

IMPIANTO AGROVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE DENOMINATO IMPIANTO "SPOT26" DI POTENZA NOMINALE PARI A 10,55 MW, DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI GUAGNANO (BR)

CONNESSIONE ALLA RTN TRAMITE REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CABINA DI CONSEGNA COLLEGATA IN ANTENNA DALLA FUTURA CABINA PRIMARIA AT/MT "CELLINO"

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU 2V7IYQ2

Tav.:

Titolo:

01

Relazione geologica e modellazione sismica

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

-

A4

2V7IYQ2_RelazioneGeologica_01

Progettazione:

Committente:



Dott. Ing. Fabio CALCARELLA

Via B. Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. +39 340 9243575
fabio.calcarella@gmail.com
Pec: fabio.calcarella@ingpec.eu

HEPV07 S.r.l.

Via Alto Adige, 160 - 38121 Trento
tel +39 0461 1732700 - fax +39 0461 1732799
e.mail: info@heliopolis.eu - pec: hepv07srl@pec.it

Dott. Geol. Gianluca SELLERI
Via Francesco Lo RE, 6
73100 - LECCE
Tel: +39 3929534082
E-mail: geologogianlucaselleri@gmail.com



Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Marzo 2022	Prima emissione	STC	FC	HEPV07 S.r.l.



Sommario

1. Premessa.....	2
2. Ubicazione e descrizione del sito	2
3. Caratteri geomorfologici e geologicostratigrafici	5
4. Idrogeologia.....	9
4.1. <i>Caratteri generali</i>	9
4.2. <i>Tipo e grado di permeabilità delle rocce affioranti</i>	10
4.3. <i>Assetto idrostrutturale e caratteri idrogeologici locali</i>	11
5. Vulnerabilità della falda profonda	13
6. Dinamica ambientale e pericolosità geologica	14
7. Caratteri litotecnici e tipo di suolo	15
8. Modello Geologico	19
9. ALLEGATI	21
Allegato 1 – Indagine MASW	21
<i>Analisi spettrale</i>	21

1. Premessa

La presente Relazione Geologica costituisce lo studio geologico a supporto dell'intervento di realizzazione dell'impianto fotovoltaico denominato "SPOT 26", da realizzarsi nel Comune di Guagnano (LE), suddiviso in due aree:

Area A: sui terreni identificati in Catasto al foglio 8, p.lle 476-477-478-479-480-481.

Area B: sui terreni identificati in Catasto al foglio 7, p.lle 459-462-466-467-468-469.

Lo studio geologico è stato sviluppato con l'esecuzione di un accurato rilevamento geologico, geomorfologico e topografico dell'area ed attraverso indagini in situ.

Il complesso dei dati e delle informazioni raccolte attraverso le attività svolte ha permesso di:

- definire l'assetto geologico-stratigrafico, strutturale e geomorfologico del territorio di interesse;
- definire l'assetto dei corpi idrici sotterranei;
- definire la dinamica geomorfologia del sito e l'eventuale pericolosità geologica (in particolare idraulica e geomorfologica);
- ricostruire i caratteri litologici e geologico-tecnici dei terreni affioranti.

E' stato costruito quindi un modello geologico e geotecnico dei siti di progetto. Il quadro normativo di riferimento sulla base del quale sono state articolate e svolte le attività che compongono lo studio geologico ed è stata redatta la presente *Relazione Geologica* è rappresentato essenzialmente da:

- D.M. 11/3/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce; la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- NTC 2018.

2. Ubicazione e descrizione del sito

L'area studiata ricade a cavallo delle sezioni 495153 – 495152 – 495164 e 495151 della CTR in scala 1:10.000 (Fig. 2.1) e si trova tra gli abitati di *Guagnano* e *San Donaci* in piena campagna.

Ricade nel bacino idrografico del reticolo endoreico che insiste intorno alla "*Palude Balsamo*" composto da varie linee di impluvio. Questa rete idrografica endoreica ha basso ordine di gerarchizzazione e si compone di corsi d'acqua a carattere occasionale.

La quota topografica è di 38 – 40 m s.l.m. Il sito di intervento è praticamente spoglio di vegetazione essendo attualmente destinato a seminativo.

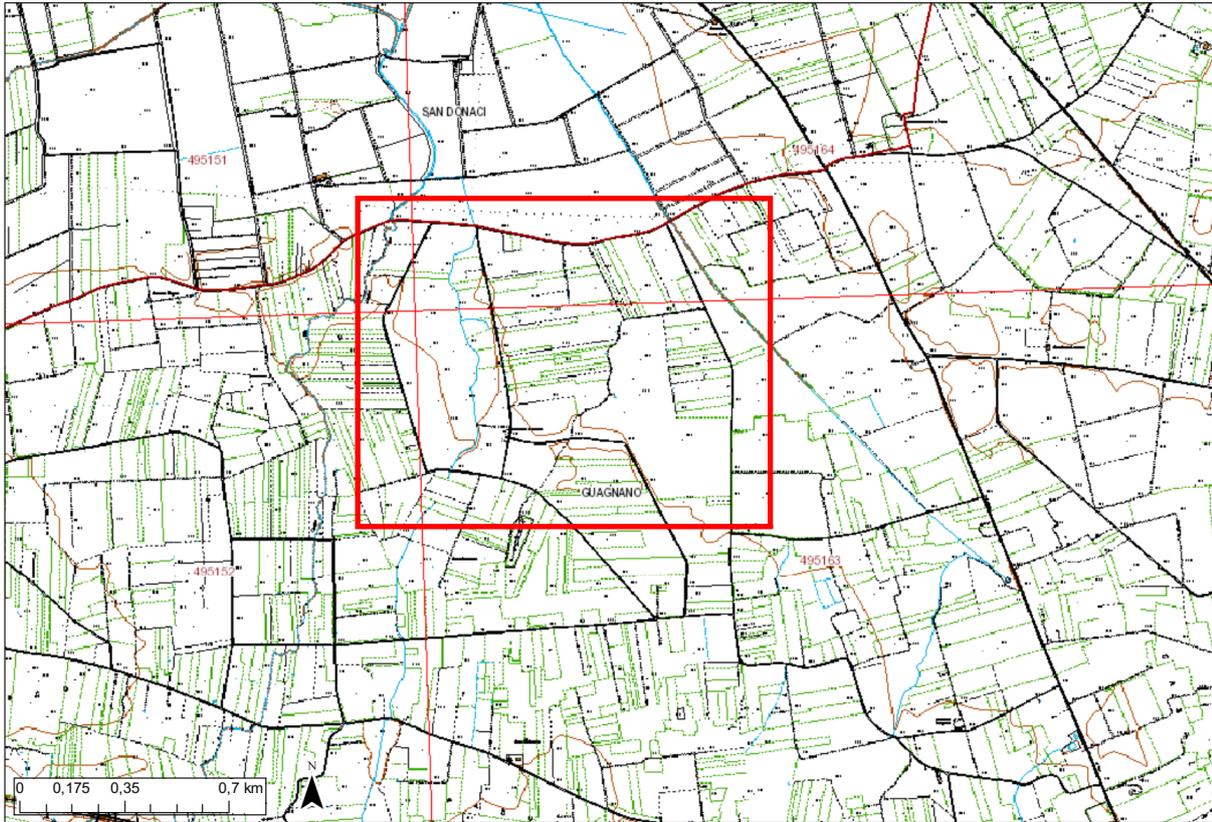


Fig. 2.1 – Stralcio della CTR su Ortofoto Puglia 2006

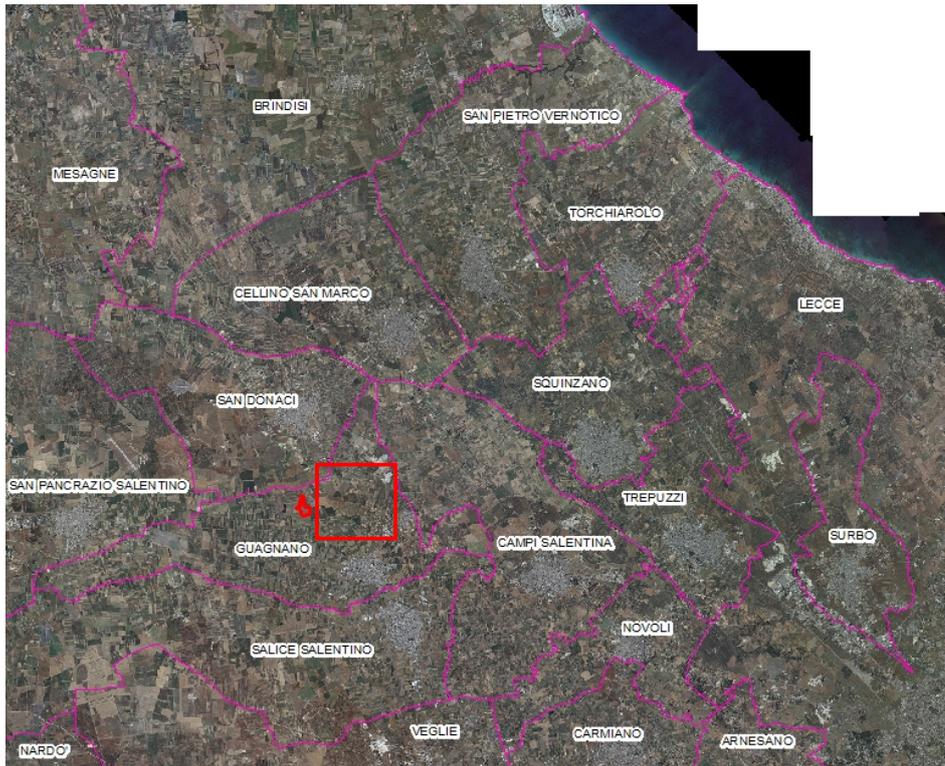


Fig. 2.2 – Stralcio ortofoto Google Hearth



Fig. 2.3 – Perimetro di impianto

3. Caratteri geomorfologici e geologicostratigrafici

Il sito di intervento ricade in un settore di territorio salentino posto a margine della unità fisiografica nota in letteratura geologica come “*Piana Brindisina*” o “*Piana Brindisino – Lecce*”.

La “*Piana Brindisina*” è la parte più settentrionale della penisola salentina, corrispondente strutturalmente al Bacino di Brindisi che suddivide l'esteso affioramento del substrato carbonatico Cretaceo delle Murge dai meno rilevati ed estesi affioramenti del Salento centrale e meridionale (per es. Funicello et al., 1991; Tozzi, 1993; Gambini & Tozzi, 1996). La Piana brindisina è una superficie terrazzata degradata di età medio-pleistocenica attraversata da una fitta rete idrografica attiva, poco gerarchizzata.

In questo settore la locale successione stratigrafica è rappresentata dal basso verso l'alto dalle seguenti unità (Fig. 3.1 e Fig. 3.2):

- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore) (sensu Ciaranfi et alii, 1988)
- Calcareniti di Gravina (Pleistocene inferiore) (sensu Ciaranfi et alii, 1988)
- Depositi marini terrazzati (Pleistocene medio e superiore) (sensu Ciaranfi et alii, 1988)
- Depositi alluvionali (Pleistocene superiore)

I terreni riferibili alla Formazione del Calcarea di Altamura affiorano in piccoli lembi a Est dell'abitato di *Villa Baldassarri* ma si rinvengono costantemente nel sottosuolo, ricoperti in trasgressione dalle unità più recenti.

La formazione è rappresentata nei limiti del territorio salentino da una successione irregolare e ben stratificata di calcari micritici di colore bianco, di norma con strutture a lamine organiche (*stromatoliti*) e sedimentarie, di calcari dolomitici e dolomie calcaree di colore grigiastro e subordinatamente di dolomie di colore nocciola o anche nerastro. Tale successione è esposta per alcune centinaia di metri ma di fatto è notevolmente più potente rappresentando la parte alta della successione carbonatica giurassico – cretacea che costituisce l'ossatura del substrato geologico regionale.

In seno alla successione, localmente, sono presenti dei sottili livelli di argille residuali e di brecce che marcano delle superfici di emersione ed erosione più o meno estese.

Gli strati hanno una potenza compresa tra il decimetro ed il metro. I macrofossili sono rari; l'associazione microfossilifera è invece abbondante e rappresentata da prevalenti foraminiferi bentonici (*Accordiella conica*, *Murciella cuvillieri*, *Moncharmonia apenninica*, *Raadshowenia selentina*, *Raphydionina liburnica*), ostracodi e ofthalmidi. Questa associazione fossilifera e l'assenza di detrito grossolano suggeriscono un ambiente di sedimentazione di bassa energia

di piana intertidale con associate paludi algali (piattaforma carbonatica interna). Sulla base del contenuto paleontologico la successione può essere riferita al Campaniano (Bosellini& Parente, 1994). Il limite inferiore della unità non affiora; il limite superiore è inconforme, discordante con le unità più recenti.

L'unità sopra descritta corrisponde in parte al Calcare di Melissano di Bosellini& Parente (1994). Non esiste piena corrispondenza inoltre anche tra la denominazione utilizzata in questo lavoro e quella di Calcare di Melissano proposta da Martinis (1969) e ripresa dagli autori della Carta Geologica d'Italia, con la quale è indicata la porzione prevalentemente calcarea della successione carbonatica giurassico – cretacea affiorante sul territorio salentino. I terreni riferibili alla Calcarenite di Gravina sono interposti tra i calcari cretacei ed i Depositi marini terrazzati ed affiorano in lembi più o meno estesi al di fuori dei limiti dell'area rilevata. L'unità è localmente rappresentata da calcari detritico-organogeni di colore bianco o giallastro, di granulometria variabile da arenitica grossolana a siltitica, porosi, variamente cementati e a luoghi fossiliferi, cui si intercalano lenti e strati di sabbie siltose calcareo-marnose giallastre con abbondanti noduli diagenetici. Il contenuto macrofossilifero è abbondante e contraddistinto dalla presenza dei così detti "ospiti nordici" che ne permettono la chiara attribuzione, almeno nei limiti del territorio salentino, al Pleistocene inferiore. Nei limiti del settore rilevato la potenza massima di questa unità non è superiore a 15 -20 m.

La denominazione di Calcarenite di Gravina, almeno nei limiti della penisola salentina corrisponde alla Calcarenite del Salento di Bossio et alii, 1987. Anche sulla Carta Geologica d'Italia è usata la denominazione di Calcarenite del Salento ma con riferimenti cronologici al Quaternario, al Calabriano e anche al Pliocene; tale denominazione, tuttavia, almeno nel suo significato originale non ha più ragione di essere utilizzata.

I litotipi riferibili ai Depositi marini terrazzati affiorano con continuità in corrispondenza della piana brindisina. Si tratta di un complesso di più unità litostratigrafiche messo in posto successivamente al ciclo trasgressivo regressivo della Fossa Bradanica (cui si riferiscono le sottostanti Calcareniti di Gravina). La successione è rappresentata in basso da argille limose sabbiose di colore grigiastro (per anni confuse con le Argille subappennine) su cui poggiano limi sabbiosi o sabbie limose carbonatico terrigene cui si intercalano livelli calcarenitici e vere e proprie arenarie a cemento calcareo. La potenza complessiva della successione è pari a 20 m.

La parte estesamente affiorante è quella alta, limoso sabbiosa. La frazione grossolana di tale corpo è rappresentata dalla associazione quarzo e mica bianca; la frazione carbonatica è



costituita invece quasi esclusivamente da resti e gusci interi di ostreidi e di foraminiferi. Il contenuto paleontologico si caratterizza per la presenza di una fauna scarsa e poco differenziata. La sedimentazione è avvenuta probabilmente in un mare poco profondo ma comunque al di sotto della wave base. Sulla Carta geologica d'Italia i Depositi marini terrazzati sono indicati sia come Formazione di Gallipoli che come Calcarenite del Salento ed attribuiti genericamente al Quaternario o al Calabriano. Tale suddivisione, nel quadro delle relativamente recenti nuove acquisizioni sulla stratigrafia della penisola salentina, non hanno più ragione di essere utilizzate quantomeno con il loro significato originale.

I Depositi marini terrazzati possono essere ricoperti, soprattutto in corrispondenza delle zone depresse da modesti spessori di depositi palustri e alluvionali.

I terreni più recenti presenti nel settore in cui ricadono i siti di progetto sono rappresentati da alluvioni fini, limoso sabbiose. Le aree di affioramento coincidono con le depressioni endoreiche dove si raccolgono le acque di pioggia. Lo spessore di questi terreni è contenuto in pochi metri

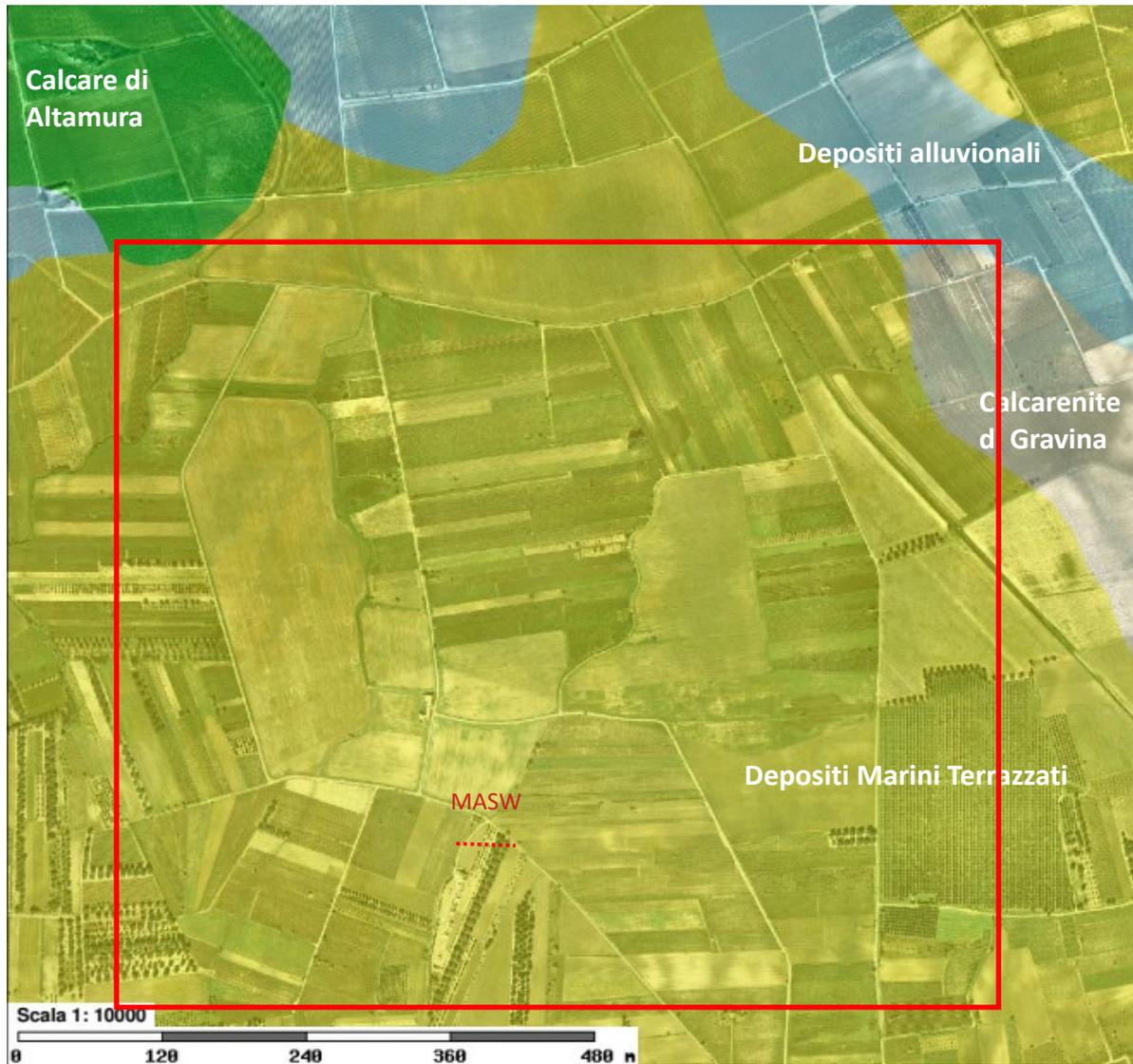


Fig. 3.1 - Carta geologica del settore in cui ricadono i siti di intervento

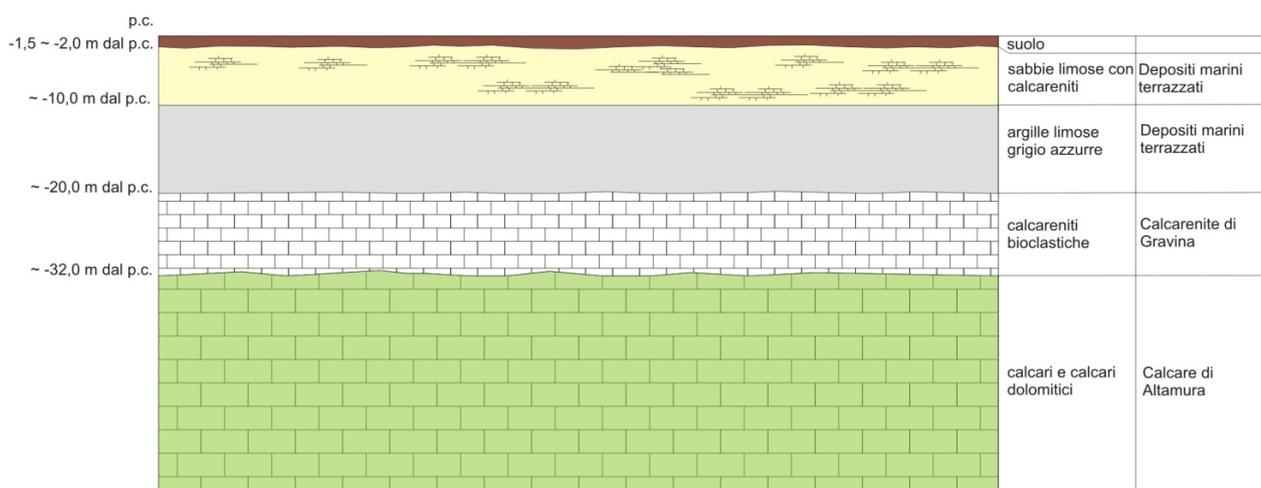


Fig. 3.2 – Sezione geologica schematica del settore in cui ricadono i siti di intervento

Nell'area di interesse il substrato carbonatico ha un assetto tabulare, complicato da modeste strutture plicative e da più sviluppate strutture disgiuntive che interessano anche le Calcarenite di Gravina.

4. Idrogeologia

4.1. Caratteri generali

Gli studi e le ricerche di numerosi ricercatori, confermati dai risultati delle perforazioni dei pozzi per acqua effettuate su tutto il territorio pugliese da privati e da enti pubblici (Consorti di Bonifica, Ente Irrigazione di Puglia e Basilicata, ecc.), hanno dimostrato l'esistenza di una potente falda di acqua dolce circolante nel basamento carbonatico-mesozoico, fratturato e carsificato, detta falda di base o profonda. Questa falda nella porzione peninsulare della Puglia ha una tipica forma a lente biconvessa e galleggia sulle acque più dense di intrusione marina che stabiliscono un collegamento idraulico sotterraneo tra il Mare Adriatico e il Mare Ionio. L'equilibrio dinamico tra acque salate ed acque dolci si può esprimere matematicamente con la relazione di Ghyben-Herzberg, purtroppo inapplicabile nelle zone costiere. Sia nell'entroterra che lungo costa, la separazione tra l'acqua dolce e l'acqua salata non è netta, ma avviene attraverso una zona di transizione con salinità crescente rapidamente con la profondità. La potenza di questa zona dipende dal carico piezometrico ed è dell'ordine di diverse decine di metri nelle parti più interne; lungo costa la zona di transizione si riduce

notevolmente, conservando tuttavia spessori anche di alcune decine di metri pur in presenza di carichi piezometrici di pochi decimetri.

La circolazione delle acque si esplica essenzialmente a pelo libero e subordinatamente in pressione laddove i calcari risultano impermeabili perché per nulla fratturati o dove i terreni neogenici che ricoprono il substrato mesozoico si spingono fino a quote inferiori al livello del mare. In alcune aree il ribassamento di tali unità è così notevole che la falda di acqua dolce è completamente sostituita da acqua marina. Nel settore rilevato la falda si trova frequentemente in pressione dato che la parte stratigraficamente più alta dei calcari cretacei è sovente non carsificata e non fratturata e quindi impermeabile. Tale circostanza, riscontrata al momento della perforazione del pozzo di che trattasi, è stata documentata dallo scrivente anche nel corso di altre indagini svolte nell'ambito di precedenti incarichi professionali.

La falda profonda è alimentata dalle acque di pioggia ricadenti sugli affioramenti delle rocce carbonatiche e dai deflussi sotterranei dovuti alle perdite degli acquiferi superficiali. Le acque della falda profonda si sversano nel Mar Ionio e nel Mar Adriatico in virtù di un gradiente idraulico diretto dall'interno verso la costa.

Al di sopra della falda profonda sono presenti delle falde superficiali contenute di norma nei depositi sabbiosi e sabbioso-argillosi del Pleistocene medio - superiore. Le caratteristiche di queste falde sono ancora poco conosciute.

4.2. Tipo e grado di permeabilità delle rocce affioranti

Ai fini della ricerca in corso particolare attenzione merita la definizione del tipo di permeabilità delle rocce affioranti e del coefficiente di permeabilità (K).

La permeabilità è la proprietà delle rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua per effetto di un carico idraulico in condizioni normali di temperatura e pressione. In letteratura si distinguono tradizionalmente i seguenti tipi di permeabilità:

- per porosità,
- per fessurazione,
- per carsismo.

Quest'ultimo tipo viene considerato da diversi autori derivazione diretta del secondo. I tipi fondamentali di permeabilità sussistono spesso in associazione. I mezzi rocciosi in cui prevalgono il secondo ed il terzo tipo sono detti permeabili in grande, mentre quelli permeabili per porosità sono detti permeabili in piccolo.

Il coefficiente di permeabilità (K) è la costante di proporzionalità che lega la velocità di filtrazione al gradiente idraulico nella Legge di Darcy. K si determina in laboratorio o meglio in situ per le terre ed esclusivamente in situ per le rocce litoidi attraverso la realizzazione di pozzi o pozzetti superficiali.

Sulla base di queste indicazioni e dei caratteri delle diverse unità affioranti nell'area di studio si può affermare che le rocce del Cretaceo rappresentano una unità permeabile esclusivamente per fessurazione e per carsismo.

La Calcarenite di Gravina è invece generalmente permeabile sia per porosità che per fessurazione e carsismo, tuttavia, essendo essa caratterizzata da una elevata eterogeneità, può presentarsi anche come un mezzo poco permeabile o anche impermeabile. Tale carattere è stato riscontrato proprio nel settore di interesse. Le unità più recenti, rappresentate da sabbie e limi, sono permeabili esclusivamente per porosità; i terreni argillosi ascrivibili alla parte stratigraficamente più bassa dei Depositi marini terrazzati sono ovviamente impermeabili.

Alla successione cretacea, stratificata e fratturata può essere attribuito un valore medio di K pari a 10^{-3} m/s (o anche inferiore per la parte satura). La permeabilità dei calcari nel primo sottosuolo, tuttavia, può essere anche inferiore al valore sopra riportato per la presenza nelle soluzioni di continuità di materiali residuali fini, generalmente poco permeabili o anche impermeabili.

Le Calcareniti di Gravina, rappresentano una successione alquanto eterogenea per quanto riguarda il tipo ed il grado di permeabilità. Ai Depositi marini terrazzati in ultimo si può attribuire un valore di K relativamente modesto, anche inferiore a 10^{-6} m/s nella parte bassa, rappresentata da marne e argille, che risulta difatti impermeabile.

4.3. Assetto idrostrutturale e caratteri idrogeologici locali

I caratteri di permeabilità delle rocce affioranti permettono l'esistenza nel territorio studiato di due acquiferi sovrapposti, uno profondo ed uno superficiale, separati da un acquicludo/aquitardo (Fig. 4), nel presente lavoro denominati rispettivamente:

- acquifero calcareo: corrisponde alla successione carbonatica del Cretaceo. È permeabile prevalentemente per fessurazione e carsismo. In genere è molto permeabile ed ospita la falda di base; localmente in profondità può essere caratterizzato dalla presenza di volumi impermeabili;

- acquifero sabbioso: corrisponde alla parte sabbiosa e limosa dei Depositi marini terrazzati. È permeabile esclusivamente per porosità; ospita una falda superficiale sulla quale si hanno scarsi dati in letteratura scientifica.

I due acquiferi sono separati da un acquiclude rappresentato dai terreni argillosi ascrivibili alla parte stratigraficamente più bassa dei Depositi marini terrazzati.

Dal PTA della Regione Puglia si evince che in corrispondenza del sito di interesse il carico piezometrico della falda contenuta nell'acquifero profondo è pari a circa 3 m. Tale dato è confermato dalla quota del livello statico rilevata durante la perforazione del pozzo di che trattasi. Noto tale valore, utilizzando la relazione di Ghiben – Herberg per la quale è dimostrato che:

$$h = df / (dm - df) * t$$

dove:

- h è la profondità dell'interfaccia acqua dolce - acqua salata dal livello del mare;
- **dm** è la densità dell'acqua del mare pari a 1,028 g/cmc;
- **df** è la densità delle acque dolci di falda pari a 1,0028 g/cmc;
- **t** è la quota piezometrica pari in questo settore a 3 metri.

è possibile calcolare lo spessore della falda.

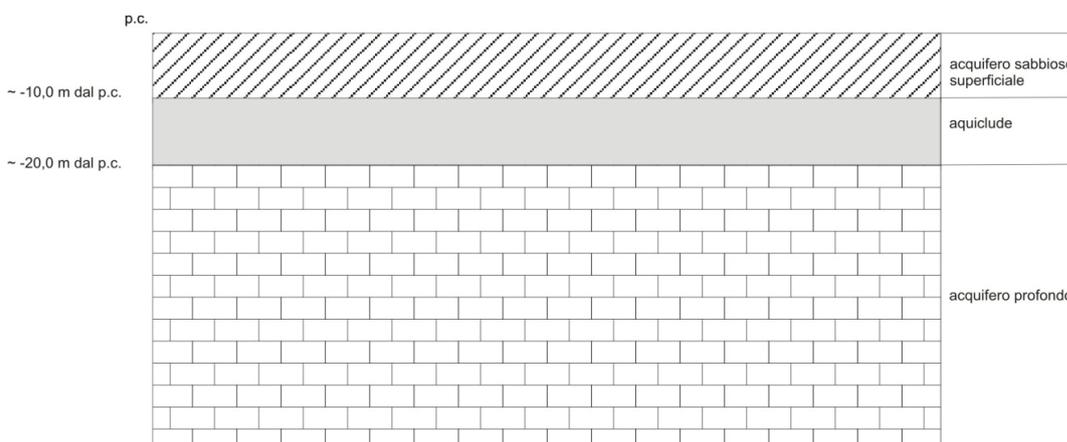


Fig. 4.1 – Sezione idrogeologica schematica

Semplificando la relazione si ricava che il valore cercato corrisponde a circa 40 volte t e quindi è pari a circa 120 m. Sempre dal PTA si ricava che il sito di interesse è posto a margine di un

alto idrogeologico allungato da NW a SE e che l'andamento delle isopieze è circa parallelo alla costa pertanto il deflusso avviene grossomodo da E a W (Fig. 4.2). Il contenuto salino delle acque di falda nell'area di interesse è di poco superiore a 0,7 g/l.



Fig. 4.2 – Isopiezies della falda profonda (dal PTA)

La falda superficiale ha uno spessore di pochi metri e si rinviene in modo discontinuo nel settore di interesse. Dove presente la sua superficie freatica si attesta a pochi metri dal p.c.. Sulla base dei dati raccolti, localmente, la superficie piezometrica dovrebbe rinvenirsi a circa 3 m dal p.c.; verso di deflusso è da SW a NE.

5. Vulnerabilità della falda profonda

Per vulnerabilità si intende la facilità o meno con cui le sostanze inquinanti possono introdursi, propagarsi e persistere in un acquifero. La vulnerabilità di un acquifero dipende da numerosi fattori che possono essere distinti in due gruppi, fattori naturali e fattori indotti.

Tra i fattori naturali il più determinante è rappresentato dalla litologia e dalle conseguenti caratteristiche idrogeologiche con particolare riferimento alla permeabilità e alla velocità di deflusso delle acque. L'infiltrazione di un inquinante nel sottosuolo ad opera delle acque

superficiali avviene essenzialmente per gravità ed è direttamente connessa alla permeabilità dei litotipi attraversati. Un inquinante può arrivare in falda attraverso le discontinuità presenti in seno all'ammasso roccioso, attraverso meati e cavità carsiche nel caso di rocce carsificate, attraverso gli spazi intergranulari intercomunicanti nel caso di rocce porose.

Un altro fattore importante è rappresentato dallo spessore della zona di aerazione che rappresenta il mezzo che un inquinante deve attraversare prima di arrivare alla falda. La presenza di un corpo poco permeabile o impermeabile rappresenta un importante elemento per la protezione della falda. Un altro importante fattore è rappresentato dalla morfologia della superficie topografica che può favorire una infiltrazione concentrata.

I fattori non connessi alla dinamica naturale sono quelli innescati direttamente o indirettamente dalla attività umana. La contaminazione delle acque può avvenire, infatti, a causa di scarichi industriali, scarichi di reflui urbani, di acque di altra provenienza, per la presenza di discariche ed accumuli di rifiuti ed infine anche in seguito ad emungimento incontrollato (salsificazione). Sono fonte di inquinamento anche i prodotti largamente utilizzati in agricoltura e dispersi sul suolo o sulle piante (pesticidi, diserbanti, fertilizzanti, ecc.).

La definizione della vulnerabilità degli acquiferi necessita della conoscenza puntuale degli aspetti sopra ricordati e dei fenomeni connessi alla interazione di un inquinante con l'acquifero. Da un punto di vista qualitativo, nei limiti dell'area di interesse è possibile affermare che, poiché la successione carbonatica cretaceo – pleistocenica è costantemente ricoperta dai Depositi marini terrazzati, la vulnerabilità della falda profonda è relativamente bassa. Tale carattere è stato rilevato anche nel PTA della Regione Puglia dove il settore di interesse è classificato a vulnerabilità "bassa". Il pericolo maggiore a cui è esposta la falda profonda in tale settore è la salsificazione.

6. Dinamica ambientale e pericolosità geologica

La dinamica geomorfologica in atto nel settore in cui ricadono i due siti di progetto è connessa principalmente all'azione delle acque incanalate. Tale area, infatti, come già scritto, ricade nel bacino idrografico endoreico della Palude Balsamo; questo è un territorio attraversato da una rete idrografica a basso ordine di gerarchizzazione che si compone di numerosi corsi d'acqua a carattere occasionale. La geometria di questa rete idrografica è pienamente descritta dalla Carta Idrogeomorfologica redatta dall'ex AdB della Puglia (Tavola 1). Da tale elaborato si evince che entrambi i siti di progetto sono interessati dalla presenza di alcune linee di impluvio

(dalla stessa cartografia si evince anche che non sono presenti altre emergenze geomorfologiche in corrispondenza dei siti).

In questo settore l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia ha riconosciuto anche diverse aree a pericolosità idraulica alta, media e bassa. Esse sono comunque tutte esterne ai siti di interesse; purtroppo, la presenza delle linee di impluvio classificate sulla Carta Idrogeomorfologica come "corso d'acqua episodico" assoggetta le aree di intervento alle prescrizioni dell'Art. 6 delle NTA del PAI. E' stato redatto pertanto uno Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica dal quale emerge che le porzioni delle particelle di progetto realmente interessate dalle opere previste sono esterne alle aree a pericolosità idraulica determinate dalle esondazioni dei corsi d'acqua.

7. Caratteri litotecnici e tipo di suolo

Per la caratterizzazione geologico-technica dei terreni presenti in corrispondenza del sito di progetto sono stati utilizzati vari sondaggi diretti ed indiretti realizzati dallo scrivente in aree limitrofe a quella di intervento ed è stata eseguita una indagine MASW (vedi Fig. 2.1).

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine geofisica non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

Il metodo sfrutta le onde superficiali di Rayleigh; queste vengono registrate durante la loro propagazione lungo lo stendimento di geofoni e sono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La teoria del metodo parte dalla considerazione che nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere sfruttata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali ed in particolare per la costruzione di un profilo verticale di velocità delle

onde di taglio (Vs). Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare una proprietà critica per molti studi geotecnici: la rigidità superficiale.

L'intero processo di indagine comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (groundroll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza), l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore mentre l'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione tuttavia è necessario conoscere per i vari strati che costituiscono il sottosuolo indagato i valori approssimati del rapporto di Poisson e della densità.

Dal sondaggio MASW è stato ottenuto il seguente modello di sottosuolo:

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.14	1.14	1600.0	0.4	709.8	341.0
2	2.20	1.06	1600.0	0.3	930.7	458.3
3	3.26	1.06	1800.0	0.3	1337.1	673.5
4	3.76	0.50	1800.0	0.3	1160.9	571.6
5	4.76	1.00	1800.0	0.3	1196.5	602.7
6	5.81	1.05	1800.0	0.3	1287.4	662.4
7	7.39	1.58	1800.0	0.3	1378.6	709.3
8	12.17	4.78	1800.0	0.3	1891.2	1010.9
9	19.79	7.62	1800.0	0.3	2372.4	1268.1
10	20.83	1.04	1800.0	0.3	1624.5	868.3
11	22.81	1.99	1800.0	0.3	1572.4	809.0
12	38.49	15.67	1800.0	0.3	1338.9	688.8
13	∞	∞	1800.0	0.3	1131.6	570.0

Gli strati 1 e 2 corrispondono al suolo che ricopre il substrato geologico; gli strati da 3 a 7 sono ascrivibili ai terreni limoso sabbiosi del Pleistocene medio (Depositi marini terrazzati). Gli strati più profondi corrispondono invece alla parte argillosa dei Depositi marini terrazzati ed al substrato carbonatico costituito dalle calcareniti del Pleistocene inferiore e dai calcari del Cretaceo

Attraverso i valori delle velocità sismiche determinati con l'indagine MASW è stato possibile calcolare i valori dei principali parametri litotecnici dei vari strati discriminati riportati nella successiva tabella.

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coef. Poisson	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.14	1.14	340.99	709.83	1600.00	0.35	186.04	806.17	558.12	502.30
2	2.20	1.06	458.27	930.74	1700.00	0.34	357.01	1472.68	996.66	956.79
3	3.26	1.06	673.53	1337.11	1810.00	0.33	821.08	3236.03	2141.25	2184.08
4	3.76	0.50	571.61	1160.95	1730.00	0.34	565.26	2331.68	1578.01	1514.89
5	4.76	1.00	602.67	1196.45	1770.00	0.33	642.89	2533.76	1676.56	1710.10
6	5.81	1.05	662.36	1287.40	1830.00	0.32	802.87	3033.05	1962.56	2119.57
7	7.39	1.58	709.27	1378.58	1830.00	0.32	920.62	3477.89	2250.40	2430.43
8	12.17	4.78	1010.88	1891.18	2020.00	0.30	2064.19	7224.68	4472.42	5366.90
9	19.79	7.62	1268.09	2372.37	2100.00	0.30	3376.89	11819.12	7316.60	8779.92
10	20.83	1.04	868.33	1624.50	1980.00	0.30	1492.93	5225.24	3234.68	3881.61
11	22.81	1.99	809.00	1572.42	1930.00	0.32	1263.16	4771.93	3087.72	3334.74
12	38.49	15.67	688.84	1338.87	1880.00	0.32	892.07	3370.04	2180.62	2355.06
13	oo	oo	569.98	1131.55	1850.00	0.33	601.03	2368.75	1567.38	1598.73

G₀: Mod. di deformazione al taglio; **E_d**: Mod. edometrico; **M₀**: Mod. di compressibilità volumetrica;
E_y: Mod. di Young.

Sulla base dei valori di Vp e Vs registrati e dei numerosi dati derivati dalla interpretazione di vari sondaggi penetrometrici dinamici realizzati in siti prossimi all'area di intervento è possibile considerare una coesione media per la parte più superficiale della successione litostratigrafica indagata (al di sotto del primo metro di profondità) pari a 100 kPa ed attribuire ad essa un angolo d'attrito di 25 – 30°.

Il DM 17 gennaio 2018 prescrive che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. II del D.M., si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al paragrafo 6.2.2 del D.M..

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

con:

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

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ 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/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita 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 è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30,00 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H = 30,00$ metri nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le

categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al paragrafo 3.2.3 delle norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

L'indagine geofisica di riferimento ha evidenziato per l'area in esame una profondità del bedrock rigido pari a 7 m pertanto si calcola V_s eq che considerando Z (piano di posa della fondazione) pari -1 m dal p.c. vale 645 m/s. Il terreno di interesse quindi può essere attribuito alla categoria B:

Categoria B - "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

8. Modello Geologico

Il Testo unico sulle costruzioni identifica nel modello geologico del sito di intervento un utile elemento di riferimento per l'inquadramento da parte del progettista delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala, riconoscendo che esso deve essere orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Una corretta definizione del modello geologico di riferimento è la base di qualunque progetto che implichi l'interazione con il territorio ed è quindi un'operazione propedeutica a qualunque opera sia in sotterraneo che in superficie.

Sulla base dei rilevamenti condotti e dei sondaggi esperiti è possibile fornire per l'area studiata un modello geologico che abbia i requisiti sopra elencati. L'analisi comparata ed il confronto di tutti i dati emersi nel corso dell'indagine multidisciplinare ha permesso di accertare infatti che nei limiti dell'area di intervento il substrato geologico è rappresentato da terreni limoso sabbiosi che passano verso il basso ad argille limose riferibili al Pleistocene medio. Su questi terreni è presente un suolo brunastro potente mediamente 1 – 1,5 m.

In corrispondenza del sito di interesse si rinviene esclusivamente la cosiddetta "falda di base" la cui piezometrica si trova a circa 3 metri s.l.m. e quindi a oltre 35 m dal p.c.. Lo spessore della lente di acqua dolce è di diverse decine di metri (la falda superficiale è al quanto discontinua).

In ragione del quadro sopra descritto è evidente che le opere in progetto non possono interagire con il deflusso delle acque sotterranee e che esse non alterano l'assetto idrogeologico proprio dell'area in cui ricade il sito di intervento.

Attraverso i valori delle velocità sismiche determinati con l'indagine MASW è stato possibile calcolare i valori dei principali parametri litotecnici. In particolare, sulla base dei valori di V_p e V_s registrati è stata determinata una coesione media per la parte più superficiale della successione litostratigrafica indagata (comunque al di sotto di 1 m dal p.c.) pari a 100 kPa ed un angolo d'attrito di 25 - 30°.

L'indagine geofisica di riferimento ha evidenziato per l'area in esame una profondità del bedrock rigido pari a 7 m pertanto si calcola V_{s30} che considerando Z (piano di posa della fondazione) pari a -1 m vale 645 m/s. Il terreno di interesse quindi può essere attribuito alla categoria B - *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

Sotto l'aspetto della dinamica ambientale e della pericolosità del territorio si rileva che, come messo in evidenza anche dal PAI, l'area è esente da particolari criticità purtuttavia, la presenza di alcune linee di impluvio classificate sulla Carta Idrogeomorfologica come “corso d'acqua episodico” assoggetta le aree di intervento alle prescrizioni dell'Art. 6 delle NTA del PAI. E' stato redatto pertanto uno Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica dal quale emerge che le porzioni delle particelle di progetto realmente interessate dalle opere previste sono esterne alle aree a pericolosità idraulica.

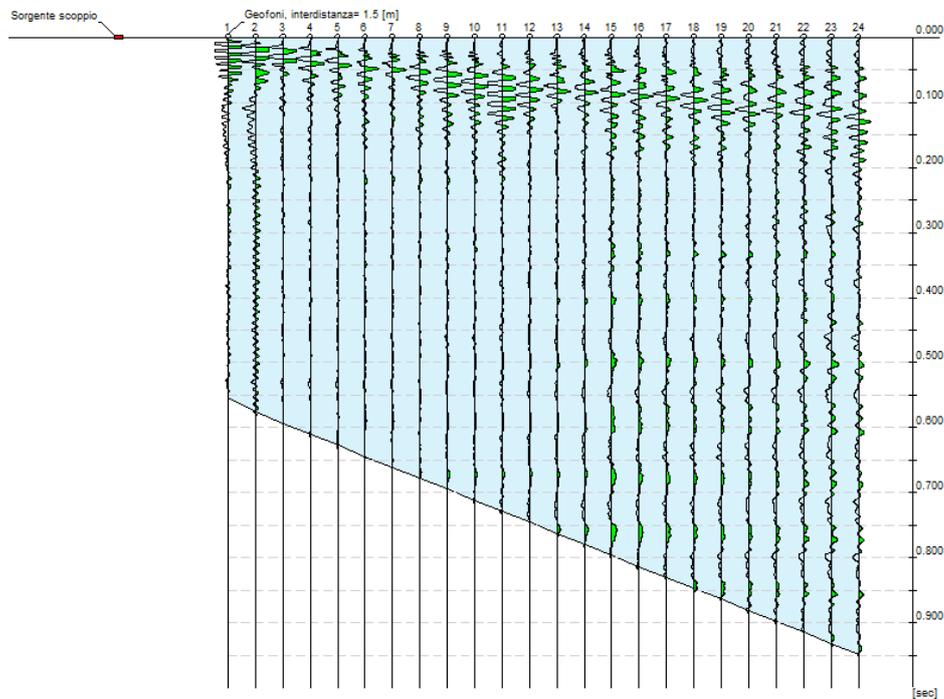
Alla luce di quanto sopra descritto è possibile affermare che nell'intorno dell'area di interesse non sussistono fattori connessi alla dinamica geomorfologia ed idrologica che possono rappresentare un pregiudizio alla realizzazione delle opere in progetto.

9. ALLEGATI

Allegato 1 – Indagine MASW

Tracce

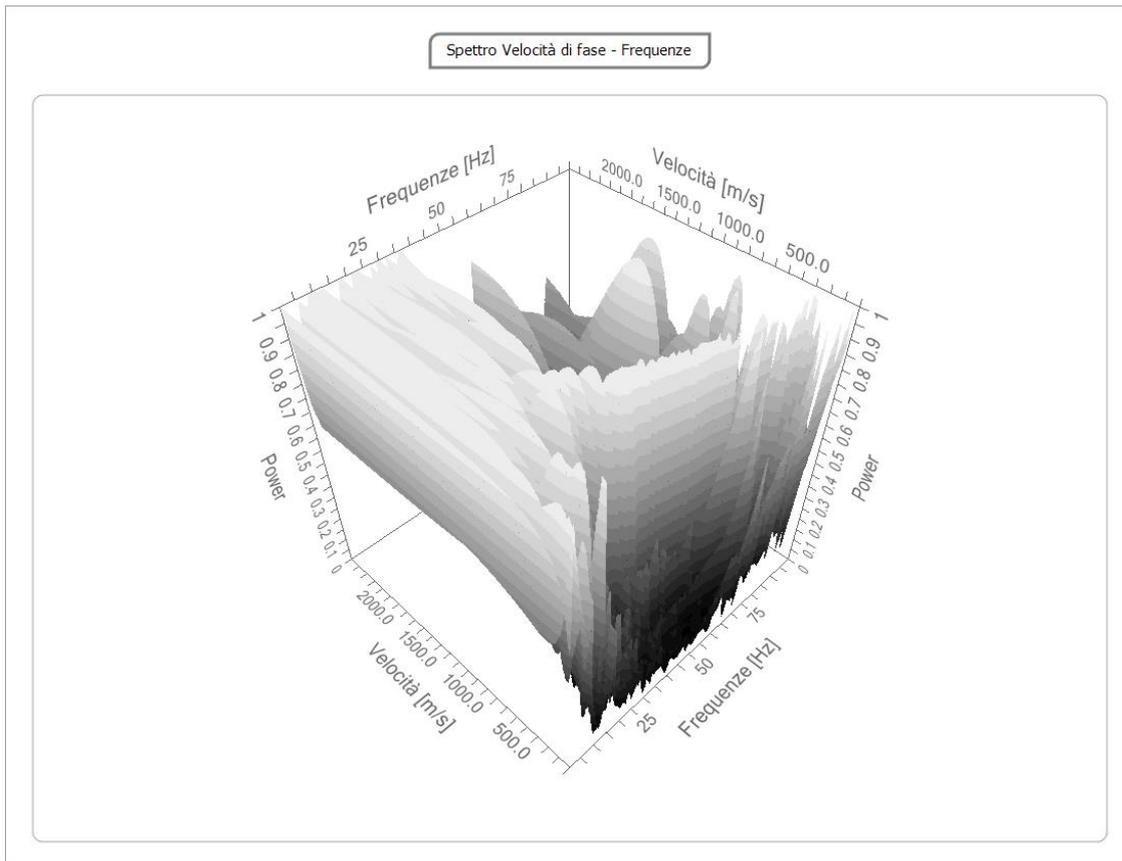
N. tracce 24
Durata acquisizione 1000.0
[msec]
Interdistanza geofoni [m] 1.5
Periodo di 0.25
campionamento [msec]



Analisi spettrale

Frequenza minima di 1
elaborazione [Hz]
Frequenza massima di 100
elaborazione [Hz]

Velocità minima di elaborazione [m/sec] 100
 Velocità massima di elaborazione [m/sec] 2500
 Intervallo velocità [m/sec] 1



Curva di dispersione

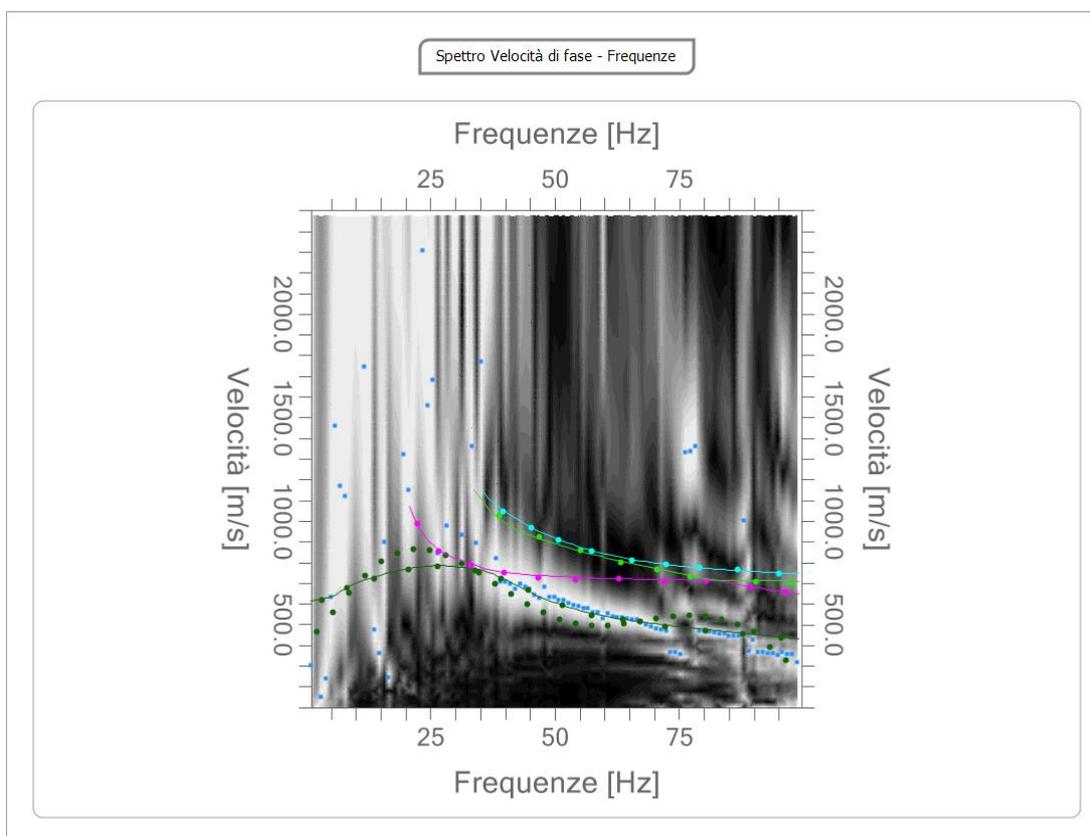
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.1	464.4	0
2	3.2	617.5	0
3	5.3	558.9	0
4	8.3	676.6	0
5	8.6	654.3	0
6	11.9	738.1	0
7	13.7	720.9	0
8	15.1	802.7	0



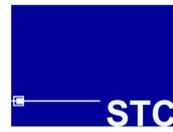
9	18.4	844.4	0
10	20.6	765.3	0
11	21.6	862.4	0
12	22.4	987.1	1
13	24.9	858.2	0
14	26.5	780.1	0
15	26.7	854.0	1
16	28.1	835.2	0
17	31.4	797.6	0
18	33.1	785.0	1
19	33.9	760.4	0
20	34.6	750.3	0
21	37.9	698.2	0
22	38.8	1026.5	2
23	39.2	720.9	0
24	39.6	1046.2	3
25	39.8	750.5	1
26	41.1	646.2	0
27	44.4	598.1	0
28	44.7	666.7	0
29	45.3	967.4	3
30	46.7	725.9	1
31	46.9	923.0	2
32	47.7	557.4	0
33	50.7	908.2	3
34	50.9	526.3	0
35	51.5	592.8	0
36	54.2	716.0	1
37	54.2	505.8	0
38	55.2	858.9	2
39	57.4	854.0	3
40	57.4	543.5	0
41	57.4	496.0	0
42	60.7	495.9	0
43	62.8	720.9	1
44	63.3	799.8	2
45	63.7	523.8	0
46	63.9	503.4	0
47	65.5	809.7	3
48	67.2	515.5	0
49	70.4	528.8	0
50	70.5	765.3	2



51	71.9	706.2	1
52	72.1	489.3	0
53	72.3	789.9	3
54	73.7	539.7	0
55	77.0	544.5	0
56	77.2	730.8	2
57	79.0	775.2	3
58	80.2	540.4	0
59	80.2	469.6	0
60	80.4	711.1	1
61	83.5	525.5	0
62	86.7	765.3	3
63	86.7	499.8	0
64	87.7	454.8	0
65	89.3	681.5	1
66	90.0	465.5	0
67	90.3	706.2	2
68	93.2	391.8	0
69	95.0	745.6	3
70	95.4	435.1	0
71	96.2	656.9	1
72	96.5	329.7	0
73	97.4	701.2	2

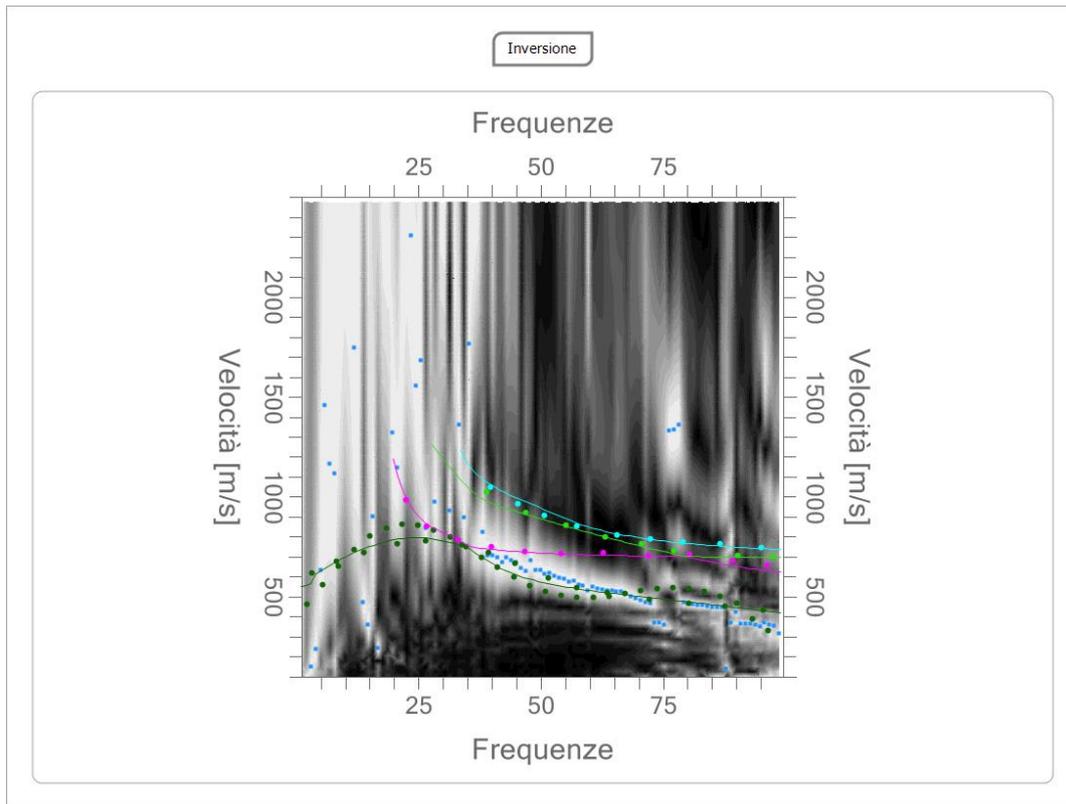


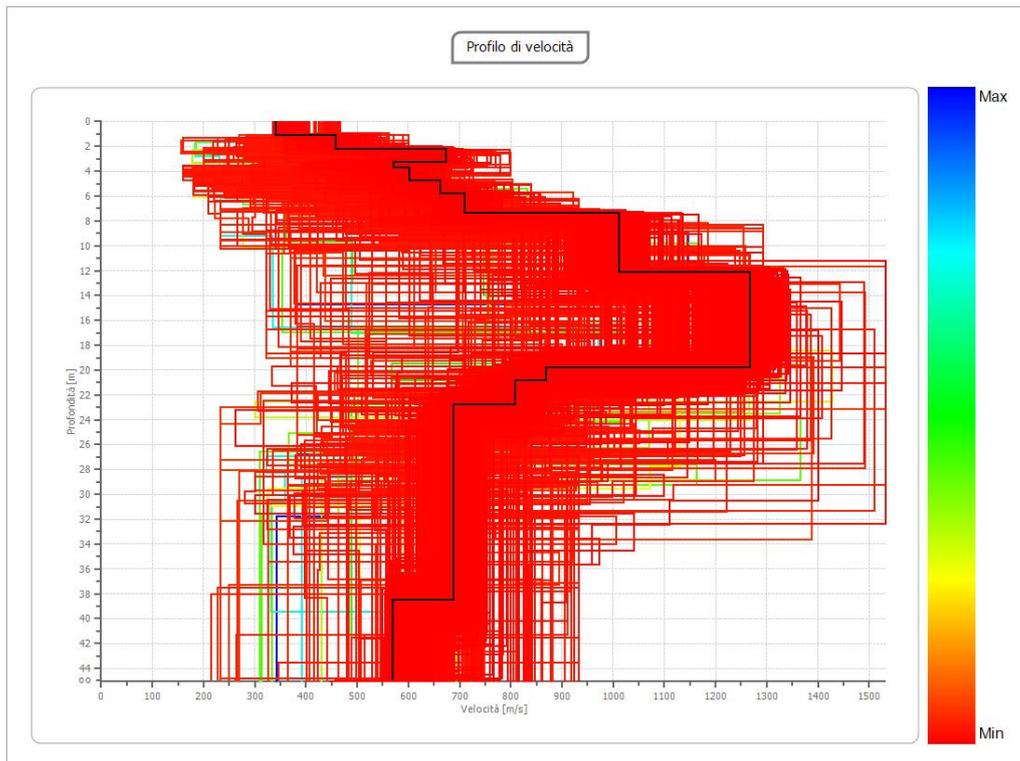
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Inversione		Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
			Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson			
1	1.14	1.14	1800.0	0.4	No	709.8	341.0
2	2.20	1.06	1800.0	0.3	No	930.7	458.3
3	3.26	1.06	1800.0	0.3	No	1337.1	673.5
4	3.76	0.50	1800.0	0.3	No	1160.9	571.6
5	4.76	1.00	1800.0	0.3	No	1196.5	602.7
6	5.81	1.05	1800.0	0.3	No	1287.4	662.4
7	7.39	1.58	1800.0	0.3	No	1378.6	709.3
8	12.17	4.78	1800.0	0.3	No	1891.2	1010.9
9	19.79	7.62	1800.0	0.3	No	2372.4	1268.1
10	20.83	1.04	1800.0	0.3	No	1624.5	868.3
11	22.81	1.99	1800.0	0.3	No	1572.4	809.0

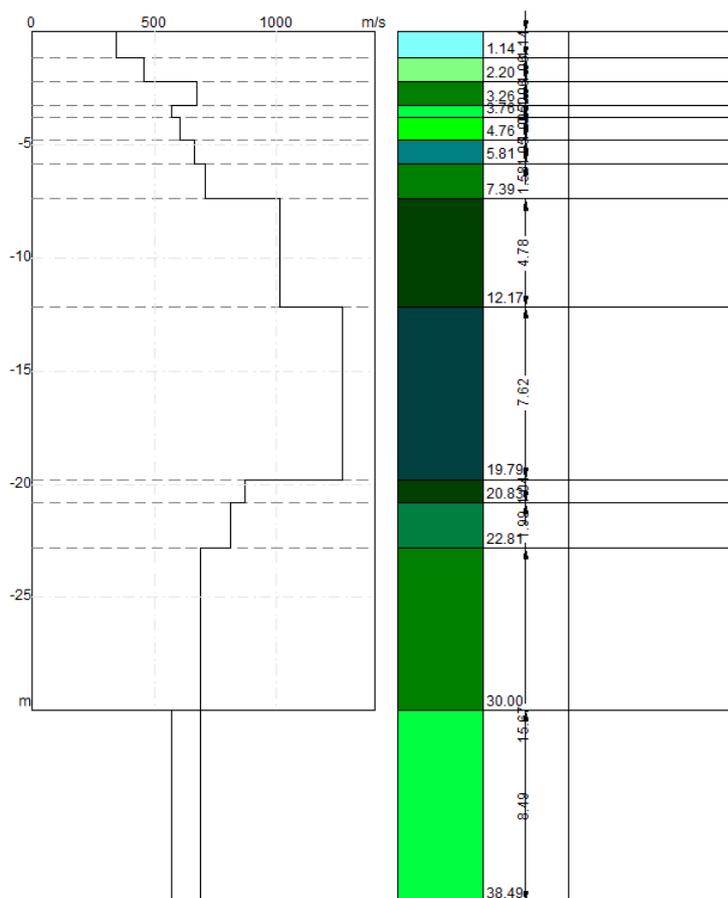


12	38.49	15.67	1800.0	0.3	No	1338.9	688.8
13	oo	oo	1800.0	0.3	No	1131.6	570.0

Percentuale di errore 0,247 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.065







Risultati

Profondità del bedrock rigido [m] 7,39
 Profondità piano di posa [m] 1.00
 Vs, eq [m/sec] 644,98
 Categoria del suolo B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.