caratteristiche.

Nel prosieguo dell'esposizione si riportano, compendati in tabelle, grafici e figure i dati analitici relativi alle interpretazioni effettuate; per ciascun parametro ottenuto si è adoperata la correlazione ritenuta più attinente alla realtà indagata, le quali sono mostrate nel dettaglio nel REPORT DI INDAGINE.

PROVA PENETROMETRICA n. DPSH 1

VALORI DI N

z (m)	N	N60	N1(60)
0,2	1	1	2
0,4	1	1	2
0,6	2	2	4
0,8	3	2	4
1,0	4	3	6
1,2	4	3	6
1,4	5	4	8
1,6	4	3	6
1,8	4	3	6
2,0	4	3	5
2,2	24	18	31
2,4	40	30	48



z = profondità

N = numero colpi originale

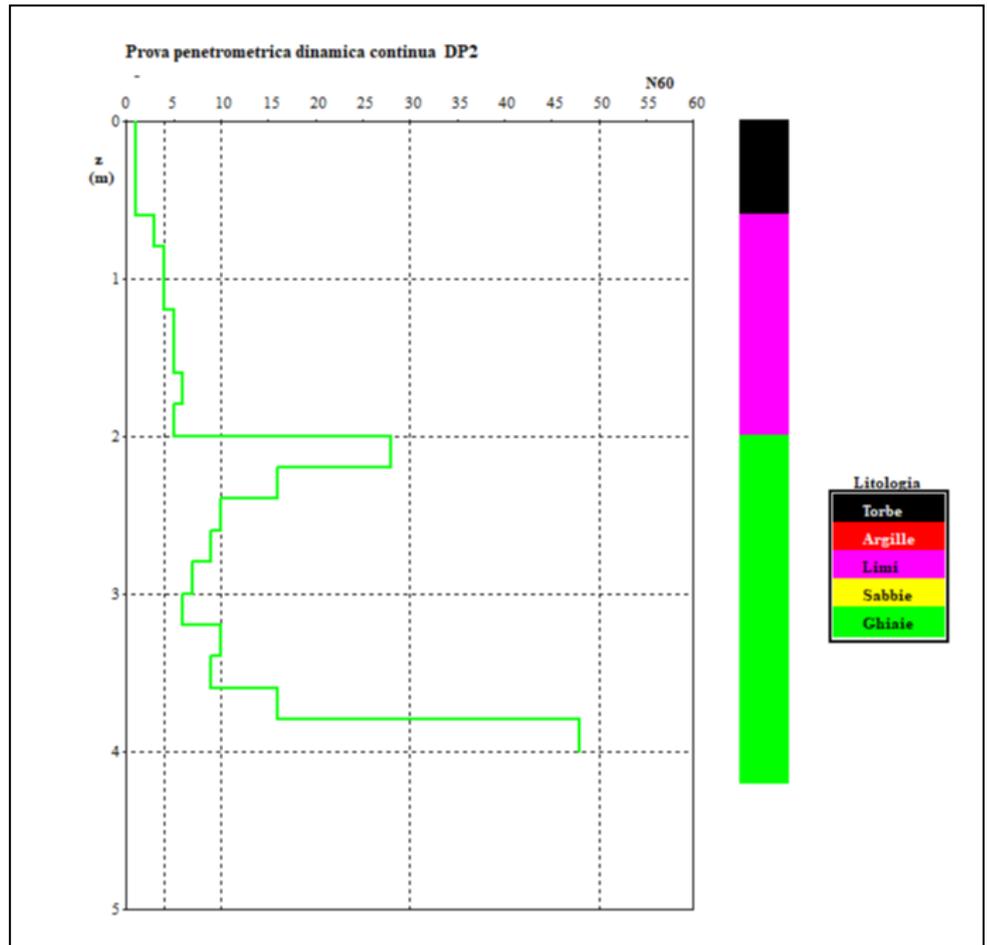
N60 = numero colpi standardizzato

N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

PROVA PENETROMETRICA n. DPSH 2

VALORI DI N

z (m)	N	N60	N1(60)
0,2	1	1	2
0,4	1	1	2
0,6	1	1	2
0,8	4	3	6
1,0	5	4	8
1,2	5	4	8
1,4	6	5	10
1,6	7	5	10
1,8	8	6	11
2,0	6	5	9
2,2	37	28	47
2,4	21	16	25
2,6	13	10	15
2,8	12	9	13
3,0	9	7	10
3,2	8	6	8
3,4	13	10	13
3,6	12	9	12
3,8	21	16	20
4,0	56	48	58



z = profondità

N = numero colpi originale

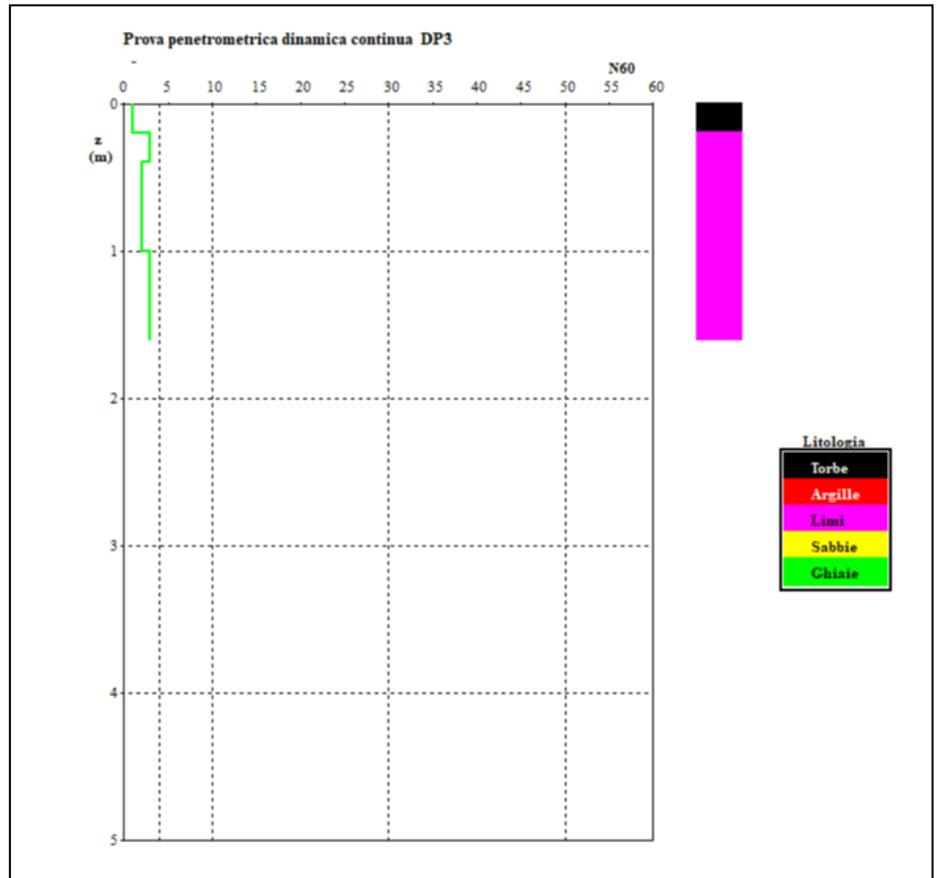
N60 = numero colpi standardizzato

N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

PROVA PENETROMETRICA n. DPH 3

VALORI DI N

z (m)	N	N60	N1(60)
0,2	1	1	2
0,4	4	3	6
0,6	2	2	4
0,8	3	2	4
1,0	3	2	4
1,2	4	3	6
1,4	4	3	6
1,6	4	3	6



z = profondità

N = numero colpi originale

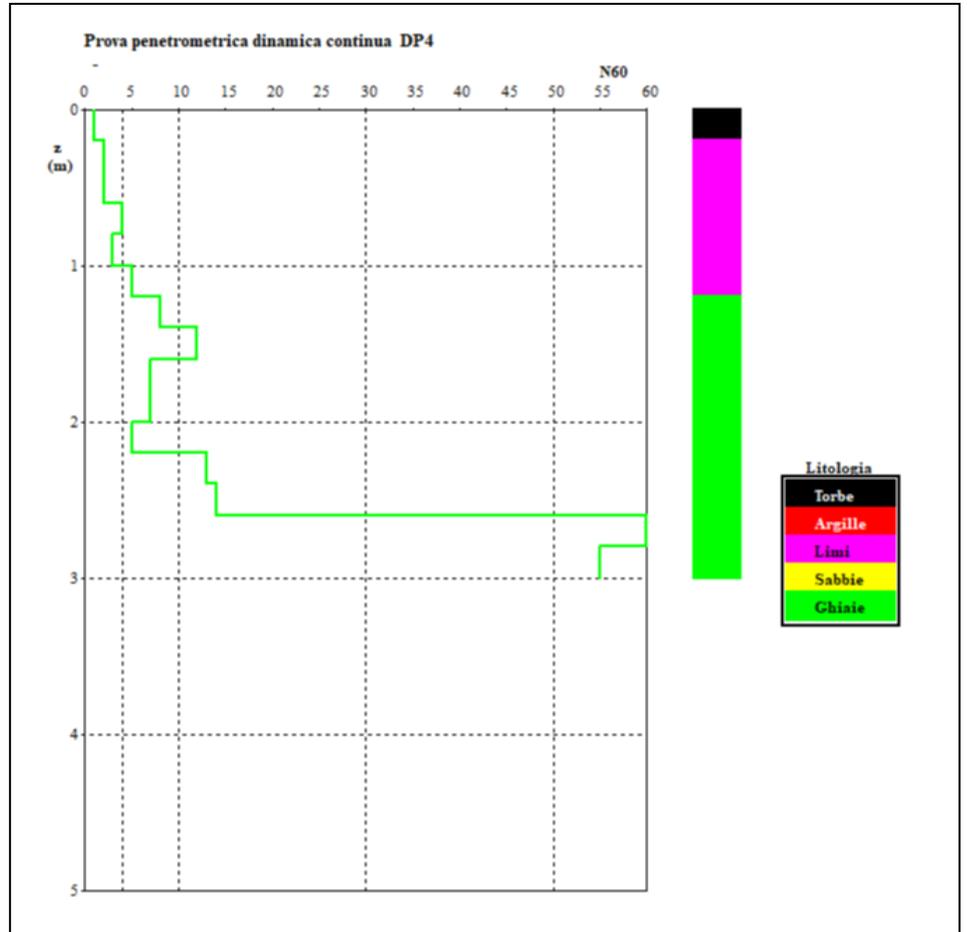
N60 = numero colpi standardizzato

N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

PROVA PENETROMETRICA n. DPSH 4

VALORI DI N

z (m)	N	N60	N1(60)
0,2	1	1	2
0,4	3	2	4
0,6	3	2	4
0,8	5	4	8
1,0	4	3	6
1,2	6	5	10
1,4	11	8	16
1,6	16	12	24
1,8	9	7	13
2,0	9	7	12
2,2	7	5	8
2,4	17	13	21
2,6	18	14	21
2,8	80	60	87
3,0	73	55	76



z = profondità

N = numero colpi originale

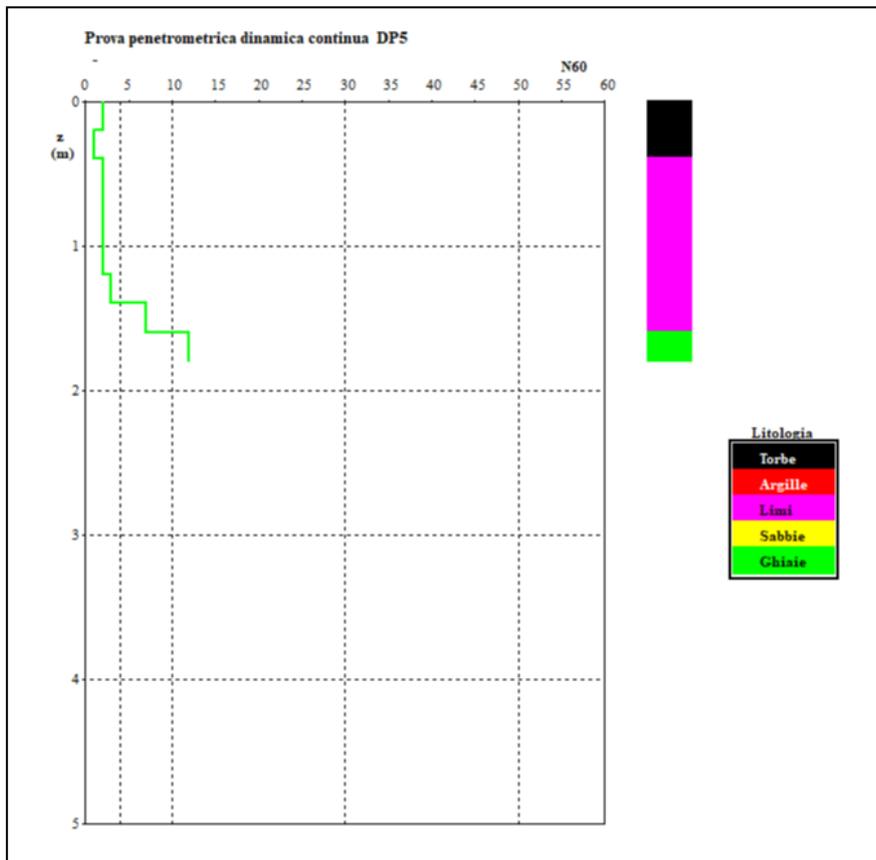
N60 = numero colpi standardizzato

N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

PROVA PENETROMETRICA n. DPSH 5

VALORI DI N

z (m)	N	N60	N1(60)
0,2	2	2	4
0,4	1	1	2
0,6	3	2	4
0,8	3	2	4
1,0	2	2	4
1,2	3	2	4
1,4	4	3	6
1,6	9	7	14
1,8	16	12	23



z = profondità

N = numero colpi originale

N_{60} = numero colpi standardizzato

$N1(60)$ = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

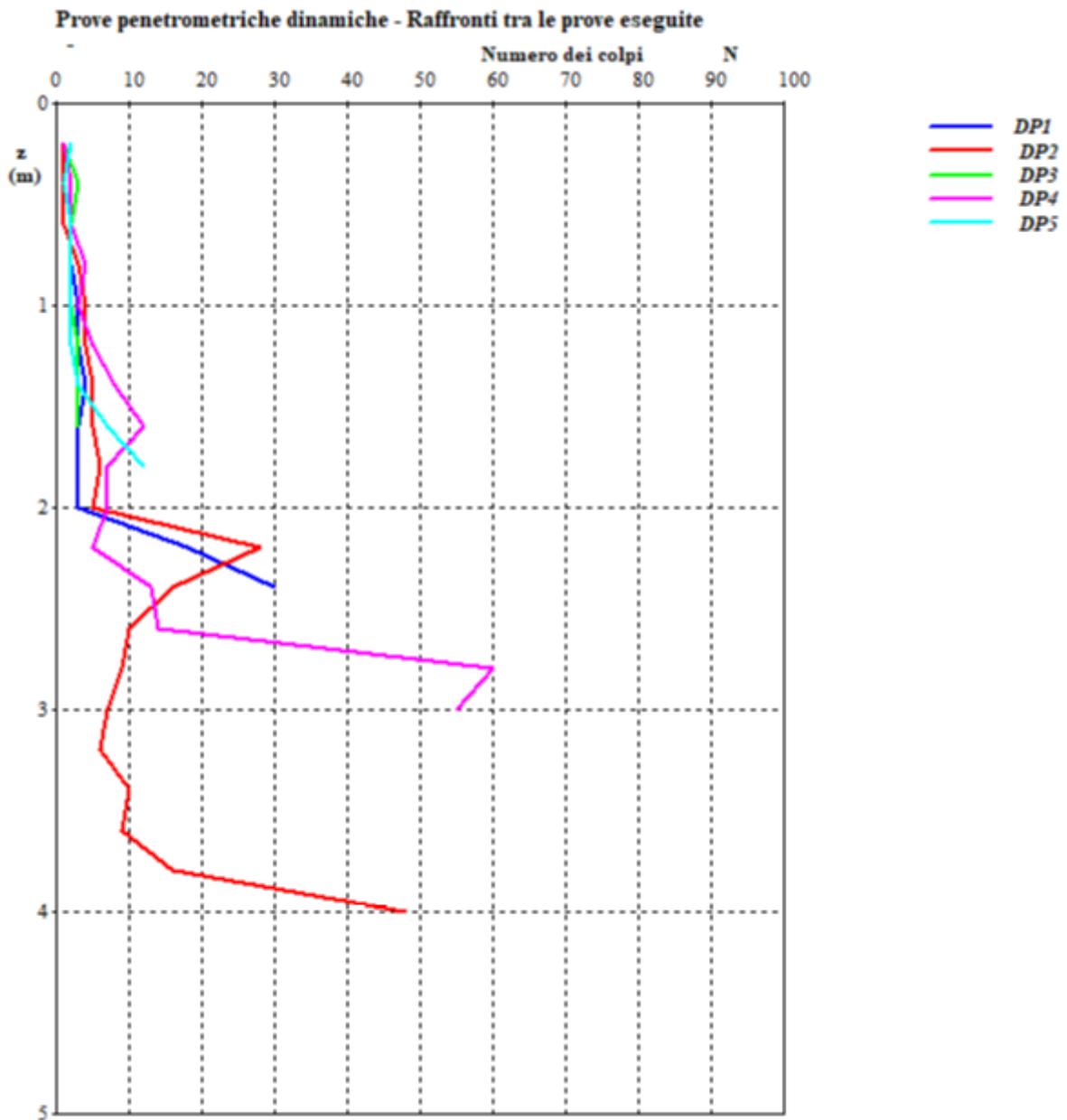


Figura 24: Prove penetrometriche DPSH – Raffronti fra le prove: Numero di colpi.

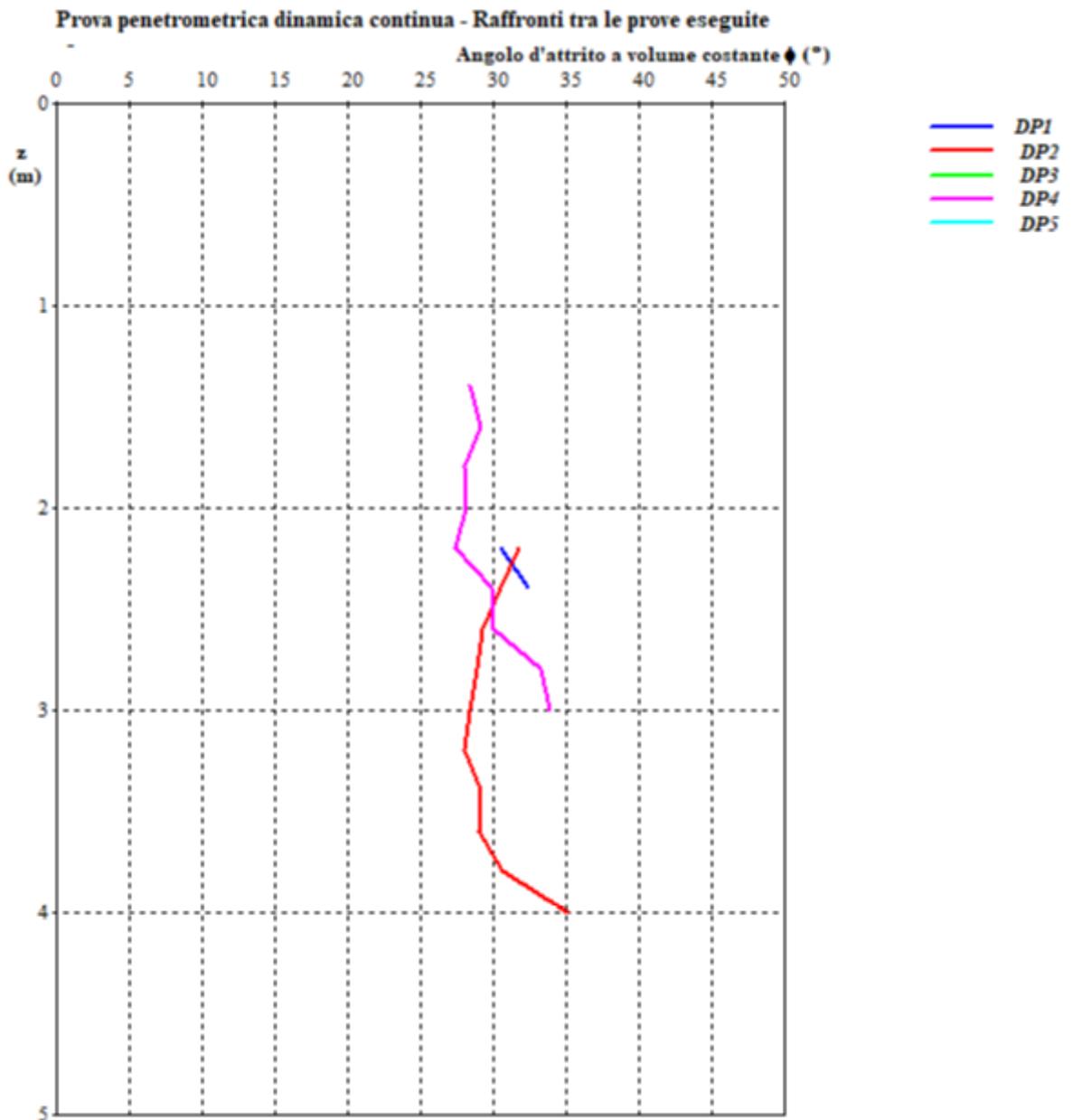


Figura 25: Prove penetrometriche DPSH – Raffronti fra le prove: Angolo di attrito a volume costante: banco sabbioso calcarenitico.

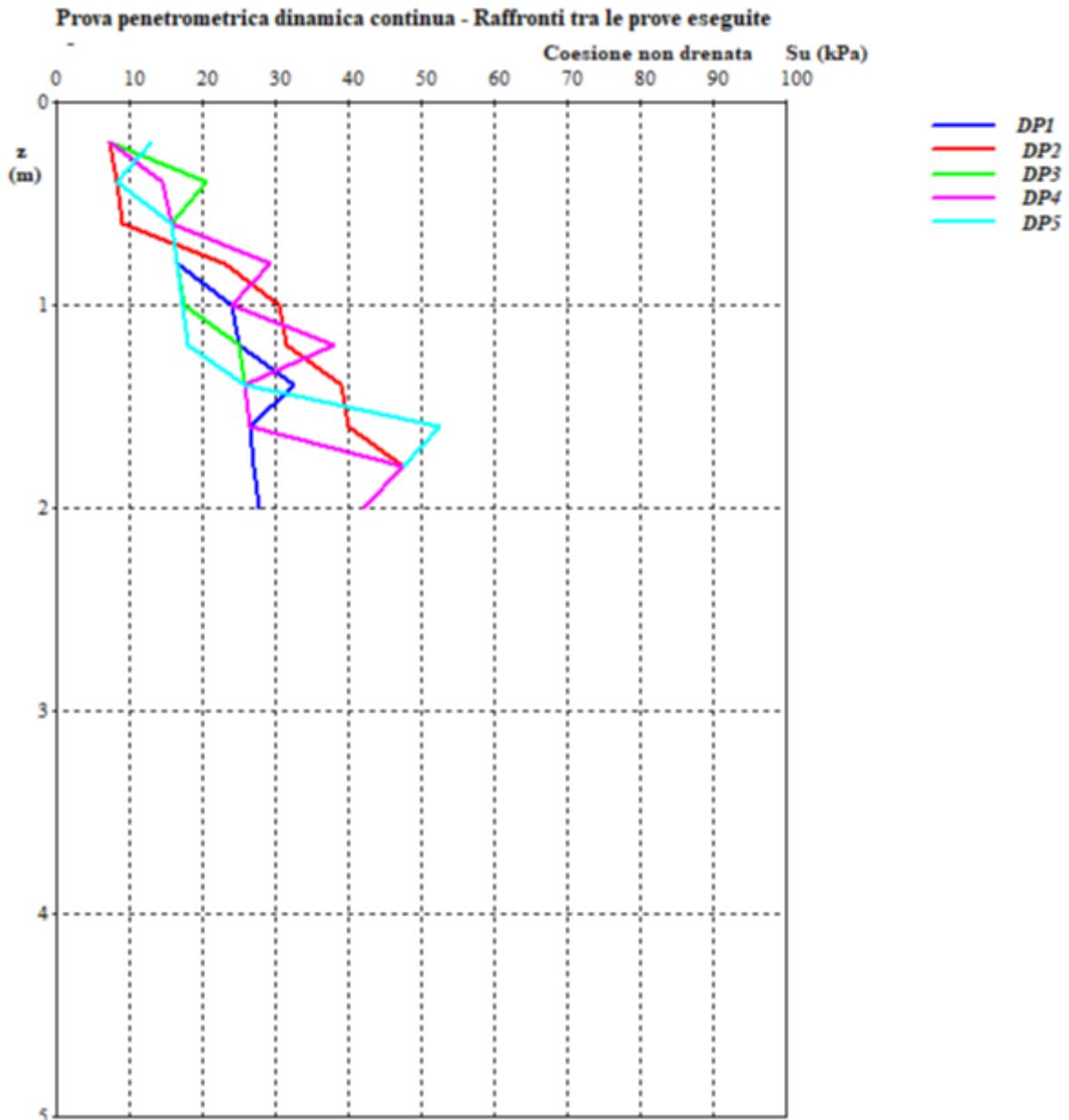


Figura 26: Prove penetrometriche DPSH – Raffronti fra le prove: Coessione non drenata: banco sabbioso-limoso.

Sulla scorta dell'analisi fatte sulle prove eseguite è possibile ricavare alcuni parametri geotecnici medio-statistici riferiti ai depositi investigato.

In generale si rileva la presenza di un primo strato di sabbie limose, seguito da un banco di sabbie grossolane alternate a livelli arenitici cementati (Figure 27 e 28); tale assetto è evidenziato da un aumento repentino nel numero dei colpi e da un conseguente miglioramento delle caratteristiche geotecniche.

Sulla scorta delle indagini penetrometriche effettuate è possibile ricavare alcuni parametri geotecnici sintetizzati in Tabella 1 e Tabella 2. Le figura 27 e 28 mostrano le sezioni stratigrafiche desunte dalle prove penetrometriche eseguite. La falda idrica

superficiale non è stata rilevata durante i test penetrometrici.

Tabella 1: Sintesi dei parametri geotecnici ricavati dalle prove DPSH per gli strati coesivi.

ID Strato	Tipo	Classificazione AGI	Peso di Volume (t/m ³)	Peso di Volume Saturo (t/m ³)	Coesione non Drenata (kPa)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Limi Argillosi	Coesivo	Moderatamente Consistente	1.77-1.93	1.90-2.12	30-60	30-90

Tabella 2: Sintesi dei parametri geotecnici ricavati dalle prove DPSH per gli strati granulari.

ID Strato	Tipo	Classificazione AGI	Peso di Volume (t/m ³)	Peso di Volume Saturo (t/m ³)	Densità relativa (%)	Angolo di attrito (°)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Sabbie calcarenitiche	Granulare	Addensato – Molto Addensato	1.80 – 1.90	1.90-2.20	60-100	35-40	400-1000

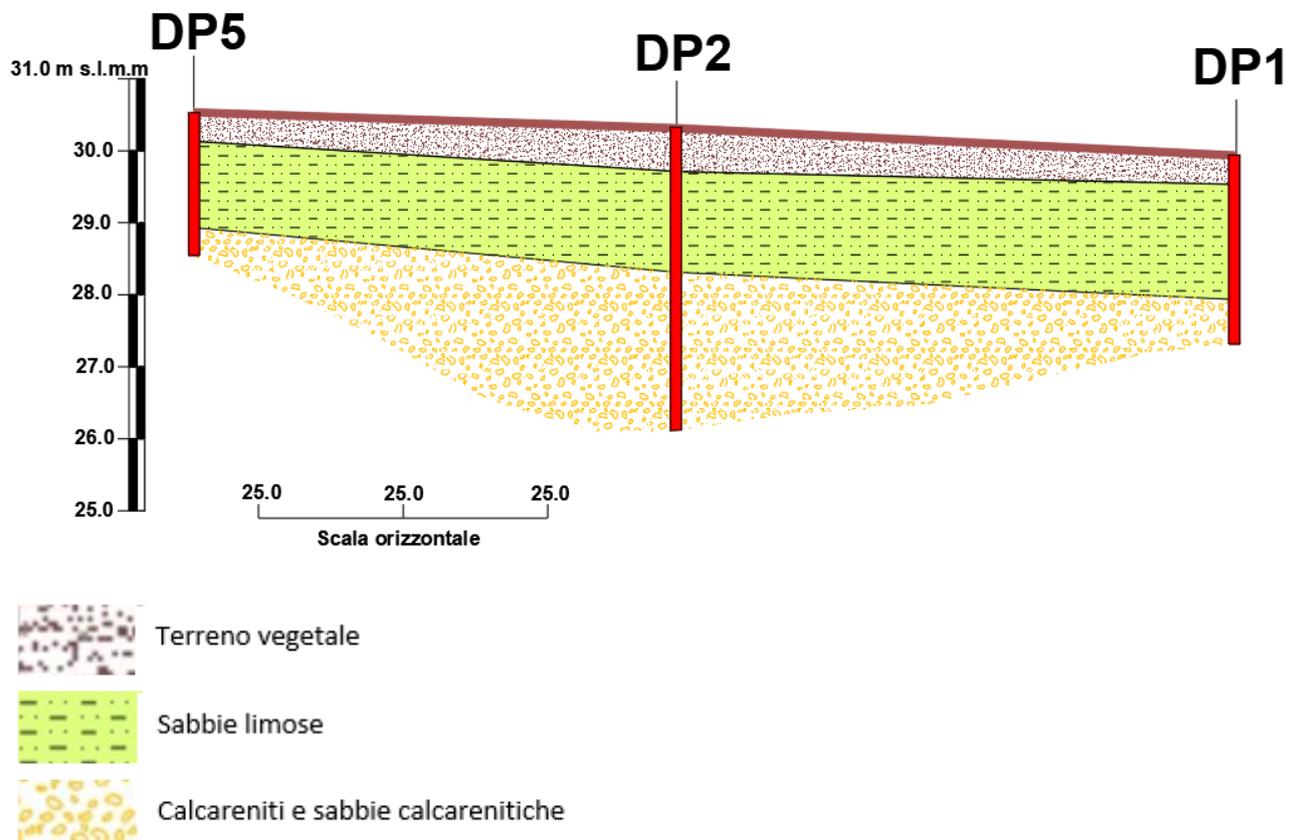


Figura 27: Sezione stratigrafica interpretativa desunta dalle prove DPSH.

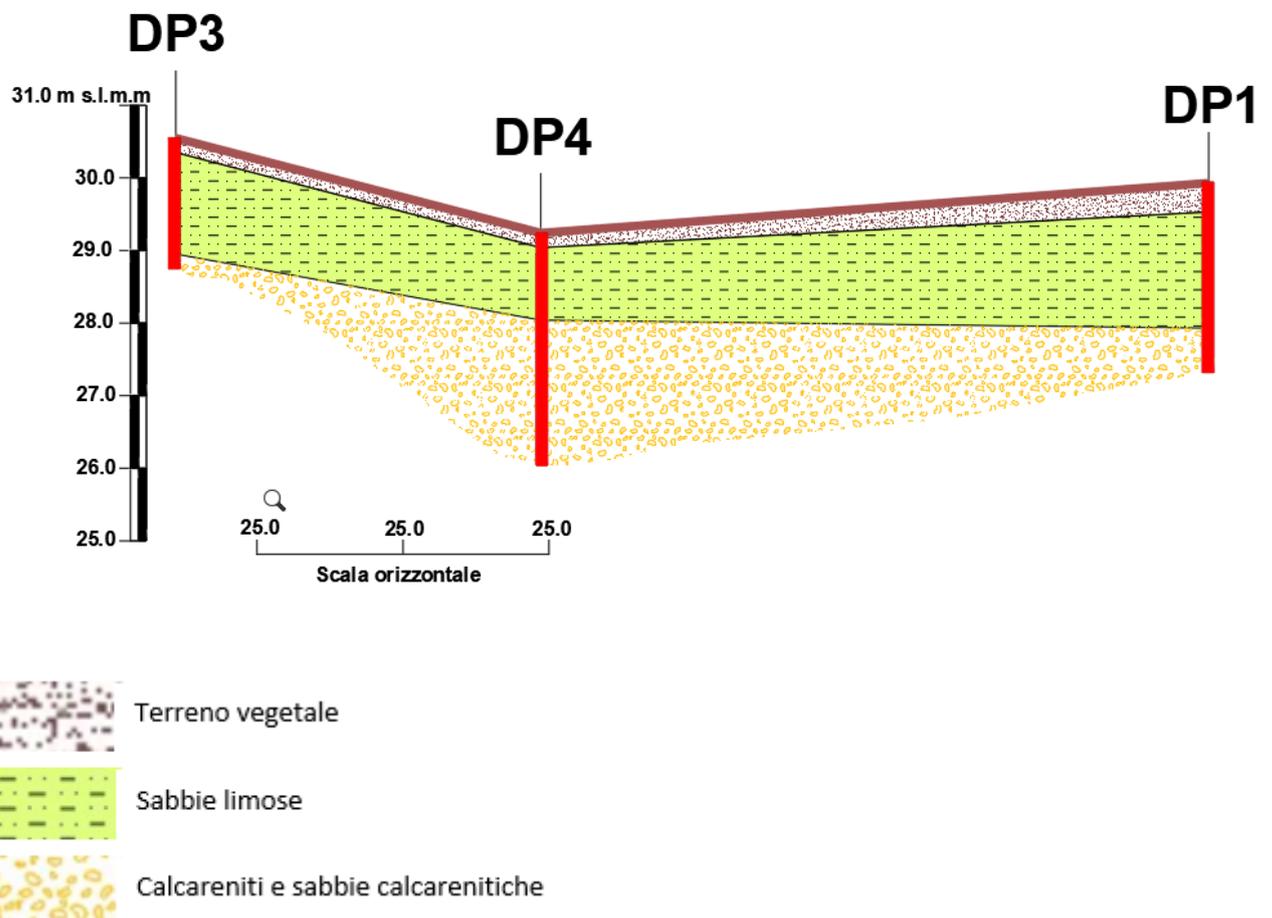


Figura 28: Sezione stratigrafica interpretativa desunta dalle prove DPSH.

6.2 Indagini sismiche a rifrazione

La campagna d'indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di N. 1 indagine sismica a Rifrazione in Onde P con restituzione tomografica.

La campagna d'indagine geofisica, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i. e al D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018) pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20.2.2018.

Per quanto concerne l'ubicazione, la metodologia operativa ed i dati di campo si rimanda all'ALLEGATO 1 – REPORT SULLE INDAGINI IN SITO.



Figura 29: Fase di esecuzione stendimento sismico a rifrazione.

6.2.1 Il metodo sismico a rifrazione con ricostruzione tomografica

L'elaborazione del profilo sismico è avvenuta mediante apposito algoritmo delle sezioni sismografiche, con restituzione tomografia. Tale metodo permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, con un elevato potere risolutivo offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con differenti tecniche di indagine.

La tomografia sismica, rispetto alla convenzionale sismica a rifrazione, limita i problemi interpretativi dovuti agli strati ad inversione di velocità (orizzonte fantasma) o di ridotti spessori.

Essa consiste nella ricostruzione di sezioni bidimensionali (2D) realizzate mediante serie di stendimenti sismici a rifrazione con sismografo a 12 canali.

Lo strumento di acquisizione è il Geode, della Geometrics con geofoni da 12 Hz, il software utilizzato per l'elaborazione tomografica è il Rayfract.

La sezione di output del software di interpretazione geofisica è in grado di rappresentare la discretizzazione del sottosuolo indagato in differenti sismogrammi, ovvero livelli caratterizzati da omologhe velocità sismiche.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le indagini sismiche, in pratica, si effettuano misurando i tempi diretti di propagazione nel terreno delle onde sismiche tra una sorgente di energia, e uno o più sensori (geofoni), che vengono posizionati lungo un allineamento a distanze progressivamente crescenti dal punto di emissione dell'energia. Le indagini possono essere effettuate sia a livello, che in foro.

Le onde elastiche possono essere generate mediante l'utilizzazione di masse battenti o tramite esplosioni controllate. L'impiego dell'una o dell'altra fonte di energizzazione dipende essenzialmente dalla profondità d'investigazione richiesta.

In tale campagna di indagine la prospezione sismica è stata realizzata posizionando sorgenti e geofoni lungo un allineamento, utilizzando 12 geofoni con 5 registrazioni per ogni stendimento.

L'energizzazione è stata del tipo a massa battente.

La restituzione grafica è stata presentata con una finestra profonda circa 7 metri.

Il risultato finale è la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate visualizzata mediante una scala cromatica, che va dal blu (basse velocità) al rosso (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica. Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche

Il profilo sismico è stato registrato con n.5 scoppi in linea (shots) ed è costituito da n.5 sismogrammi. L'elaborazione tomografica e la restituzione del modello geofisico è stata effettuata con il software Rayfract che esegue l'inversione tomografica con il metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing).

Il software RAYFRACT consente la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo, con le più evolute tecniche tomografiche, soprattutto nel caso di strutture profonde. Tali tecniche consistono in due metodi, quello di inversione DELTA t-v, mediante il quale si ottengono dei profili 1D "profondità-velocità" dai dati di traveltime e il metodo di inversione 2D, WET, mediante il quale si ottimizzano i modelli di velocità ottenuti con il metodo DELTA t-v.

Il software RAYFRACT è stato supportato dal software SURFER 8 mediante il quale è stato eseguito automaticamente il gridding, l'imaging ed il contouring dei suddetti modelli di velocità.

Partendo direttamente dall'importazione delle tracce sismiche, RAYFRACT permette di effettuare il picking dei primi arrivi, eseguito in questo caso manualmente, ed ottenere quindi una image delle strutture di velocità anche in situazioni di topografia estrema e di marcati contrasti laterali di velocità.

Il modello iniziale del gradiente di velocità ottenuto con il metodo DELTA t-v viene ottimizzato automaticamente mediante l'inversione tomografica 2D WET (Wet Tomography Eikonal Traveltime). La teoria in proposito basa i modelli tomografici sulla modellizzazione del percorso di un fascio di raggi per ogni primo arrivo, contrariamente a quanto previsto con la tomografia convenzionale basata sulla modellizzazione del percorso di un raggio sismico per ogni primo arrivo.

In tal modo si ottiene l'output finale dell'inversione WE.

6.2.2 Analisi dei dati ed interpretazione dei risultati

Il profilo (Figura 30), ha permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: in affioramento e per uno spessore di circa mezzo metro si rinviene il primo sismostrato che, caratterizzato da una velocità di 300.0 m/sec, può essere ricondotto al terreno vegetale. Segue fino ad una profondità di circa 2.0 metri il secondo sismostrato che caratterizzato da una velocità di 700 m/sec è riconducibile a limi sabbiosi.

Le velocità aumentano con la profondità: si registra una velocità di 1200 m/sec intorno a 3.0 metri per poi aumentare fino a 1700-2000 m/sec; tale sismostrato è da ricondurre ad una calcarenite che diventa via via più tenace.

Tabella 3: Velocità Vp, spessori ed interpretazione stratigrafica Base Sismica 1.

Base Sismica N. 1	Vp (m/sec)	H (m)	Interpretazione stratigrafica
Sismostrato 1	300	0,40	Terreno vegetale
Sismostrato 2	700	2,00	Limi sabbiosi
Sismostrato 3	>1200	-----	Sabbie calcarenitiche e bancate calcarenitiche tenaci

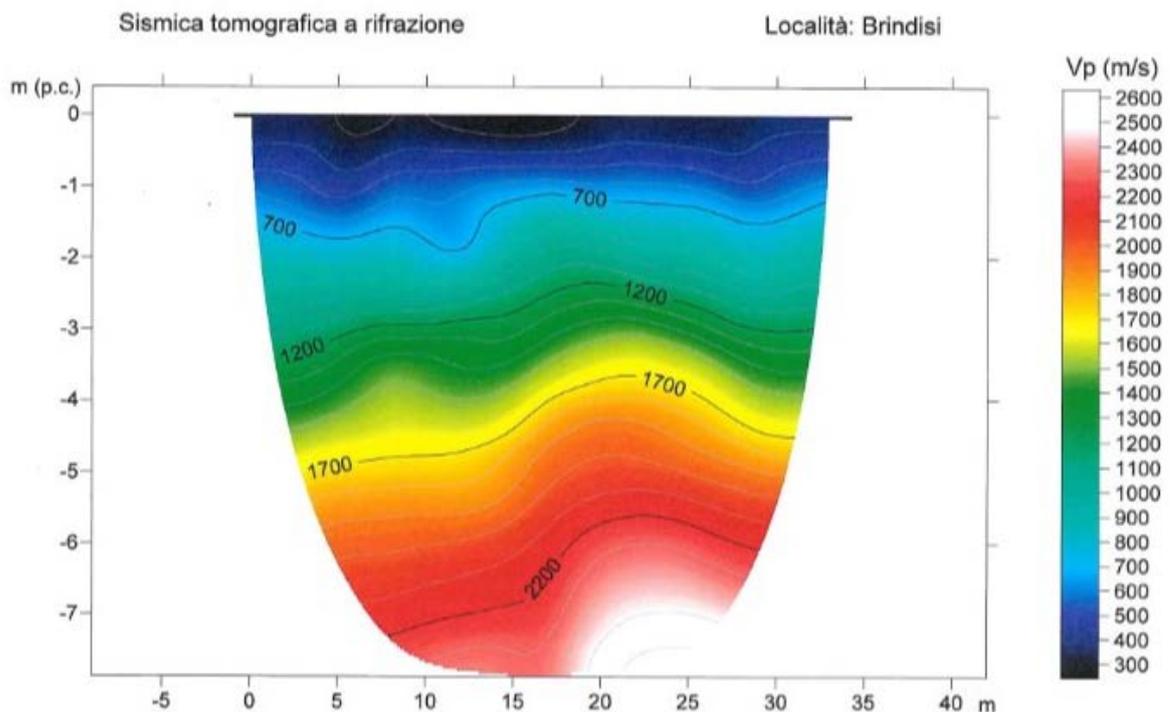


Figura 30: Sezione tomografica in onde P.

6.3 Indagini sismiche MASW

La campagna geognostica è stata svolta nel mese di gennaio 2020, e sono stati eseguiti N.1 profilo MASW.

La metodologia utilizzata, i report computerizzati e fotografici delle indagini MASW eseguite sono mostrati nel dettaglio all'interno dell'Allegato 1 – REPORT SULLE INDAGINI IN SITO.

Facendo riferimento al modello medio (Vs e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione per le indagini eseguite, si mostra in figura 31 i risultati delle elaborazioni.

Indagine sismica Masw

Località: Brindisi

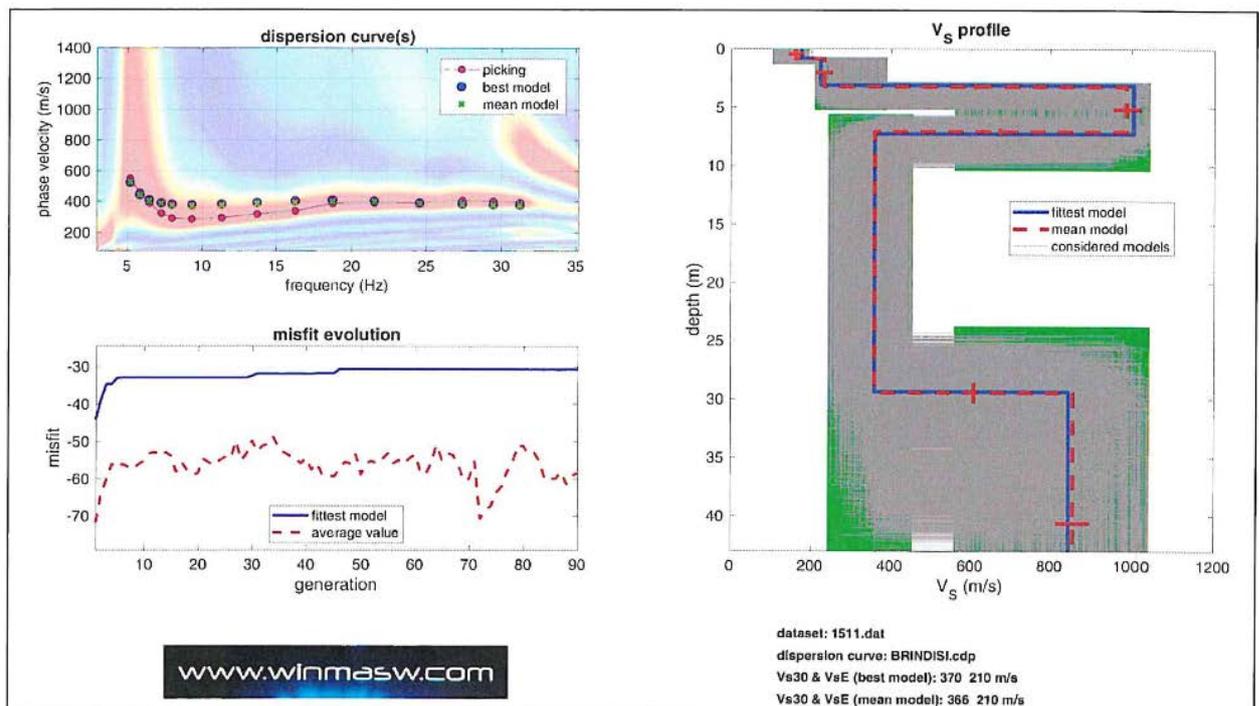


Figura 31: Profilo verticale Vs – MASW 1

6.3.1 Calcolo Vs,eq (D.M. 17/01/2018 NTC2018)

Con Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.1.2018), per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l'utilizzo della VSeq, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC08 erano definite con $V_{s,30} < 180$ m/sec) viene classificata con valori di Vs,eq compresi tra 100 e 180 m/sec.

La VSeq, è data dai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione:

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

con

h_i = spessore dello strato i -esimo;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità viene riferita al piano di imposta della fondazione (Figura 28).

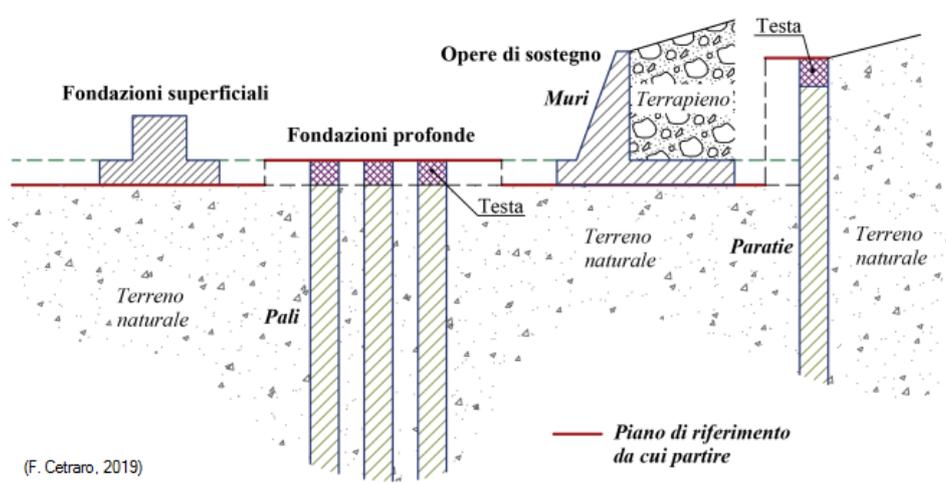


Figura 32: Definizione della profondità del substrato.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$), ottenuto dal Modello Medio dell'elaborazione dei dati acquisiti attraverso le basi sismiche, è risultato essere in riferimento al piano campagna:

- per la base sismica MASW 1 $V_{s,eq} = 210$ m/s

Da cui ne deriva una Categoria di Sottosuolo (Tab. 3.2.II da NTC 2018): C

Descrizione Categoria: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Il **Comune di Brindisi**, secondo la deliberazione della giunta regionale 2 marzo 2004, n. 153 "Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti - Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi", **risulta classificato in zona sismica 4**, cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi fra 0,025 e 0,050 g (dove g è l'accelerazione di gravità) (Figura 33).

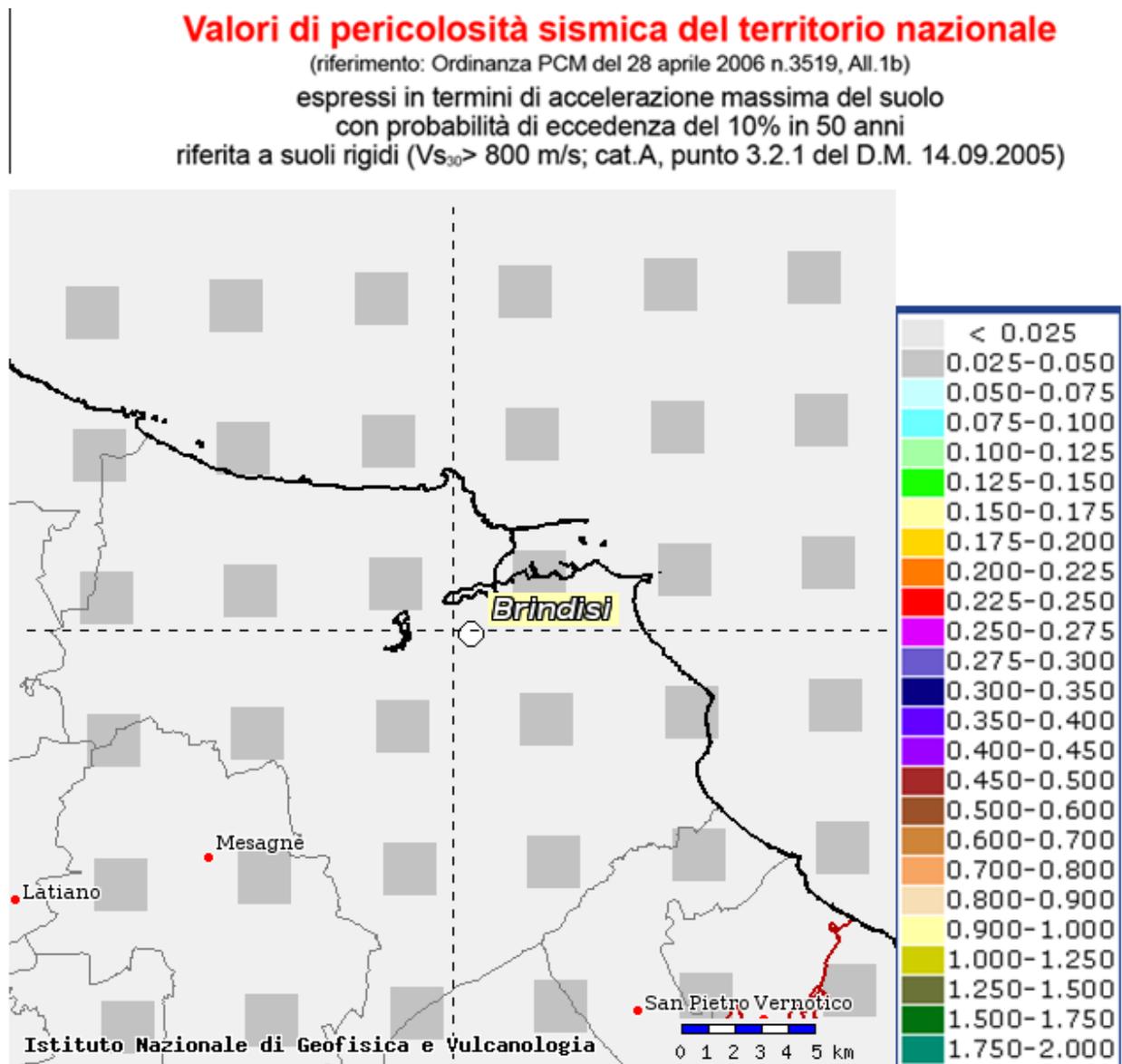


Figura 33: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a soli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A). Fonte: [http:// esse1-gis.mi.ingv.it/](http://esse1-gis.mi.ingv.it/).

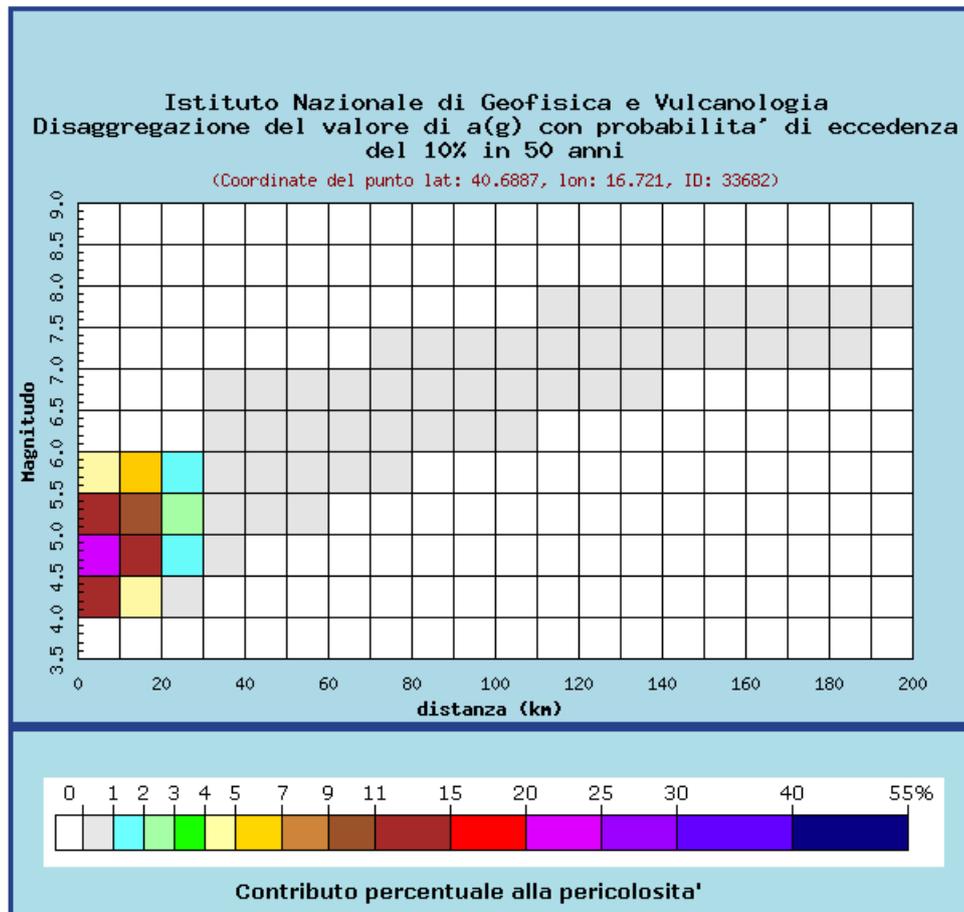


Figura 34: Disaggregazione del valore a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni per l'area in esame.

Lo spettro di progetto va modificato in presenza di condizioni locali che si discostano significativamente da quelle standard di terreno piano rigido.

In alcune situazioni tale modifica è ottenuta semplicemente attraverso l'applicazione di un ulteriore fattore di scala S e attraverso la modifica dei periodi TB, TC, TD in relazione alla presenza nel suolo di fondazione di condizioni litologiche riconducibili a 5 categorie di profilo stratigrafico.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s).

Le 5 categorie di profilo stratigrafico (NTC18), sono mostrate in Tabella 4.

La tipologia di suolo A rappresenta le condizioni litologiche di riferimento (per le quali viene calcolata la DGA). Per le altre tipologie lo spettro di riferimento da utilizzare nella definizione del terremoto di progetto va modificato nei parametri S, TB, TC, TD secondo i valori riportati nella Tabella 5.

Tabella 4: Categorie di profilo stratigrafico (NTC 2018).

CATEGORIA	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 5: Parametri S, T_B, T_C, T_D, per la definizione dello spettro di riferimento sulla base della categoria del suolo di fondazione.

Componente	Categoria del suolo	S	T _B	T _C	T _D
Orizzontale	A	1.00	0.15	0.40	2.0
Orizzontale	B	1.20	0.15	0.50	2.0
Orizzontale	C	1.15	0.20	0.60	2.0
Orizzontale	D	1.35	0.20	0.80	2.0
Orizzontale	E	1.40	0.15	0.50	2.0
Verticale	A, B, C, D, E	0.90	0.05	0.15	1.0

7.1 Amplificazione topografica

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici, come nel caso oggetto di studio si può adottare la seguente classificazione (Tabella 6):

Tabella 6: Categorie topografiche.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Dato la morfologia tabulare delle aree di progetto, nel nostro caso si considera la categoria topografica T1.

7.2 Classificazione della categoria del suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, nel documento relativo alle "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" si definiscono varie categorie di profilo stratigrafico del "suolo di fondazione". Il terreno di fondazione in base alle proprie caratteristiche geotecniche viene classificato in diverse categorie (A, B, C, D, E) che, correlate all'accelerazione orizzontale (a_g) della zona di appartenenza (Zona 1, 2, 3, 4), definiscono delle azioni sismiche di progetto (SdT).

Il suolo di fondazione è stato desunto dalle indagini in situ effettuate, correlate da indicazioni stratigrafiche e sismiche bibliografiche.

Nello specifico all'interno dell'area di progetto sono state condotte analisi sismiche MASW (Cfr par.6.3).

Dalle risultanze delle analisi sismiche eseguite con la metodologia precedentemente descritta, si evince:

	$V_{s,eq}$	Classe
Profilo MASW N.1	210 m/sec	"C"

Se ne desume che per l'intera area di progetto il suolo rientra nella **Categoria C**:

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."

7.3 Calcolo dell'azione sismica

Zona sismica: come detto in precedenza, la zona sismica in cui si inserisce il comune di Brindisi è la Zona 4, caratterizzata da un valore di accelerazione orizzontale massima da adottare pari ad $a_g = 0,05g$ dove g indica l'accelerazione di gravità.

Descrizione dell'azione sismica: per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo ci si basa su un modello di riferimento costituito dallo Spettro di risposta elastico o, per applicazioni particolari, su accelerogrammi.

Le indagini fin qui eseguite ci permettono di stimare, sulla base dei valori indicati dalla normativa (Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003), alcuni fattori da inserire nelle espressioni degli spettri di risposta elastici e degli spettri di progetto relativi alle componenti orizzontali e verticali del moto.

I valori che possono essere restituiti sono quelli relativi al fattore S che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione ed ai fattori T_B , T_C , T_D che rappresentano i periodi che

separano i diversi rami dello spettro e dipendono anch'essi dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

Le prove realizzate hanno permesso, come detto in precedenza, di classificare i "suoli di fondazione" come appartenenti alla tipologia C.

Pertanto avremo per le componenti orizzontali:

$S = 1,15$
 $TB = 0,20 \text{ s}$
 $TC = 0,60 \text{ s}$
 $TD = 2,00 \text{ s}$

Per le componenti verticali avremo:

$S = 0,90$
 $TB = 0,05 \text{ s}$
 $TC = 0,15 \text{ s}$
 $TD = 1,00 \text{ s}$

8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Sulla scorta degli studi delle risultanze delle indagini geognostiche effettuate è stato possibile elaborare per l'area di progetto un modello geologico di riferimento, il quale tiene conto di tutte le informazioni acquisite durante il presente studio, che viene nel seguito sintetizzato:

Orizzonte A – DEPOSITI DI COPERTURA ATTUALI

da 0.00 m a 0.60 m Terreno vegetale (A1).

Orizzonte B – DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI

da 0.60 m a 1.50/2.00 m Sabbie limose con abbondanti concrezioni calcaree di precipitazione secondaria prive di consistenza di colore prevalentemente giallo-avana.

Orizzonte C – DEPOSITI DI TERRAZZO

da 1.50/2.00 a Sabbioni calcarenitici concrezionati costituiti da alternanze di livelli sabbiosi e livelli di arenarie organogene dello spessore variabile di colore prevalentemente giallo-ocra. Il deposito si presenta da mediamente a molto addensato.

La falda idrica superficiale si attesta ad una quota di circa 4,50 m dal p.c. e circola all'interno del deposito sabbioso-calcarenitico.

Ovviamente per quanto esposto nei precedenti paragrafi, la stessa è fortemente influenzata dal regime delle precipitazioni, pertanto il livello idrico può subire variazioni anche notevoli nel corso degli anni in funzione di annate particolarmente piovose e/o viceversa.

Sulla base del modello geologico di riferimento è possibile inoltre considerare i seguenti aspetti:

Categoria di sottosuolo (NTC18)	B
Categoria Topografica	T1
Rischio liquefazione dei terreni	Nullo
Rischio instabilità dei terreni	Situazione Stabile
Pericolosità geo-sismica del sito	Molto Bassa

In accordo con il modello geologico, sintetizzando le risultanze delle indagini geognostiche effettuate unitamente ai dati bibliografici in possesso dello scrivente, è stato elaborato il modello geotecnico dell'area in studio, il quale è formato dai seguenti livelli geotecnici:

Livello Geotecnico	Descrizione
LIVELLO 1)	TERRENO VEGETALE
LIVELLO 2)	LIMI SABBIOSI
LIVELLO 3)	SABBIE CALCARENITICHE E CALCARENITI

I valori delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati ricavati dall'elaborazione delle prove penetrometriche, dalla velocità delle onde sismiche oltre che da dati bibliografici in possesso dello scrivente riguardanti indagini pregresse su terreni simili a quelli in studio.

In particolare sono stati parametrizzati i livelli 2) e 3), i quali costituiscono il sedime di fondazione principale delle opere progettuali. Di seguito, viene esplicitata la parametrizzazione geotecnica dei singoli livelli precedentemente individuati.

LIMI SABBIOSI [Livello geotecnico 2]



CONDIZIONI DRENATE

	MIN	MAX	BEST FIT
γ (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	14.7	19.5	18.7
γ_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	---	---	16.3
γ_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	---	---	19.0
γ_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	25.1
ϕ' (°) Angolo di attrito di picco	25.9	33.5	27.0
ϕ'_{vc} (°) Angolo di attrito a volume costante	24.7	27.9	26.0
c' (kPa) Coesione efficace	---	---	9.0
C_u (kPa)	---	---	---
E_{25} * (Mpa) Modulo elastico	1.7	10.2	5.4
M (MPa) – Modulo confinato	3.5	13.2	6.5
GO (MPa) – Modulo di taglio	19.3	55.6	30.0

* Il modulo di Young si riferisce al 25% dello sforzo deviatorio.

CONDIZIONI NON DRENATE

	MIN	MAX	BEST FIT
γ (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	14.7	19.5	19.5
γ_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	--	---	16.3
γ_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	---	---	19.7
γ_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	25.1
ϕ' (°) Angolo di attrito di picco	---	---	---
ϕ'_{vc} (°) Angolo di attrito a volume costante	---	---	---
c' (kPa) Coesione efficace	---	---	---
C_u (kPa)	20.3	82.9	40.0
E_U (Mpa) Modulo elastico non drenato	0.3	1.5	0.80
M (MPa) – Modulo confinato	---	---	---
G_0 (MPa) – Modulo di taglio	---	---	---

SABBIONI CALCARENITICI CONCREZIONATI [Livello geotecnico 3]



CONDIZIONI DRENATE

	MIN	MAX	BEST FIT
γ (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	17.9	21.0	20.0
γ_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	16.8	18.0	17.0
γ_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	19.5	21.8	20.5
γ_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	24.0
ϕ' (°) Angolo di attrito di picco	33.0	47.0	33.0
ϕ'_{vc} (°) Angolo di attrito a volume costante	29.1	35.3	30.0
c' (kPa) Coesione efficace	0.0	0.0	0.0
C_u (kPa)	---	---	---
E_{25}^* (Mpa) Modulo elastico	11.0	41.5	23.0
M (MPa) – Modulo confinato	13.2	47.8	29.50
G_0 (MPa) – Modulo di taglio	69.8	179.4	130.0

9. CONCLUSIONI

Sulla base delle informazioni acquisite nel corso dell'indagine realizzata sono state verificate le condizioni geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area: gli studi sono stati estesi, dove l'accessibilità era consentita.

La stratificazione risulta essere omogena sia in senso orizzontale sia in senso verticale. Si ritiene che le caratteristiche stratigrafiche del sito siano compatibili con il progetto in essere.

Le opere di progetto andranno ad interessare essenzialmente i livelli geotecnici 2) e 3), di cui nel precedente paragrafo ne sono state descritte le caratteristiche litologie e geotecniche.

Dal punto di vista geotecnico i terreni in giacitura naturale che costituiscono il sedime di fondazione delle opere di futura progettazione, sono dotati di caratteristiche geotecniche da discrete a buone, il cui comportamento è da assimilare a materiali misti granulari per il livello 3), ed a materiali granulari/coesivi per il livello 2).

La profondità del piano di posa della fondazione e la tipologia deve essere scelta e giustificata in relazione alle caratteristiche e alle prestazioni della struttura in elevazione, alle caratteristiche del sottosuolo e alle condizioni ambientali.

A tal proposito per quanto concerne la tipologia di fondazioni, viste le caratteristiche tecniche dei terreni, la possibilità di utilizzare pali infissi per il supporto delle strutture fotovoltaiche, risulta in parte limitata dalla presenza di una bancata calcarenitica, la quale si rinviene in maniera continua su tutta l'area del parco in progetto, ad una profondità media di circa 2 m dal p.c.. A tal proposito, nel caso si voglia evitare di utilizzare fondazioni superficiali, tipo travi, bisognerà prevedere un pre-foro per l'allocatione dei pali di sostegno delle strutture e successiva cementazione dello stesso, o se a seguito di specifici test in situ risulti possibile, l'utilizzazione di strutture tipo viti.

La falda idrica superficiale si attesta ad una profondità di circa di circa 4,50 m dal p.c.. La falda profonda che circola all'interno del basamento calcareo si rinviene ad una profondità di circa 35,00 m dal p.c..

Dal punto di vista sismico è noto **come l'area in esame sia inseribile in un'area sismicamente poco attiva. La nuova legge in vigore (Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003) inserisce il Comune di Brindisi tra le zone di sismicità 4** per cui dovranno essere adottate particolari tecniche per la progettazione e la costruzione seguendo le indicazioni riportate nell'ordinanza stessa. Dal rilevamento e dalle conoscenze geologiche sui luoghi si evince che la localizzazione del sito esaminato non presenta particolari attinenze all'incremento sismico. **Le indagini eseguite hanno permesso di inserire il suolo di fondazione nella Categoria C** e quindi di restituire alcuni fattori da utilizzare nella progettazione e riportati all'interno della relazione.

Dall'analisi condotta, si ritiene irrilevante il rischio di liquefazione dei terreni a seguito di sollecitazioni sismiche.

Dall'analisi del PAI vigente, si evince che l'area interessata dalle principali opere in progetto (strutture fotovoltaiche e cabinati) è priva di vincoli PAI in merito alla pericolosità idraulica. Solo alcune opere accessorie (alcuni tratti di recinzione perimetrale e un breve tratto di strada interna) interferiscono con aree a pericolosità idraulica.

Per il dettaglio delle interferenze con il PAI, si rimanda alla relazione idrologica-idraulica. L'area non è peraltro interessata da alcun processo geomorfologico in atto e non vi è alcun segno che possa indicare l'instaurarsi di fenomeni di instabilità, pertanto si ritiene stabile e sicuro da un punto di vista geomorfologico.

Sulla scorta dello studio effettuato si ritiene nullo il rischio legato a cavità sotterranee.

Dall'indagine geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica condotta sull'area, e tenuto conto delle prescrizioni sopra descritte in fase progettuale, si ritiene che l'opera possa essere realizzata in condizioni di sicurezza geologica, idrogeologica ed idraulica.

10. APPENDICE ALLA RELAZIONE

In merito allo studio geologico, geotecnico e geomorfologico, lo stesso è stato redatto in conformità al DM 11/03/1988, punto H, e dai par. 6.2.1 e 6.2.2 del DM 17/01/2018 (NTC2018). [Rif. Elaborato AUR20_Relazione Geologica]

Lo studio è corredato da idonea campagna di indagini in sito, specificatamente eseguite per il progetto in oggetto le quali sono ubicate in apposito allegato cartografico allegato alla Relazione geologica [Rif. Elaborato: AUR20_Relazione Geologica_Tavola 2 - Carta Geologica e Geomorfologica] nonché all'interno del report delle indagini in sito [Rif. Elaborato: AUR20_Relazione Geologica_Allegato 1 - Report sulle Indagini in Sito].

Nello specifico sono state eseguite:

- N. 5 Prove penetrometriche DPSH
- N. 1 indagine sismica a rifrazione in onde P
- N. 1 indagine sismica MASW

Si ritiene che la campagna di indagini sia più che esaustiva per numero e per distribuzione in riferimento all'interazione terreno – struttura e tenendo presente che il sedime di fondazione è costituito da un'unica unità litologica e litotecnica.

Sono altresì state eseguite specifiche indagini sismiche [Rif. Par. 6.3.1 - AUR20_Relazione Geologica] per la determinazione delle Vseq.

In applicazione delle NTC 2018 per il sito in oggetto può essere omessa la verifica a liquefazione.

Lo studio dimostra inoltre la piena compatibilità progettuale con le condizioni geomorfologiche del territorio così come assertito dal geologo incaricato della redazione della relazione geologica.

Si ribadisce inoltre che, la realizzazione del progetto, in tutte le sue parti progettuali, non provoca alcun incremento della pericolosità idraulica né per le aree adiacenti né per l'area stessa. Dall'indagine geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica condotta sull'area, si ritiene che l'opera possa essere realizzata in condizioni di sicurezza geologica, idrogeologica ed idraulica.

Brindisi, Febbraio 2023

dott. Michele Ognibene geologo

Ordine dei Geologi della Regione Sicilia n. 3003 Sez.A

11. ALLEGATI

- BR_AS_AUR20_Relazione Geologica_Tavola 1 - Corografia su IGM
- BR_AS_AUR20_Relazione Geologica_Tavola 2 - Carta Geologica e Geomorfologica
- BR_AS_AUR20_Relazione Geologica_Tavola 3a - Sezione Stratigrafica generale
- BR_AS_AUR20_Relazione Geologica_Tavola 3b - Sezioni stratigrafiche di dettaglio
- BR_AS_AUR20_Relazione Geologica_ALL.1 - REPORT SULLE INDAGINI IN SITO

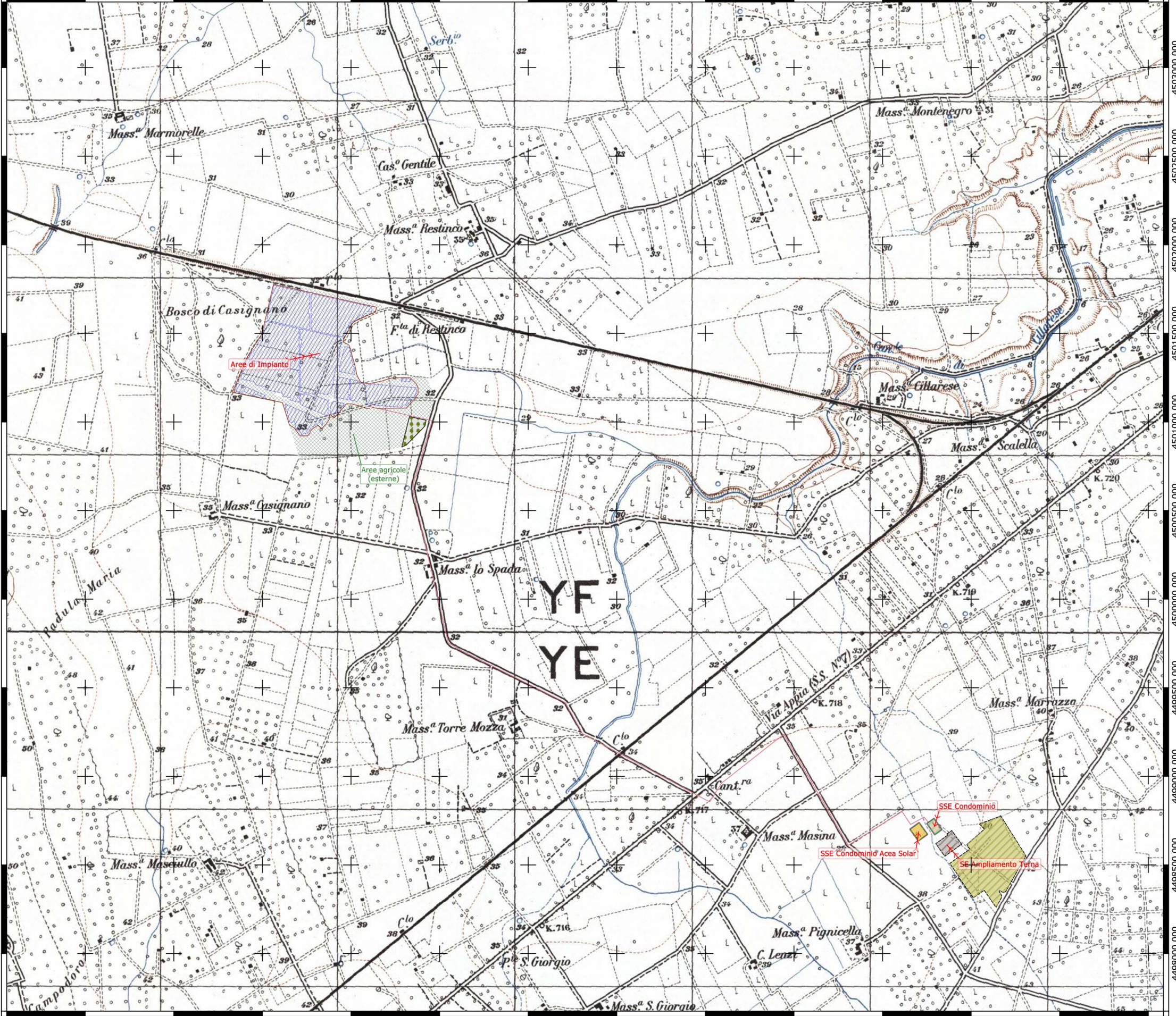
740500.000 741000.000 741500.000 742000.000 742500.000 743000.000 743500.000 744000.000 744500.000 745000.000 745500.000 746000.000 746500.000

4503000.000
4502500.000
4502000.000
4501500.000
4501000.000
4500500.000
4500000.000
4499500.000
4499000.000
4498500.000
4498000.000

TAVOLA 1 - COROGRAFIA IGM

LEGENDA:

- Confini di Impianto
- Recinzione di Impianto
- Siepe di mitigazione
- Aree agricole di impianto
 - Area olivata esistente
 - Aree agricole
- Area di Installazione
 - Aree di Installazione
 - SSE Condominio Acea Solar
 - SSE Condominio
 - SE Ampliamento Terna
 - S.E. Brindisi Pignicelle



Coordinate di rif.:
WGS84/UTM 33N
EPSG: 32633

740500.000 741000.000 741500.000 742000.000 742500.000 743000.000 743500.000 744000.000 744500.000 745000.000 745500.000 746000.000 746500.000

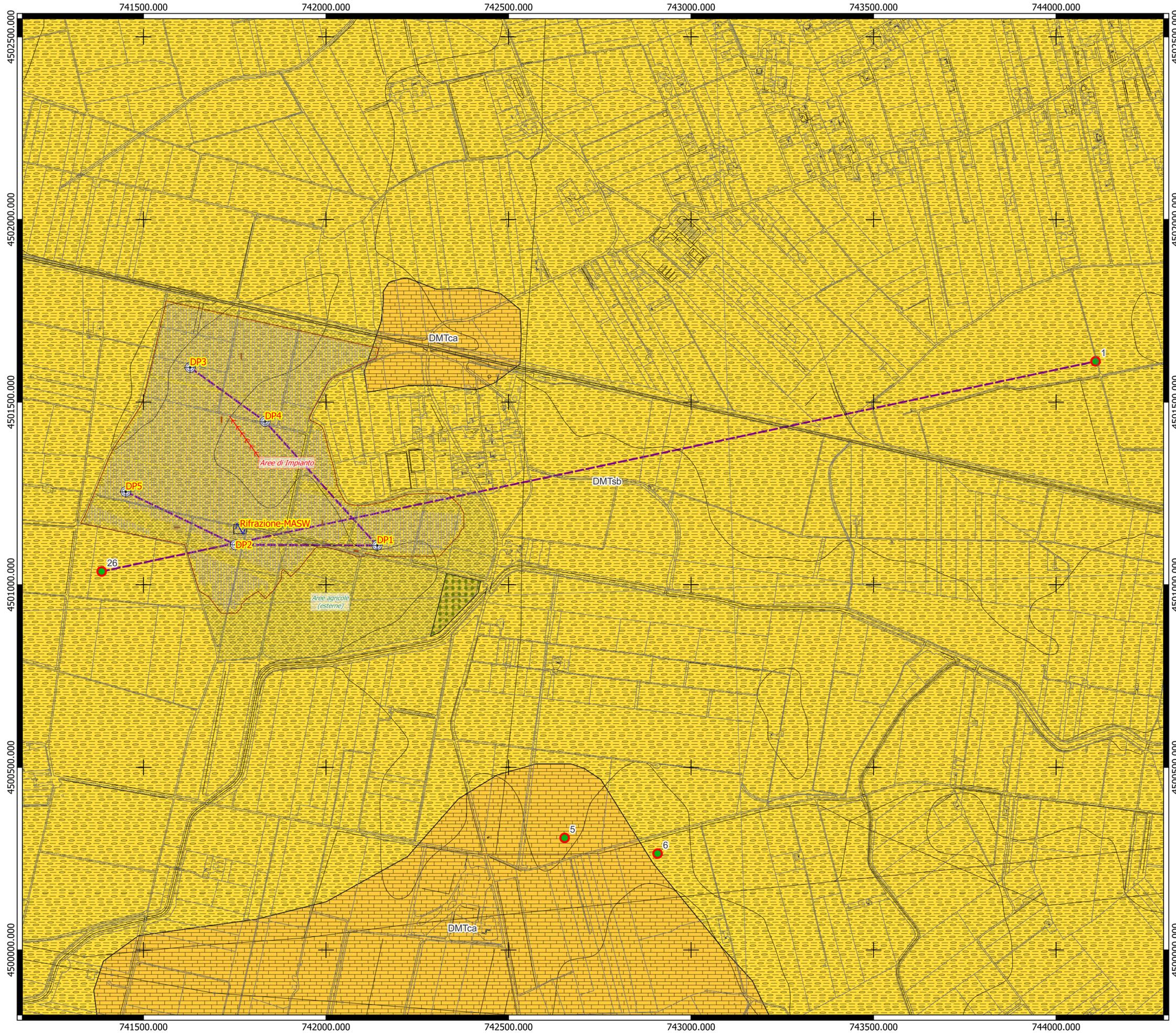
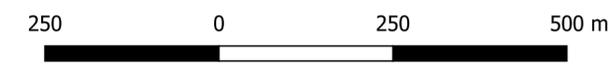


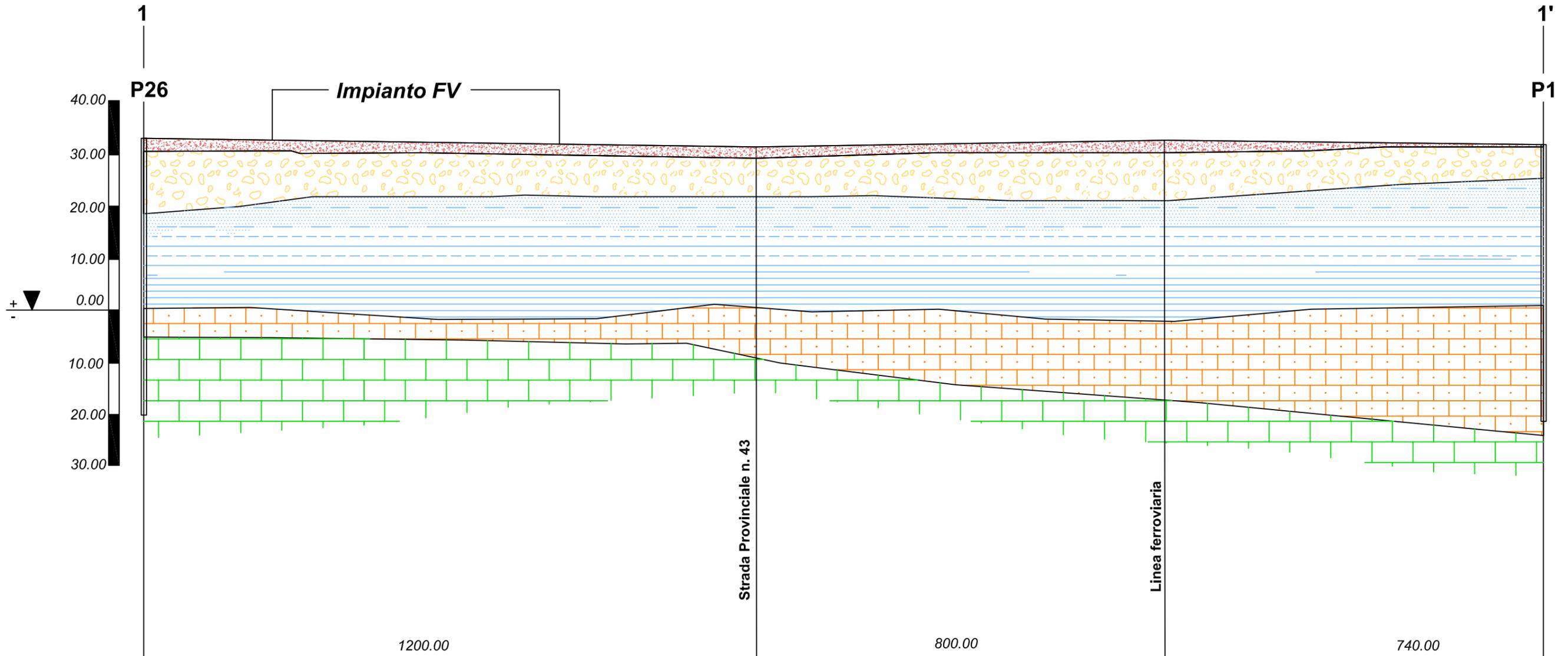
TAVOLA 2 - CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

- LEGENDA:**
- Confini di Impianto
 - Recinzione di Impianto
 - Siepe di mitigazione
 - Aree agricole di impianto
 - ▣ Area olivata esistente
 - ▣ Aree agricole
 - Area di Installazione
 - ▣ tracker FV
 - ▣ Strade 'bianche' di impianto
 - ▣ Cabine di impianto
 - Indagini In Sito
 - ▣ Indagini simsiche a rifrazione - MASW
 - ⊕ Prove Pentrometriche DPSH
 - Pozzi Ente Irrigazione
 - Traccia di Sezione
 - Litologia del Substrato
 - ▣ Complesso dei Depositi Marini Terrazzati: Sabbie calcaree con intercalazioni limose
 - ▣ Complesso dei Depositi Marini Terrazzati: Facies calcarenitica



Coordinate di rif.:
 WGS84/UTM 33N
 EPSG: 32633

TAVOLA 3a - SEZIONE STRATIGRAFICA GENERALE



LEGENDA:

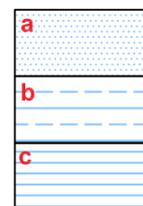
P26, P1: Pozzi ente irrigazione



Terreno vegetale



Depositi Marini Terrazzati [DT]:
Calcareniti giallastre a grana grossa ben cementate con intercalati livelli sabbiosi.



Argille Subappennine [SB_AS]:
Sabbie limose (a), passanti a limi argillosi e srgille sabbiose (b), che con la profondità passano ad argille grigio-azzurre propriamente dette (c).



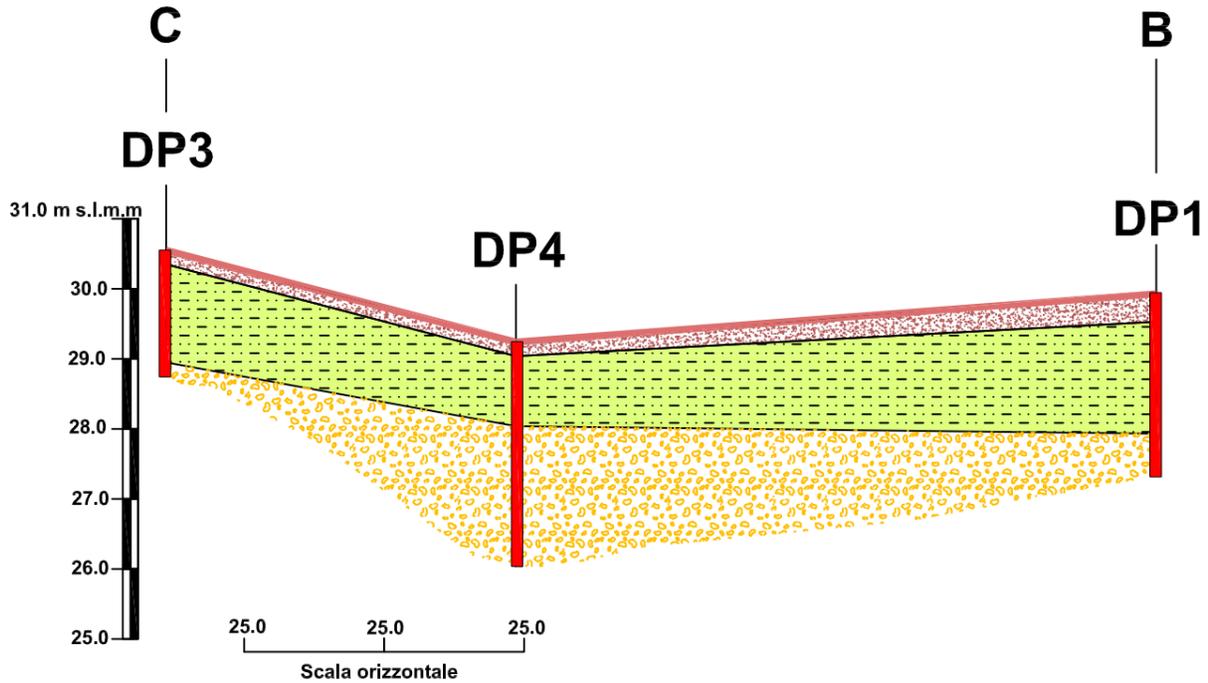
Calcareniti di Gravina [CG]:
Calcareniti a grana grossa di colore giallastro e ben diagenizzata.



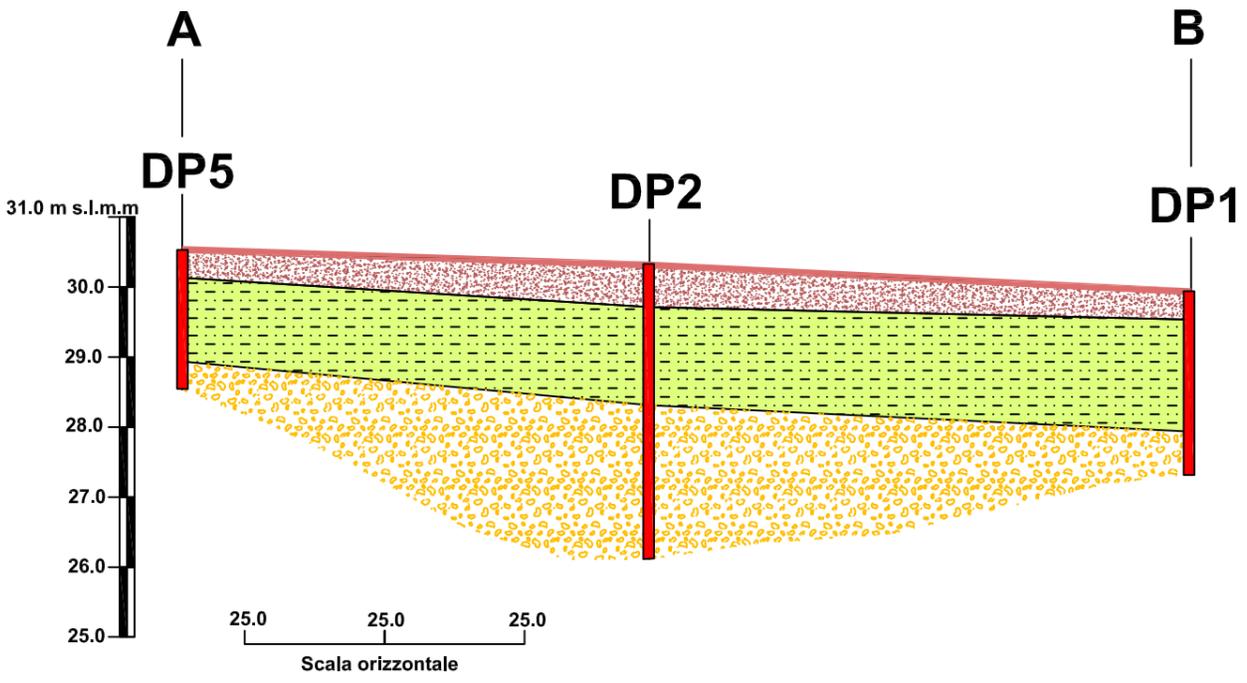
Calcari di Altamura [CA]:
Calcari e calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci.

TAVOLA 3b - SEZIONI STRATIGRAFICHE DI DETTAGLIO

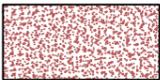
SEZIONE STRATIGRAFICA C-B



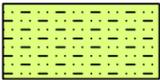
SEZIONE STRATIGRAFICA A-B



LEGENDA:



Terreno vegetale limo-sabbioso inconsistente



Sabbie limose e limi sabbiosi



Calcareniti tenaci e sabbie calcarenitiche

DPn



Prova Penetrometrica dinamica DPSH