

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA NOMINALE  
DI 48.916,56 kWp  
"LOTTO 9"**

UBICATO NEL COMUNE DI LATIANO (BR)

CODICE IDENTIFICATIVO PRATICA AU REGIONALE: MU5A7M1

Titolo Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

IDENTIFICAZIONE ELABORATO (MITE)

LIVELLO PROGETTAZIONE	TIPO DOCUMENTO	CODICE IDENTIFICATIVO	DATA	SCALA
PD	R	MU5A7MI_Geologica.pdf	DICEMBRE 2022	-

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	12/22	Prima emissione	Dott.ssa Silvia Ciurlia	Dott.ssa Silvia Ciurlia	Dott.ssa Silvia Ciurlia

TECNICO:

*Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia*  
*Ordine dei Geologi*  
*Regione Puglia, n.534*



PROPONENTE:

**ELETTRA SOL S.R.L.**  
Via Mercato, 3  
20121, Milano (MI) - Italy



PROGETTAZIONE:

**NEXTA PROJECT DEVELOPMENT**  
Via Dante, 7  
20123, Milano - ITALY



NEXTA PROJECT DEVELOPMENT  
NEXTA CAPITAL PARTNERS

**APULIA ENERGIA S.R.L.**  
Via Sasso, 15b  
72023, Mesagne (BR) - ITALY



**INDICE**

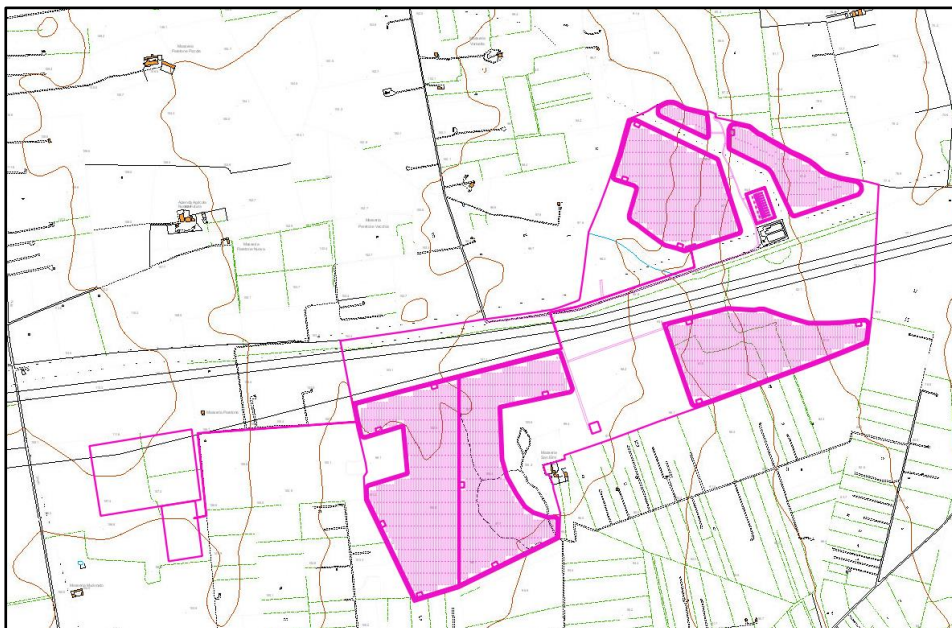
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>3</b>
<b>3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE</b>	<b>7</b>
<b>4. CARATTERI IDROGEOLOGICI</b>	<b>12</b>
4.1 Caratteri di permeabilità	14
4.2 Vulnerabilità degli acquiferi	15
<b>5. CONFORMITA' DELL'INTERVENTO CON IL PAI</b>	<b>17</b>
<b>6. INDAGINI ESEGUITE – Sismica a rifrazione</b>	<b>21</b>
6.1 Cenni sul metodo	21
6.2 Profili sismici	23
<b>7. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL TERRENO</b>	<b>34</b>
<b>8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA</b>	<b>38</b>
8.1 Pericolosità sismica di base ai sensi delle NTC	38
8.2 Condizioni topografiche	39
8.3 Valutazione dei parametri sismici ai sensi delle NTC	40
8.4 Classificazione Sismica	42
<b>9. CONCLUSIONI</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUZIONE

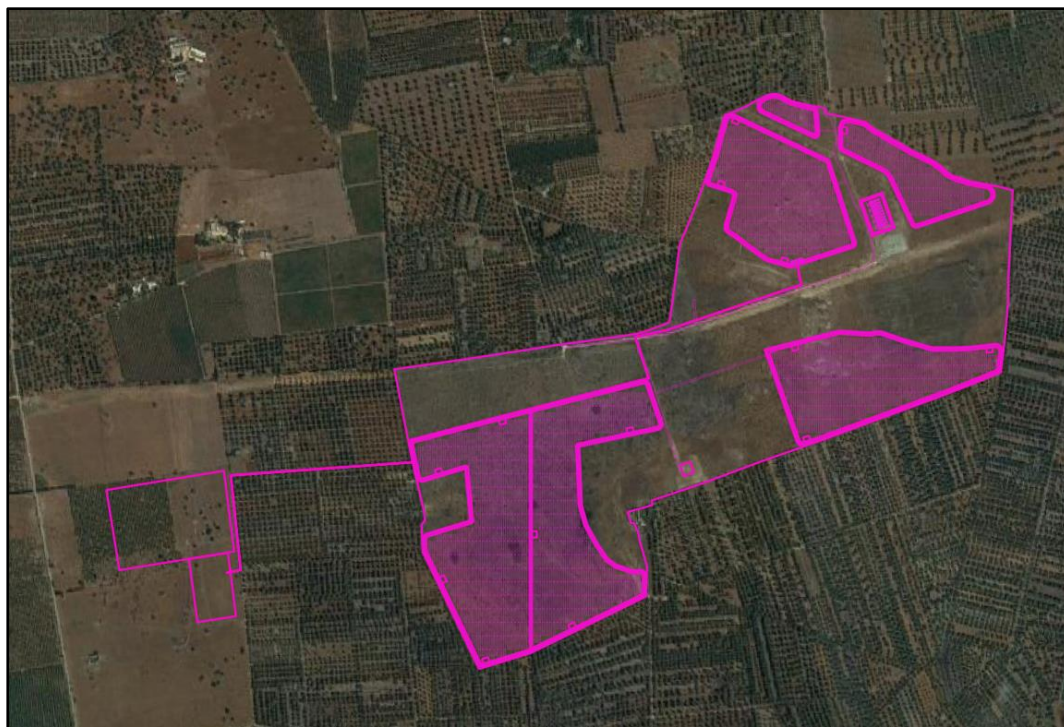
Con la presente la sottoscritta Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia ha redatto uno Studio Geologico nell'ambito del Progetto Definitivo "Realizzazione di un Impianto Agrivoltaico della potenza nominale di 48916,56 kWp – Lotto 9". Il lotto di intervento è sito in agro del Comune di Latiano (BR), a circa 3,5 Km in direzione nord nord-est dal centro abitato di Latiano, al confine comunale nord-est con il Comune di San Vito dei Normanni (BR). L'area asservita al progetto presenta un'estensione complessiva di Ha 123.96.90 (aree contrattualizzata) ed è costituita da un unico corpo, così come evidenziato nelle Fig.1 e Fig.2. L'area di pertinenza al progetto (contrattualizzata) nel suo complesso è facilmente raggiungibile grazie alla presenza della SP 46 che collega il centro abitato di Latiano (BR) a quello di San Vito dei Normanni (BR), e la SS 16 che collega il centro abitato di Mesagne (BR) al centro abitato di San Vito dei Normanni (BR). Il campo fotovoltaico è facilmente accessibile grazie anche alla presenza di una buona viabilità comunale.

L'area è identificata al catasto terreni del comune di Latiano (BR) al foglio 10 p.lle 1-5-6-18-19-20-21-22-23-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-37-38 e 254; Fig. 15 p.lle 1 e 169.

La superficie di interesse, sita geograficamente nella penisola salentina, è costituita da un unico corpo irregolare di complessivi Ha 123.96.90, identificato toponomasticamente sull'IGM e CTR come Masseria S. Elmi. Nel complesso è delimitata ad ovest da superficie agricola afferente a Masseria Paretone in adiacenza con SP 46, a sud con superfici olivetate afferenti a Masseria Rocconuzzo, ad est con Masseria Paradiso in adiacenza con la SS 16 e a nord con Masseria Paretone Vecchia e Masseria Paretone Nuova.



**FIG 1** - Localizzazione delle opere progettuali su cartografia CTR



**FIG 2** - Localizzazione delle opere progettuali su immagine satellitare 2021

Per le informazioni di dettaglio si rimanda ai documenti progettuali.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'assetto geologico e strutturale ad ampia scala è rappresentato da potenti successioni carbonatiche di origine marina costituite da strati e banchi di calcari e dolomie del Cretaceo. Tali successioni, che rappresentano i depositi più antichi dell'area, comprendono (secondo la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (foglio 203 "Brindisi") le Dolomie di Galatina e l'unità dei Calcari di Melissano. Per le analogie nei caratteri di litofacies e in accordo con la bibliografia geologica più recente (sensu Ricchetti 1988) quest'ultima formazione verrà indicata nel presente studio con il termine Calcari di Altamura.

Ai depositi cretacei si addossano lungo le scarpate, o si sovrappongono, in trasgressione, sedimenti miocenici terrigeni, tra loro parzialmente eteropici, costituiti dalla cosiddetta "Pietra leccese" e dalle Calcareniti di Andrano. Notevole diffusione hanno anche sedimenti pliocenici e pleistocenici, sia in facies costiera che continentale, rappresentati principalmente dalle Sabbie di Uggiano e dalle Calcareniti di Gravina (sensu Ricchetti 1988) (o Calcareniti del Salento (sensu CGI 1968)), anch'essi trasgressivi sui depositi più antichi. I depositi continentali olocenici sono in genere rappresentati da lembi poco estesi e potenti (sabbie, depositi eluviali e di "terra rossa"), crescenti in spessore e ampiezza procedendo verso la fascia costiera.

Il quadro geologico attuale è il risultato degli eventi tettonici che si sono succeduti a partire dal Cretaceo e che a più riprese hanno interessato l'intera Penisola Salentina. Il basamento carbonatico della penisola salentina, che come già detto in precedenza, è costituito dai Calcari di Altamura, rappresenta il settore della piattaforma apula che ha subito la maggiore attività tettonica. La penisola salentina ha subito una tettonica distensiva dando origine ad un sistema di faglie all'interno del basamento, e generando un sistema strutturale di dorsali e depressioni tettoniche tipo horst e graben di varia grandezza ed estensione. Tali strutture hanno un andamento prevalentemente orientato in direzione Nord Ovest – Sud Est, e morfologicamente corrispondono, rispettivamente, alle attuali “serre salentine” e alle depressioni che le separano.

Nel Miocene, i movimenti tettonici hanno riportato in condizioni di sommersione le terre emerse, favorendo la sedimentazione di estesi corpi calcarenitici. Le fasi tardo mioceniche e plioceniche hanno riattivato le faglie cretacee interessando anche i terreni del Miocene. Nel corso di questi due ultimi periodi e del Pleistocene inferiore, ripetuti fenomeni di subsidenza e innalzamento hanno portato più volte ampie zone del Salento al di sotto e al di sopra del livello marino, determinando, rispettivamente, la deposizione di materiali terrigeni e l'erosione delle coperture più recenti.

Nel Pleistocene medio una nuova fase tettonica ha conferito alla regione una configurazione simile all'attuale, mentre i fenomeni di ingressione e regressione marina conseguenti alle fasi glaciali (in particolare del Riss e del Wurm) hanno determinato il deposito dei sedimenti costieri in aree marginali.

Dal punto di vista litostratigrafico l'area del Comune di Latiano e dei comuni limitrofi risulta costituita, dal basso verso l'alto, dai seguenti litotipi:

#### Depositi marini

- Calcari di Altamura (Turoniano sup. –Maastrichtiano)
- Calcarenite di Gravina (Pliocen sup.- Pleistocene inf.)
- Argille Subappennine (Pleistocene inf.)
- Depositi Marini Terrazzati (pleistocene med.-sup.)

#### Depositi continentali

- Coltre eluvio-colluviale (Olocene)

#### Calcari di Altamura

La formazione dei Calcari di Altamura è costituita prevalentemente da calcari bioclastici di colore chiaro, talora biancastro, compatti e a frattura irregolare. Associati ad essi si rinvencono calcari più scuri, calcari

chiari subcristallini a frattura concoide e calcari detritici o leggermente marnosi. A tali litotipi si intercalano in modo irregolare calcari dolomitici color nocciola e subcristallini, con subordinate dolomie calcaree. Tali intercalazioni sono particolarmente evidenti nella zona a Nord del centro urbano di Nardò. Dal punto di vista petrografico, i calcari in oggetto sono costituiti prevalentemente da micriti più o meno fossilifere, talora dolomitizzate, e da subordinate biomicriti.

Il contenuto macropaleontologico è scarso; sono presenti gusci e frammenti di rudiste, in particolare *Apricardia carantonensis* (D'ORB.), e rari *Cerithium*, *Pecten*, *Cardium*. Il contenuto di carbonato di calcio subisce in genere deboli oscillazioni e può arrivare al 98-99% nei calcari, nelle dolomie calcaree invece scende fino al 60%. La stratificazione è sempre evidente, ad eccezione dei casi in cui sia presente uno sviluppato carsismo superficiale. Gli strati presentano una potenza variabile da circa 15-20 cm all'ordine del metro. Talora si nota una evidente laminazione parallela, come, ad esempio, in alcuni affioramenti della Serra di Nardò. L'ambiente di sedimentazione è di piattaforma carbonatica interessata da limitate ed episodiche emersioni. Il limite inferiore non è affiorante; il limite superiore è inconforme e discordante con le formazioni più recenti. Affiora nell'area di intervento (Fig.3A e 3B).

#### *Calcarenite di Gravina*

Depositi calcarenitici e calciruditi bioclastici di ambiente litorale. La formazione è direttamente trasgressiva sui calcari cretaci. Sono localmente rappresentate da calcareniti e calciruditi passanti a materiali sabbiosi con inclusi ciottoli che si rinvencono in spessori molto esigui. Al contatto con i calcari spesso si trovano abbondanti affioramenti di materiali residuali rossastri (terre rosse) testimoni di una lunga fase di emersione che ha preceduto la trasgressione marina quaternaria.

#### *Argille Subappenniniche*

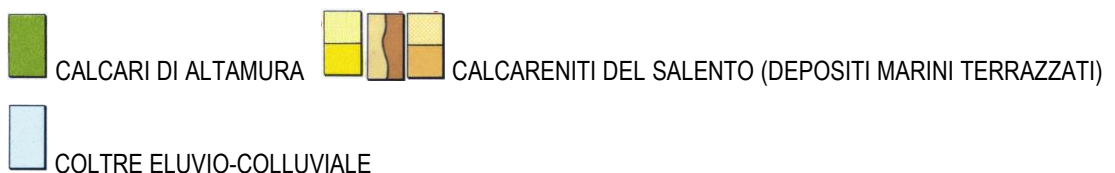
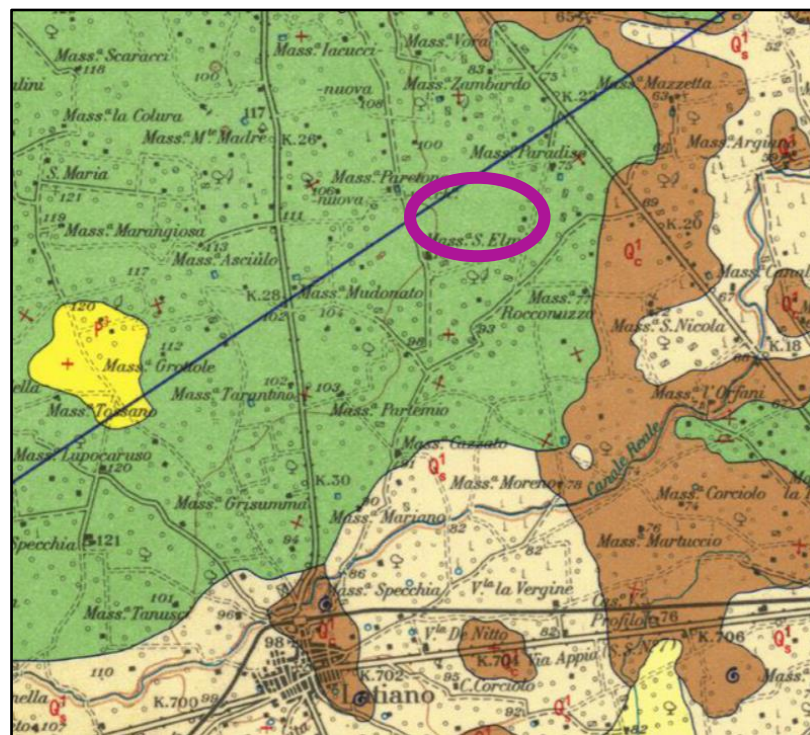
Argille limose, argille sabbiose ed argille marnose di colore grigio-azzurro, subordinatamente giallastre con sparsi, nella parte alta, ciottoli di natura calcarea o calcarenitica. Questi depositi poggiano in continuità di sedimentazione sulle Calcareniti di Gravina e localmente giacciono, lungo superfici trasgressive, direttamente sui depositi mesozoici del Calcarea di Altamura. Questi depositi non affiorano e si trovano in estese aree nel sottosuolo. Dati litostratigrafici desunti da sondaggi e pozzi eseguiti nell'area confermano la presenza al di sotto dei Depositi Marini Terrazzati. Le Argille subappenniniche rappresentano il substrato impermeabile che sostiene l'acquifero superficiale della Piana di Brindisi. Da studi realizzati si è stimato che nell'area del Comune di Latiano lo spessore di questa formazione può arrivare a 10 m.

### Depositi marini terrazzati

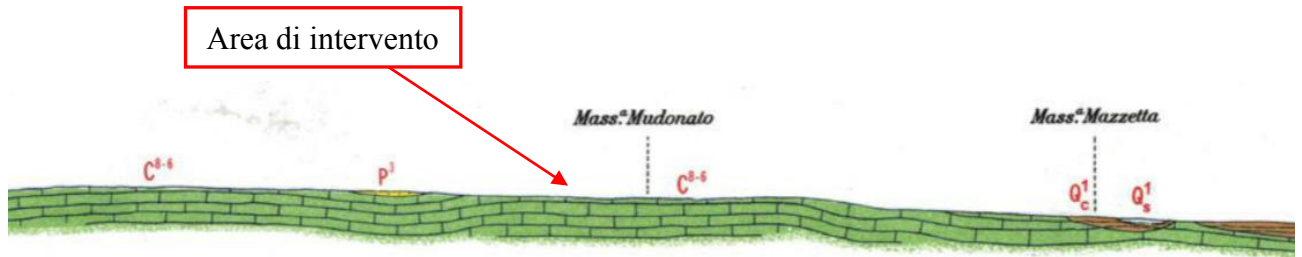
I Depositi marini terrazzati sono costituiti essenzialmente da alternanze di sabbie quarzose giallastre e calcareniti organogene localmente a carattere litoide con a tratti intercalazioni di strati conglomeratici. Giacciono lungo superfici di abrasione marina individuate nei depositi argillosi e calcarenitici del ciclo della Fossa Bradanica e nei calcari mesozoici. In questa unità ha sede l'acquifero superficiale, generalmente sostenuto dai depositi argillosi impermeabili sottostanti.

### Coltre Eluvio-Colluviale

La coltre eluvio-colluviale è caratterizzata dalla presenza di terre rosse argillose, depositi alluvionali e palustri, sabbioso terrosi e subordinatamente ciottolosi di età via via più recente in relazione alla diminuzione di quota. Nei depositi più antichi sono frequenti resti scheletrici di mammalofaune (*Elephas* sp., *Rinocertus* sp., *Equus* sp., *Bos* sp.). Lo spessore è variabile da qualche metro fino ad una decina di metri.



**FIG 3A** – Stralcio della Carta Geologica alla scala 1:100000, foglio 203 "Brindisi". In colore fucsia la localizzazione dell'intervento



**FIG 3B** – Sezione stratigrafica, foglio 203 “Brindisi”

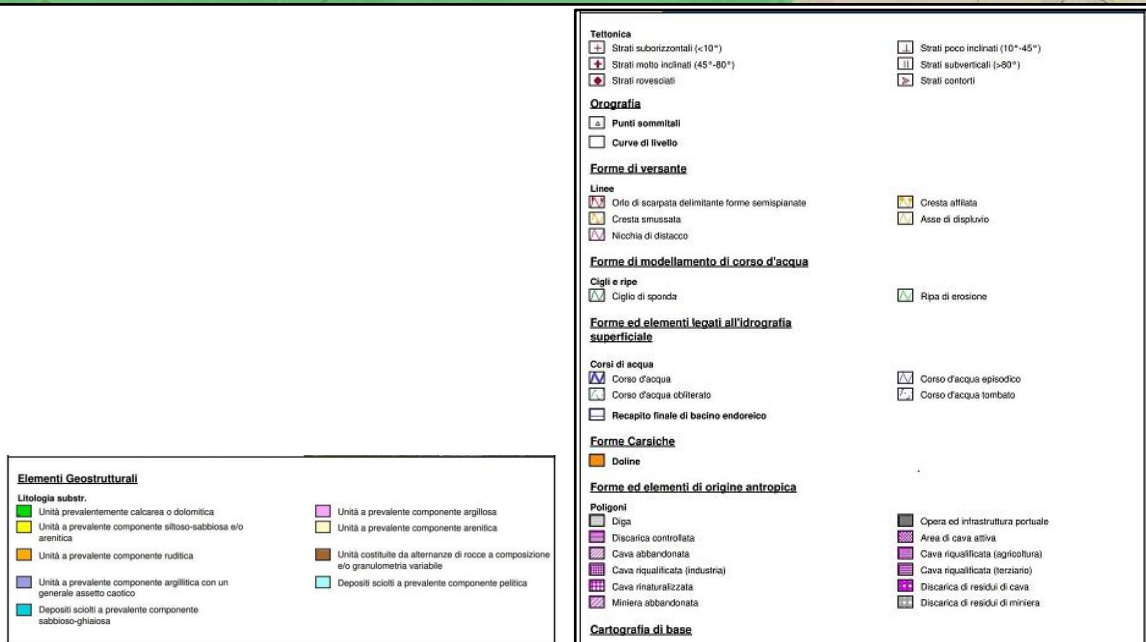
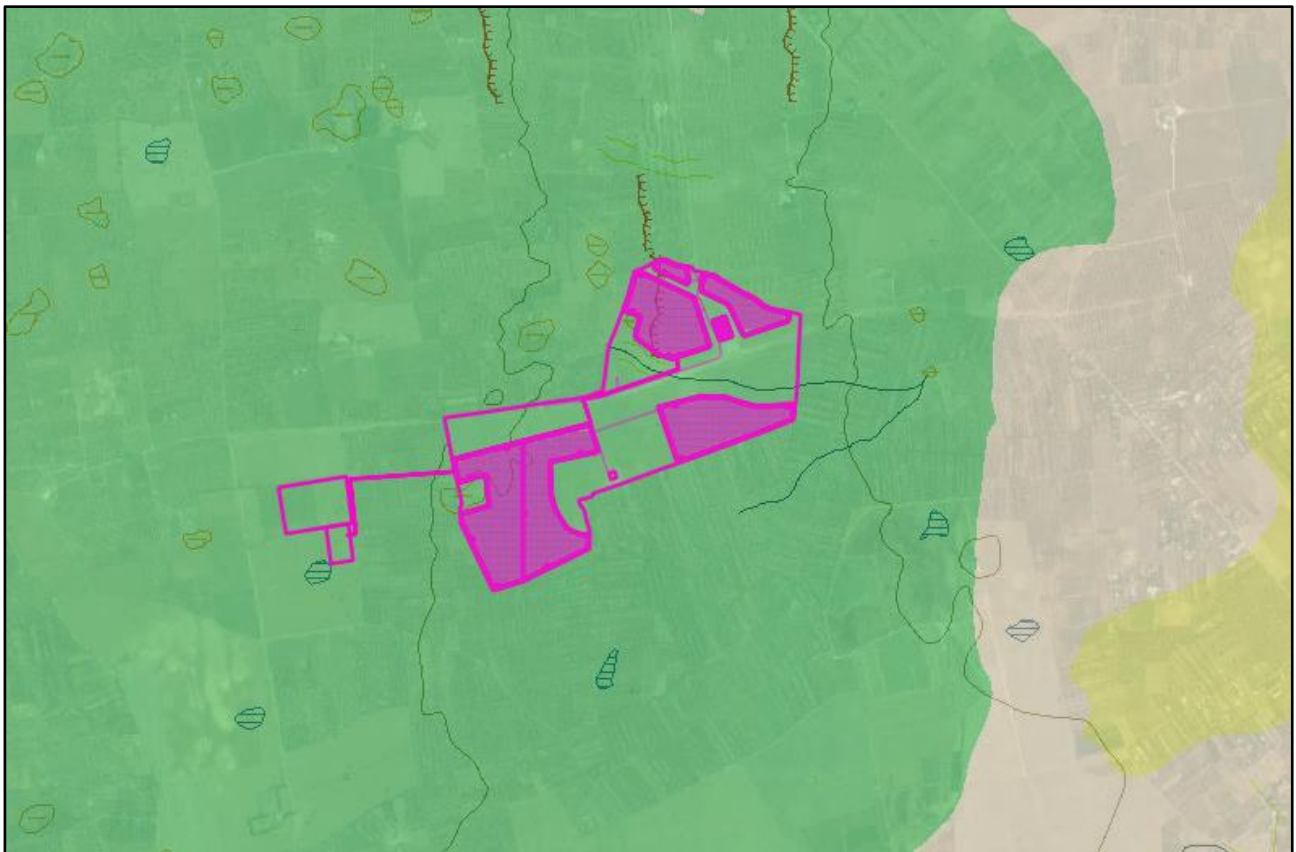
### 3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il territorio comunale di Latiano è ubicato nella parte sud -orientale dell'altopiano murgiano e si estende nell'area al limite tra la porzione nord - occidentale delle Murge Tarantine e quella sudorientale delle Murge Baresi. La morfologia di questo settore pugliese è caratterizzata dalla presenza di dorsali, alture ed altipiani, che raramente si elevano a più di poche decine di metri sulle aree circostanti e che prendono il nome di "Serre". Questa fisiografia è controllata dalle caratteristiche tettoniche e strutturali dei terreni affioranti. In particolare le zone rilevate coincidono con alti strutturali di origine disgiuntiva (horst) e plicativa (pieghe anticlinali), delimitati da scarpate morfologiche impostate sui piani di faglia o sui fianchi delle anticlinali, ed il cui andamento principale è in direzione NW- SE. I terreni più giovani, datati al Pleistocene ed all'Olocene, sono di natura alluvionale e di spiaggia, riferibili a numerose unità litostratigrafiche ; esse occupano le aree più depresse (piana di Brindisi) o poggiano sulle superfici di scarpata morfologica, raccordandosi ad esse e seguendone l'andamento e l'immersione

Il Canale Reale, poco a Nord del centro abitato di Latiano, costituisce l'unico esempio di idrografia organizzata a regime perenne nel territorio comunale e in quello dei Comuni vicini. Le incisioni fluvio - carsiche minori hanno orientazioni variabili NNO - SSE e Ovest - Est e spesso recapitano le acque in aree cieche o in doline.

Di seguito si riporta uno stralcio della "Carta Idrogeomorfologica " della Regione Puglia, redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (AdB), oggi "Autorità di Bacino del distretto idrografico dell'appennino meridionale – Sede Puglia" (Fig.4A). Nell'area oggetto di intervento, sita sulla "serra" a nord dell'abitato di Latiano, nelle vicinanze di Masseria S.Elmi, gli elementi geomorfologici di rilievo sono rappresentati dalla presenza di un reticolo fluviale secondario che interessa la parte nord-est del sito, da doline di piccole e medie dimensioni site a nord-ovest e sud-ovest dell'area di interesse, da un ciglio di scarpata identificato in una zona con pendenze inferiori al 15%.

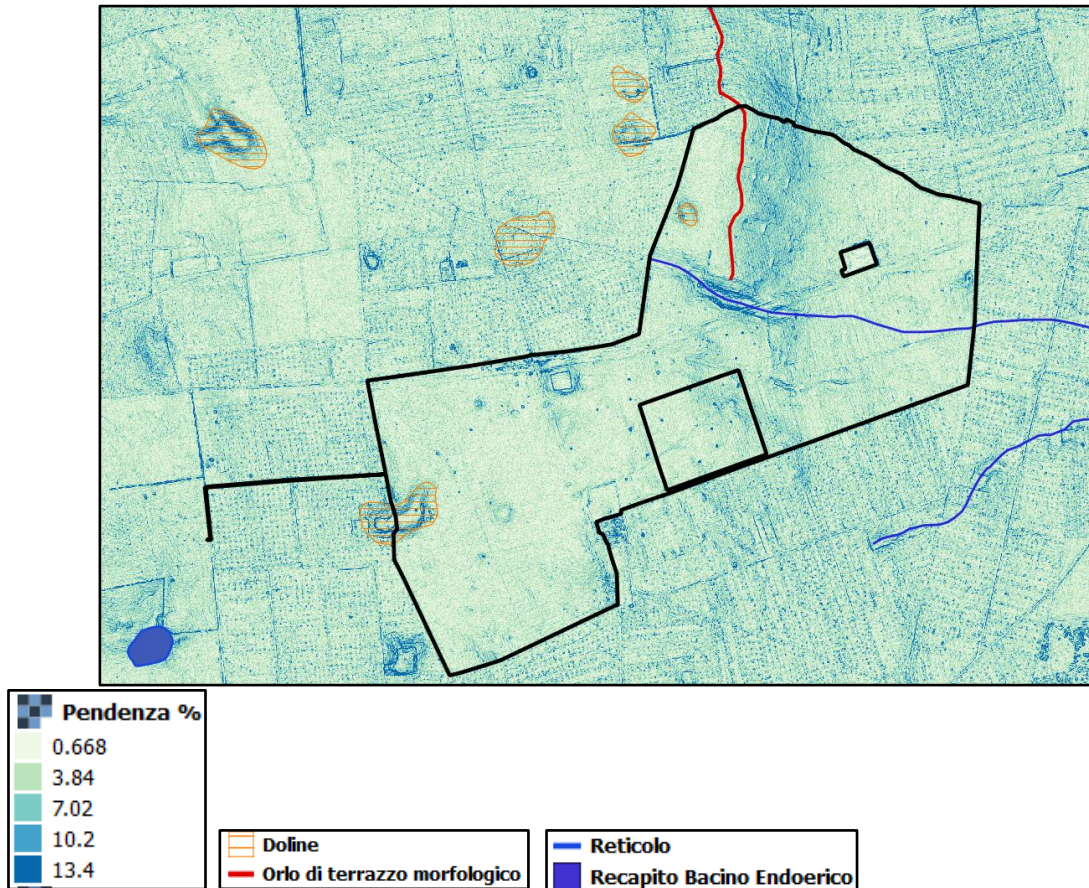




**FIG 4A** – Stralcio Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia

Dall'analisi delle quote mediante profili altimetrici e carta delle pendenze estrapolati da un modello digitale del terreno (DTM) ad altissima risoluzione "Lidar", ottenuto dall'archivio Ispra – Portale Cartografico Nazionale (PCN) ed elaborato con software GIS, è stato possibile constatare che nell'area di intervento:

- l'andamento topografico del terreno mostra una variazione di quote che tendono a diminuire da ovest verso est e da nord verso sud con un massimo di circa 105 m s.l.m. e un minimo di circa 73m s.l.m.;
- le pendenze hanno valori inferiori al 15% e quindi anche al 20% (Fig.4B).



**FIG 4B** – Elementi della Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia su carta delle pendenze, attinenti le zone di progetto

Di seguito una ricostruzione 3D dell'area esaminata, che comprende quella di interesse, con la sovrapposizione dell'ortofoto 2016 (per visualizzare al meglio i risultati ottenuti al modello implementato è stato applicato un fattore di esagerazione verticale (Fig.5A e Fig.5B).



**FIG 5A** – Ricostruzione 3D con sovrapposizione dell'ortofoto 2016



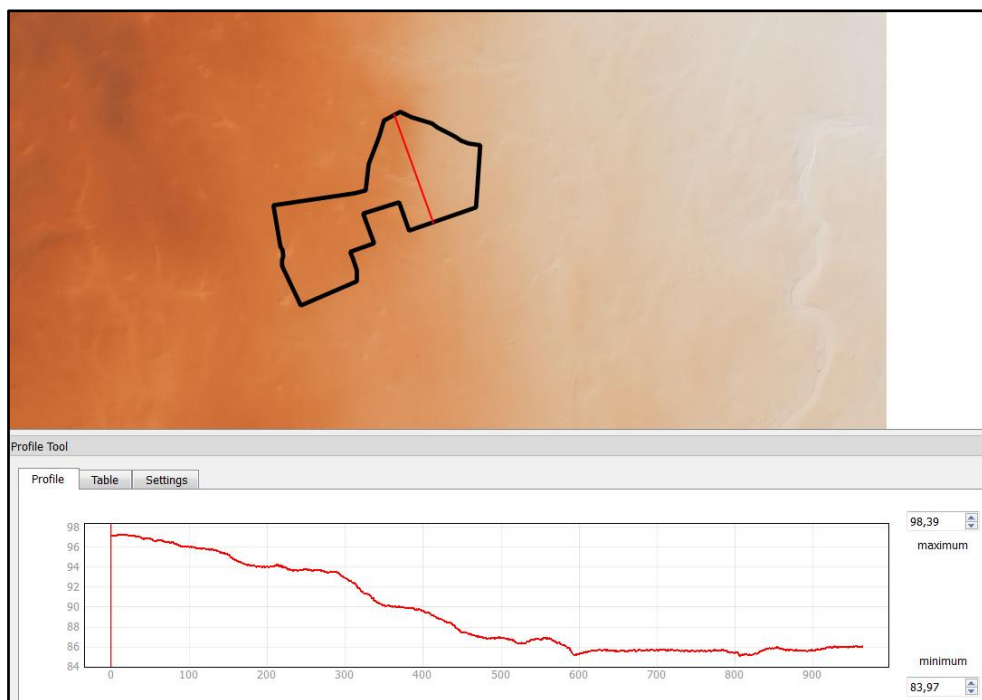
**FIG 5B** – Ricostruzione 3D con sovrapposizione dell'ortofoto 2016 – particolare da cui si evince l'esagerazione verticale applicata al modello

Mediante l'utilizzo di un modello digitale del terreno (DTM) ad altissima risoluzione "Lidar", ottenuto dall'archivio Ispra – Portale Cartografico Nazionale (PCN) ed elaborato con software GIS, è stato possibile implementare un'analisi geomorfologica del terreno oggetto di intervento e di quelli limitrofi.

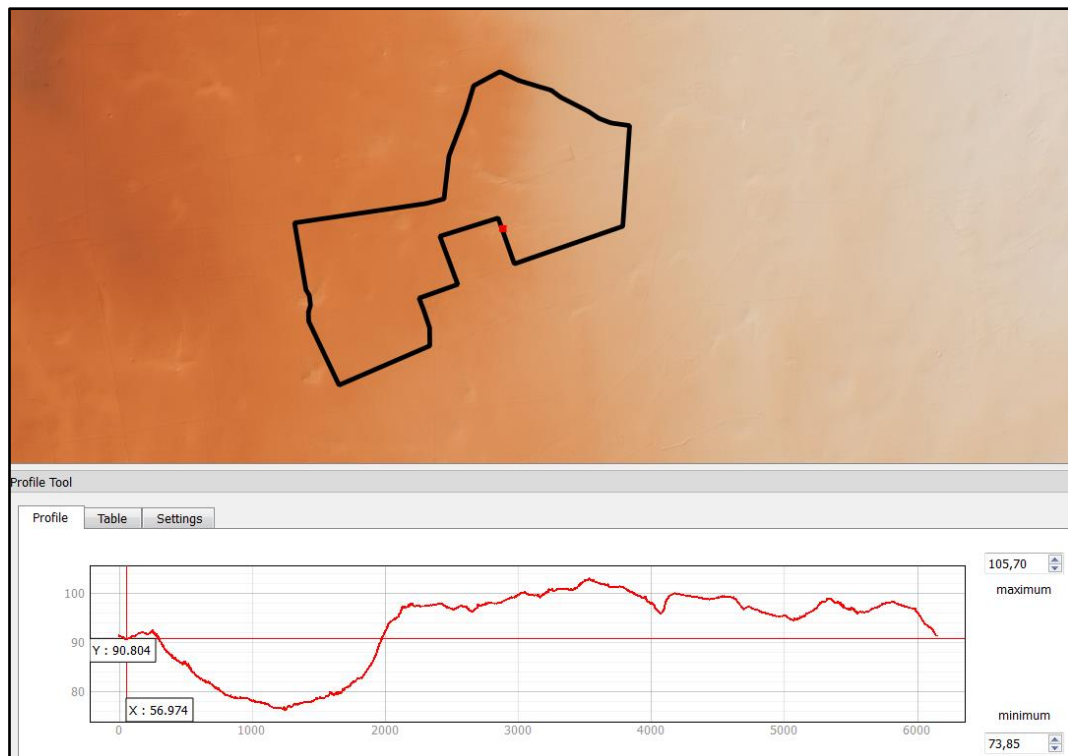
Di seguito l'analisi dei profili altimetrici tracciati in direzione longitudinale (Fig.6A), trasversale (Fig. 6B) e lungo il perimetro (Fig.6C) dell'area di progetto. Nel primo caso l'andamento topografico del terreno mostra una variazione di quote che tendono a diminuire da ovest verso est con un massimo di 103,71 m s.l.m. e un minimo di 74,73 m s.l.m. Nel secondo caso l'andamento topografico del terreno mostra una variazione di quote che tendono a diminuire da nord verso sud con un massimo di 98,39 m s.l.m. e un minimo di 83,97 m s.l.m. Nel terzo caso l'andamento topografico del terreno mostra una variazione di quote che tendono a diminuire da ovest verso est e da nord verso sud con un massimo di 105,70 m s.l.m. e un minimo di 73,85 m s.l.m.



**FIG 6A** – Andamento topografico del terreno su sezione longitudinale nell'area di progetto



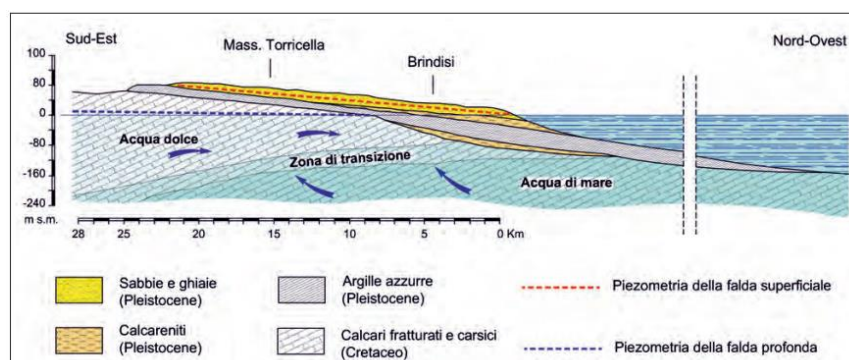
**FIG 6B** – Andamento topografico del terreno su sezione trasversale nell'area di progetto



**FIG 6C** – Andamento topografico del terreno lungo il perimetro dell'area di progetto

#### 4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

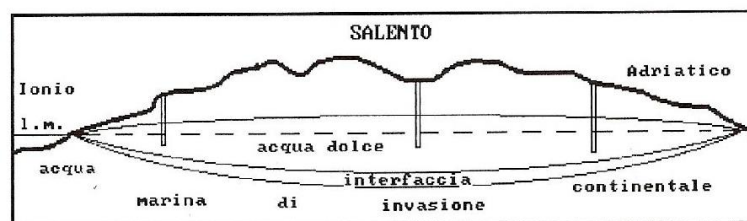
L'area di intervento è sita ad ovest della Piana di Brindisi, in corrispondenza di affioramento del basamento carbonatico mesozoico. L'assetto geologico-strutturale determina la geometria e le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei, influenzando sia sulle modalità di circolazione e di efflusso a mare, sia sulle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque sotterranee. Nelle formazioni geologiche su menzionate è possibile distinguere un acquifero profondo, avente sede nell'ammasso carbonatico fessurato e carsificato e sostenuto alla base dall'acqua marina di invasione continentale e, negli strati geologicamente più recenti, Pleistocenici, un acquifero superficiale, sostenuto alla base dalla Formazione delle Argille subappennine (Fig.7). Nell'area di interesse è assente l'acquifero superficiale.



**FIG 7** – Sezione idrogeologica schematica della Piana di Brindisi perpendicolare al litorale adriatico.

L'acquifero profondo è presente principalmente nel basamento calcareo mesozoico, e quindi in corrispondenza dell'area in esame, permeabile per fessurazione e carsismo, e subordinatamente (lì dove presenti e poco compatti) nei depositi appartenenti alla sovrastante Formazione delle Calcareniti di Gravina. Si tratta dunque di un acquifero localmente passante a due strati a differente permeabilità, con i depositi calcarenitici generalmente a permeabilità ridotta rispetto ai calcari di base.

All'interno del mezzo poroso roccioso le acque dolci, più leggere, tendono a "galleggiare" sulle sottostanti acque marine dando origine, in assenza di fenomeni di perturbazione della falda, ad una situazione di equilibrio idrostatico che permette una netta sovrapposizione delle due diverse masse idriche e ne evita il miscelamento idraulico (Fig. 8).



**FIG 8** - Sezione idrogeologica schematica della Penisola Salentina

L'interfaccia tra acque dolci e marine è rappresentata da un sottile livello idrico di transizione, denominato "zona di diffusione" e caratterizzato da un rapido incremento verticale del contenuto salino. Lo spessore del livello delle acque dolci può essere stimato approssimativamente utilizzando la legge di Ghyben-Herzberg esprimibile nella forma:

$$H = [Dd/(Dm-Dd)]*h$$

dove:

**H** rappresenta la profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata;

**Dd** rappresenta la densità dell'acqua dolce e risulta pari a circa 1,0028 g/cm<sup>3</sup>;

**Dm** rappresenta la densità dell'acqua marina pari a circa 1,028 g/cm<sup>3</sup>;

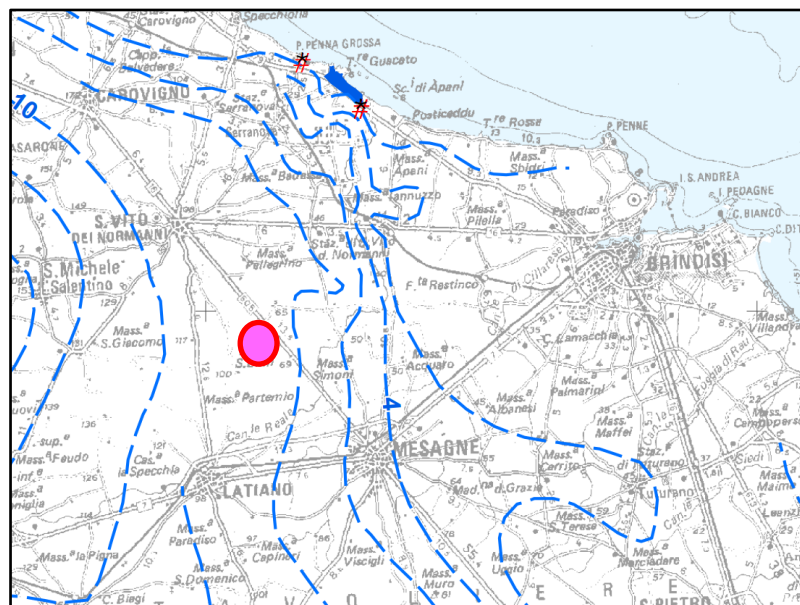
**h** rappresenta la quota del livello statico.

Sostituendo tali valori nell'espressione sopra indicata si ottiene un risultato pari a circa:  $H=40h$ . Nella pratica si adottano formule con coefficienti minori di 40 (generalmente  $H=33h$  e comunque compresi tra 30 e 35) che, tenendo conto anche della presenza della zona di diffusione, permettono di valutare più realisticamente lo spessore delle acque dolci.

Il deflusso della falda profonda è quindi sostanzialmente di tipo radiale divergente, si esplica cioè dall'entroterra in direzione del mare, dove le acque di falda normalmente si riversano, in maniera diffusa o concentrata, attraverso sorgenti costiere e/o polle sottomarine. La falda assume, su grande scala, una forma pseudo-lenticolare con spessori che, massimi nella parte centrale della penisola, si assottigliano progressivamente in direzione della costa; dallo spessore delle acque dolci dipendono i valori dei carichi idraulici, che sono più elevati nell'entroterra. L'alimentazione della falda profonda avviene a Nord-Ovest della Piana di Brindisi, in corrispondenza dell'altopiano murgiano.

Come si desume da alcune stratigrafie di pozzi perforati nelle vicinanze dell'area di intervento il livello statico medio misurato della falda profonda è a circa 95 m di profondità dal p.c.

Di seguito lo stralcio della carta delle isofreatiche della falda profonda, allegata al Piano Regionale di Tutela delle Acque (PTA) (Fig.9).



**FIG 9** – Stralcio della Tavola n.6.2 del Piano Tutela Acque della Puglia – “Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento”, contenente l’area di intervento.

#### 4.1 Caratteri di Permeabilità

In base ai caratteri di permeabilità le rocce sono suddivise in:

- rocce permeabili per porosità interstiziale e fessurazione;
- rocce impermeabili o poco permeabili

La permeabilità per porosità di interstizi e fessurazione è tipica delle rocce granulari, in quanto esse contengono dei vuoti intercomunicanti che possono riempirsi di acqua e permettere il deflusso in

presenza di un gradiente idraulico. Queste rocce corrispondono ai depositi calcarei e calcarenitici. In funzione del grado di cementificazione e del grado di carsificazione e fessurazione presente, queste formazioni hanno un grado di permeabilità da medio-basso a medio-alto. Le rocce impermeabili o poco permeabili sono quelle che per i loro caratteri granulometrici non consentono, o consentono in parti esigue, il passaggio e l'accumulo di acqua.

Le rocce del Cretaceo, costituenti l'acquifero profondo, sono permeabili per fratturazione e carsismo. Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero profondo, calcolato a partire da risultati di prove di portata, nell'area di intervento ha valori che indicano una permeabilità medio-alta, dell'ordine  $10^{-2} \div 10^{-1}$  cm/s. I valori più bassi del coefficiente di permeabilità si osservano presso costa; a Sud-Est, lungo l'allineamento Tutorano-Cellino S. Marco, e a Nord, in prossimità di Serranova, sono presenti valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di 1 cm/s.

La piezometria della falda profonda indica che il deflusso idrico sotterraneo, proveniente dalla contigua Murgia, ha prevalentemente direzione NW-SE. Un importante asse di drenaggio si rileva nell'area fra Tutorano e Cellino S. Marco, coerentemente con gli elevati valori del coefficiente di permeabilità ivi registrati.

Le altezze piezometriche subiscono variazioni nel tempo in ragione del regime idrologico della falda, delle variazioni del livello mare e degli attingimenti in corso. In generale i minimi carichi piezometrici sono osservati nel periodo estivo, quando la falda si trova nel suo periodo di magra ed è soggetta ad intensa estrazione, ad uso prevalentemente irriguo. Le oscillazioni periodiche e aperiodiche del livello mare influenzano, in prossimità della costa, le altezze piezometriche della falda profonda.

## **4.2 Vulnerabilità degli Acquiferi**

Per vulnerabilità si intende la facilità o meno con cui le sostanze inquinanti si possono introdurre, propagare e persistere in un acquifero. La maggiore o minore vulnerabilità degli acquiferi dipende quindi da numerosi fattori sia naturali che artificiali.

Il fattore naturale determinante è rappresentato dalla litologia e dalle conseguenti caratteristiche idrogeologiche, con particolare riferimento alla permeabilità e alla velocità di deflusso delle acque. Un altro elemento importante è costituito dallo spessore della zona di aerazione che rappresenta il percorso che un inquinante deve effettuare prima di arrivare in falda.



I fattori artificiali sono quelli connessi direttamente e indirettamente all'attività umana. La contaminazione delle acque può avvenire a causa di scarichi industriali (acque di vegetazione delle industrie olearie), scarichi di reflui urbani, ed infine, ma non ultimo, da emungimenti incontrollati. Sono fonte di inquinamento idrico sotterraneo diffuso anche i prodotti usati in agricoltura (pesticidi, fertilizzanti, diserbanti, etc).

Un ulteriore fattore di inquinamento è costituito dalle rotture locali dell'equilibrio acqua dolce di falda-acqua marina di intrusione continentale con conseguente aumento della salinità nella falda profonda.

Un particolare tipo di inquinamento è quello legato alla presenza di discariche di rifiuti non opportunamente impermeabilizzate che rilasciano nel tempo percolati con elevati carichi inquinanti. Queste, insieme alle cave dismesse (potenziale ricettacolo di rifiuti di ogni genere), costituiscono aree di forte contaminazione puntuale.

La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi implica la conoscenza di tutti questi fattori ed i fenomeni connessi all'interazione di un inquinante con il mezzo acquifero. L'infiltrazione degli inquinanti nel sottosuolo, ad opera delle acque superficiali, avviene essenzialmente per gravità ed è direttamente connessa alla permeabilità dei litotipi attraversati. Un inquinante può così giungere rapidamente in falda attraverso discontinuità di origine tettonica o carsica, oppure impiegare periodi più o meno lunghi in rocce permeabili per porosità di interstizi.

I depositi calcarei presenti nell'area di intervento sono caratterizzati da una medio-alta permeabilità. Un metodo semplice per valutare la vulnerabilità degli acquiferi può essere espressa attraverso il tempo  $t$  necessario perché un inquinante raggiunga la zona satura. Tale tempo si ricava dalla legge di Darcy che in termini di velocità reale di deflusso ( $V_r$ ) risulta:

$$V_r = K i / n_e$$

che può essere scritta  $V_r = s/t$  e pertanto:

$$t = s \cdot n_e / K i$$

dove:

$s$  = spessore del terreno non saturo;

$K$  = coefficiente di permeabilità;

$i$  = gradiente idraulico;

$n_e$  = porosità efficace.

Per l'assegnazione dell'ordine di grandezza dei coefficienti di permeabilità, i cui caratteri di permeabilità sono stati illustrati in precedenza, si è fatto ricorso a dati bibliografici. I calcari nell'area di intervento sono caratterizzate da valori di medio-alta vulnerabilità, con tempi di permanenza corti da 1 settimana a 1 anno. Le opere di progetto, che non comportano modifiche o aumenti delle superfici impermeabilizzate al piano campagna, manterranno inalterata la caratteristica di vulnerabilità della falda.

## **5. CONFORMITÀ DELL'INTERVENTO CON IL PAI (PIANO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO)**

La Regione Puglia, nella veste dell'Autorità di Bacino (AdB) ha redatto il PAI (Piano di Bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico), con Delibera n. 25 del 15 Dicembre 2004 e approvato in via definitiva con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Puglia n. 39 del 30 novembre 2005. Il PAI, costituendo ai sensi dell'articolo 17, comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989 n. 183, il Piano Stralcio del Piano di Bacino, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico e operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

Il PAI è composto dalla Relazione Generale, dalle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) e dagli elaborati grafici. Le NTA del PAI sono organizzate secondo il relativo campo di applicazione, di seguito esposto: Assetto Idraulico; Assetto Geomorfologico; Programmazione ed Attuazione delle Azioni del PAI; Procedure di Formazione, Revisione, Verifica e Aggiornamento del PAI; Disposizioni Generali Finali. Con il PAI entrano in vigore le norme di salvaguardia per il territorio pugliese mirate "al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e di stabilità geomorfologia necessarie a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso" (art. 1, Titolo I).

Il PAI ha classificato le zone del territorio regionale in base a: *Pericolosità idraulica*, *Pericolosità geomorfologia*, e *Rischio*. Le aree a *Pericolosità idraulica* sono così classificate: AP aree ad alta probabilità di inondazione, MP aree a media probabilità di inondazione, e BP aree a bassa probabilità di inondazione. Le aree a *Pericolosità geomorfologica* sono così classificate: aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3), aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2), aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1).

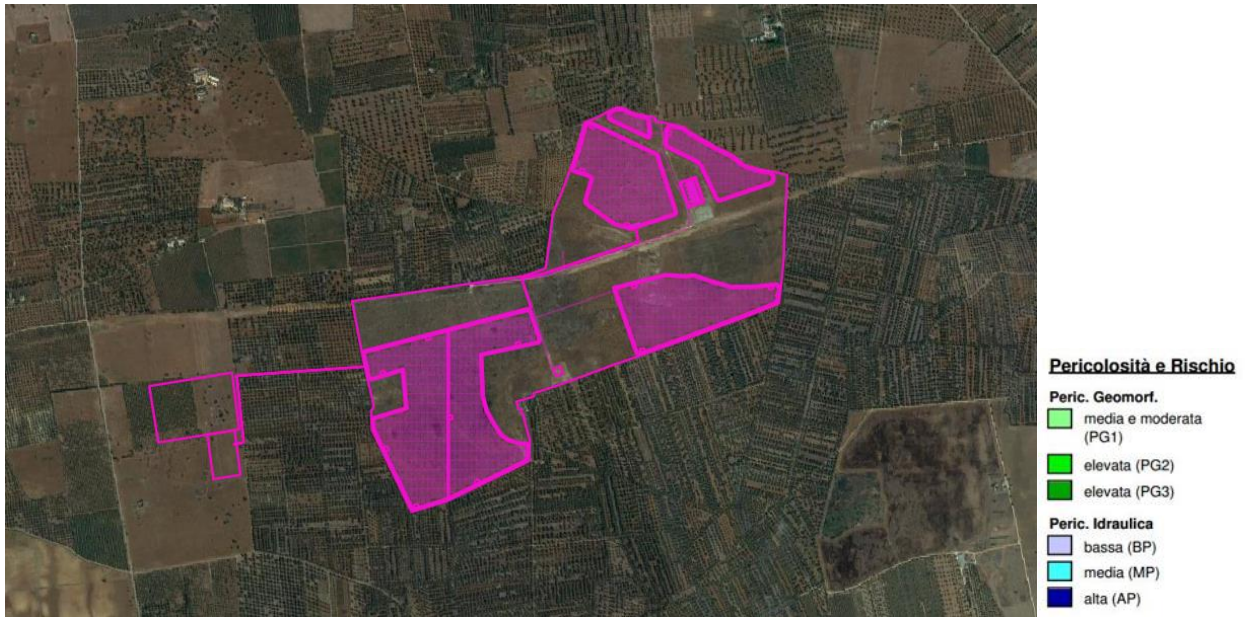
Sono definite quattro classi di *Rischio*: moderato R1, per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali; medio R2, per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche; elevato R3, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale; molto elevato R4, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socio-economiche.

La zona di progetto non è interessata ad oggi da perimetrazione di aree soggette a pericolosità o rischio idraulico o geomorfologico (Fig. 10).

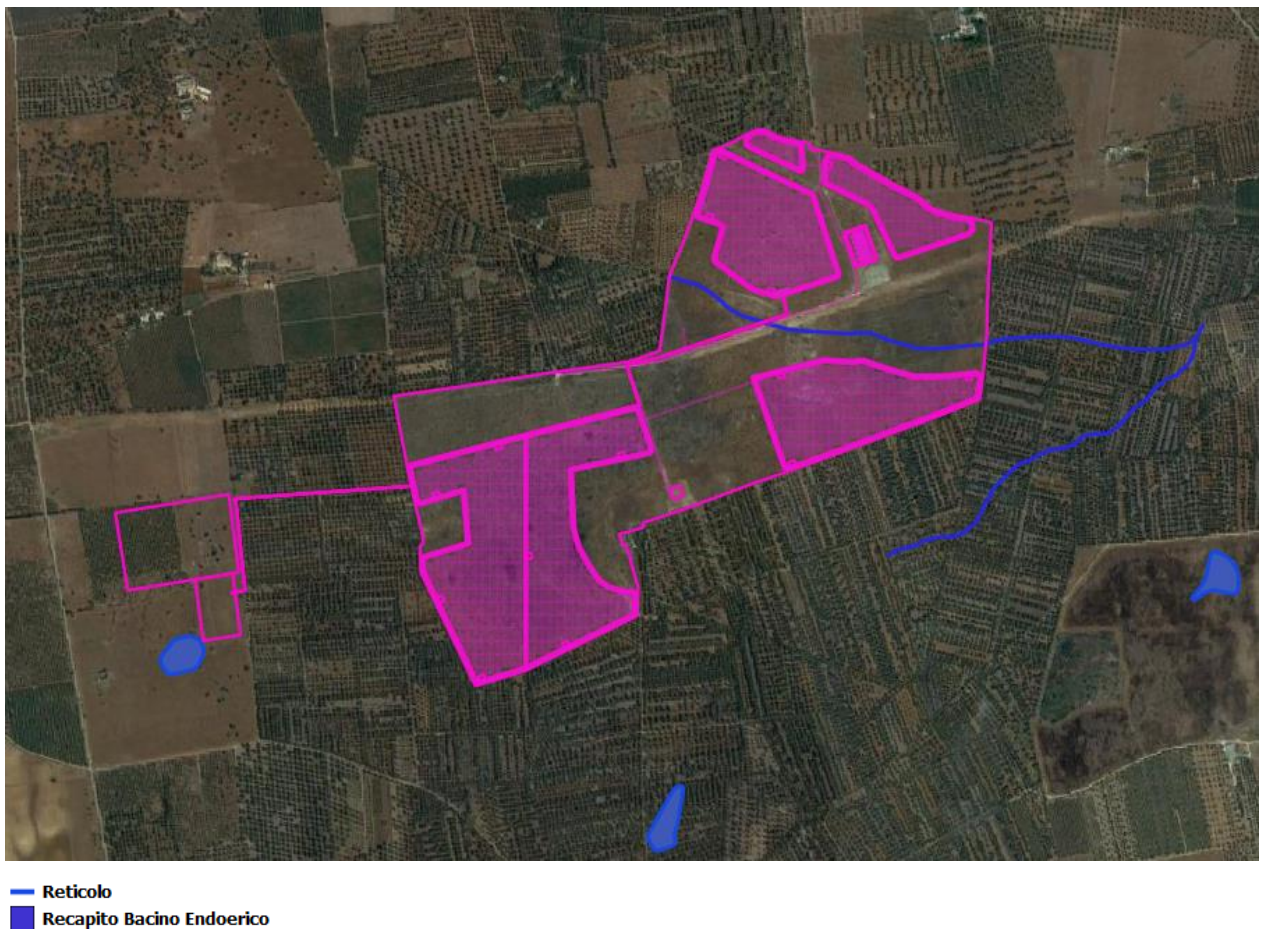
La carta idrogeomorfologica regionale individua la presenza di un ramo del reticolo idrografico locale che attraversa l'area oggetto di analisi (Fig.11). L'art.6, comma 8 delle NTA del PAI individua l'area golenale che, qualora non arealmente individuata nella cartografia e nel caso in cui le condizioni morfologiche non ne consentano la precisa determinazione, inglobano la porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m (Fig.12).

La fascia di pertinenza fluviale (Fig. 12) è soggetta alle prescrizioni dell'art. 10 delle NTA del PAI:

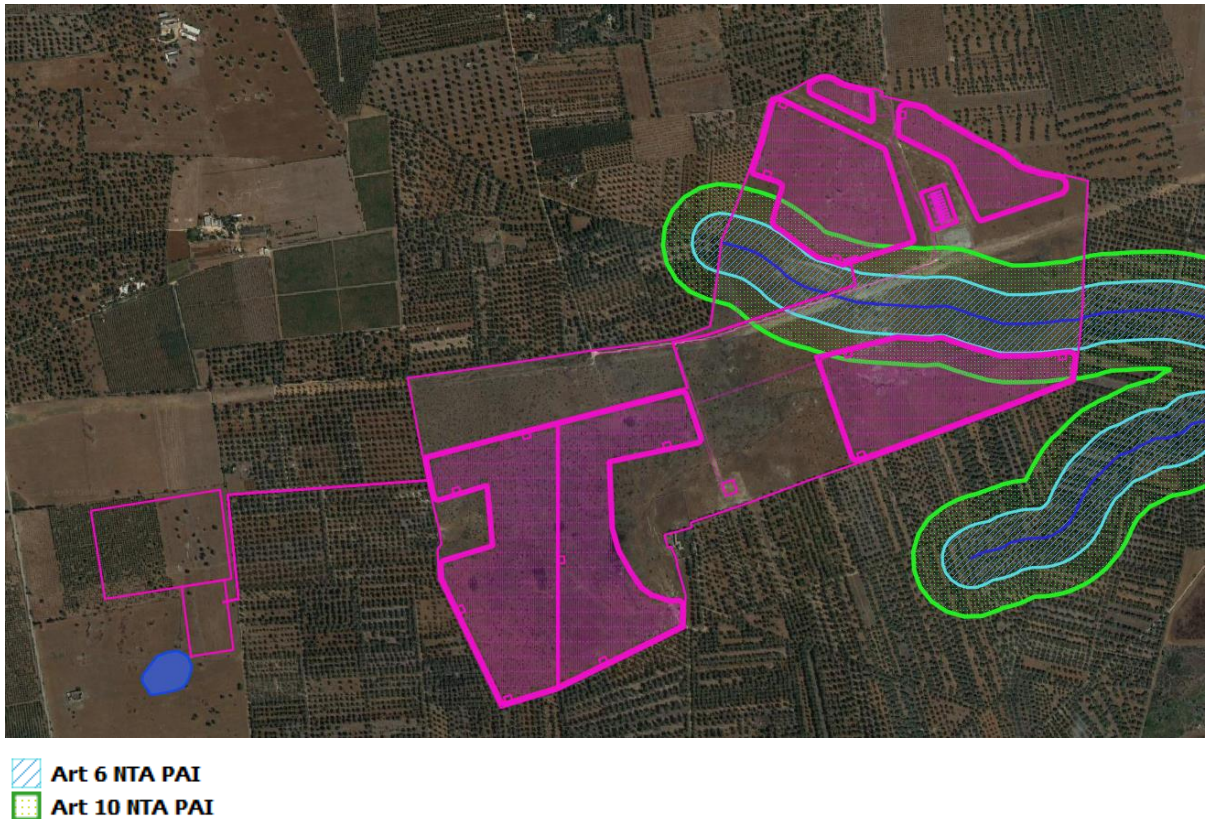
- Comma 2: all'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.
- Comma 3: quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.



**FIG 10 - Stralcio PAI AdB**

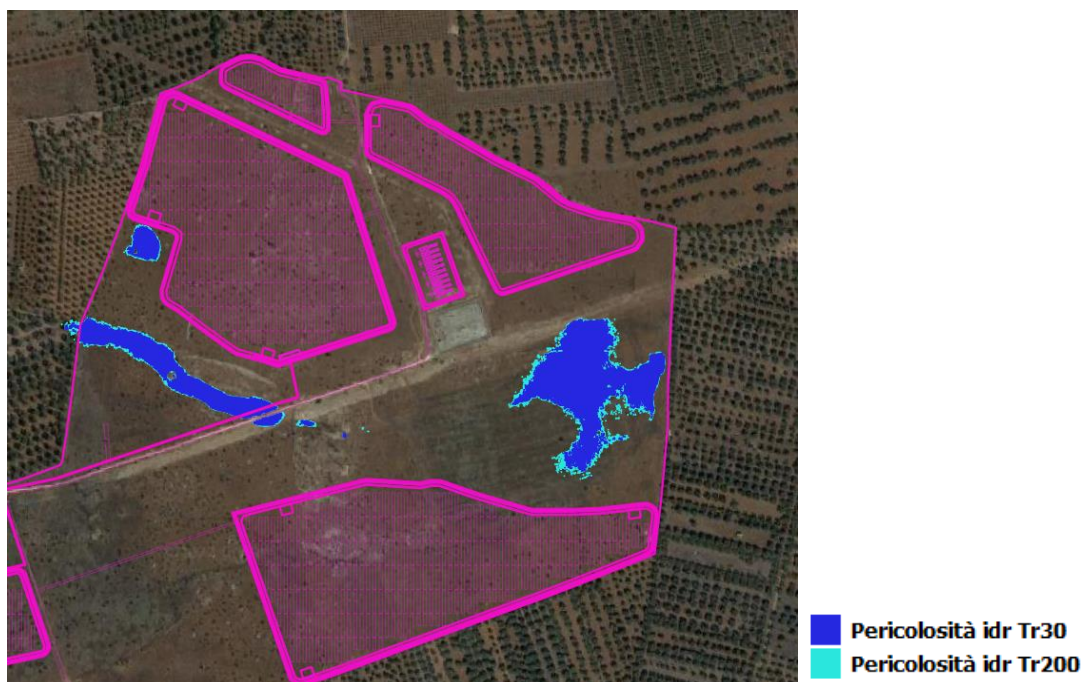


**FIG 11 – Reticolo idrografico locale all'interno e in prossimità del lotto di impianto.**



**FIG.12** – Art.6 e Art.10 delle NTA del PAI all'interno e in prossimità del lotto di intervento di impianto

I risultati ottenuti dallo studio di compatibilità idrologica e idraulica sul tratto di corso d'acqua che intercetta l'area di interesse hanno messo in evidenza che i deflussi idrici, per i tempi di ritorno esaminati (30 e 200 anni), non interferiscono con il progetto e in particolar modo con le zone di posizionamento dei pannelli fotovoltaici (Fig.12A).



**FIG 12A** – Art.6 e Art.10 delle NTA del PAI all'interno del lotto di intervento

## 6. INDAGINI ESEGUITE – Sismica a rifrazione

### 6.1 Cenni sul metodo

Il metodo di esplorazione sismica utilizza la propagazione delle onde meccaniche per caratterizzare le proprietà elastiche del sottosuolo e quindi la geometria dei mezzi attraversati. La tecnica di base consiste nel generare delle onde meccaniche, mediante sorgenti poste in punti opportunamente scelti sulla superficie topografica, e nel misurare i tempi impiegati dalle perturbazioni elastiche per raggiungere i geofoni, anch'essi opportunamente posizionati sulla superficie topografica. In particolare, l'esplorazione eseguita con il metodo della rifrazione si basa sull'analisi del tempo di arrivo dell'onda diretta e delle onde di testa; queste ultime sono onde rifratte che si determinano nel caso in cui la velocità di propagazione delle onde è crescente con la profondità, quando l'angolo di incidenza è critico.

L'obiettivo principale del metodo sismico tomografico a rifrazione è quello di determinare la velocità e le sue variazioni nel mezzo indagato, utilizzando i tempi di viaggio ottenuti da un rilievo di sismica a rifrazione. La relazione tra velocità dell'onda sismica e tempi di viaggio del raggio sismico è, per un set di  $M$  raggi:

$$\delta \mathbf{t} = \mathbf{A} \delta \mathbf{v} \quad (1)$$

dove  $\delta \mathbf{t}$  è il vettore dei tempi di viaggio residui ( $t_{\text{osservati}} - t_{\text{calcolati}}$ ),  $\mathbf{A}$  è la matrice Jacobiana  $\partial t_i / \partial v_j$ , e  $\delta \mathbf{v}$  è il vettore velocità di perturbazione.

Un approccio alternativo è quello che introduce il concetto di lentezza dell'onda. Se si definisce la lentezza dell'onda come  $u(x) = v^{-1}(x)$ , allora la (1) diventa:

$$\mathbf{t} = \mathbf{A} \mathbf{u} \quad (2)$$

dove  $\mathbf{t}$  è il vettore dei tempi di viaggio osservati,  $\mathbf{A} = dl_{ij}$  matrice delle lunghezze dei percorsi parziali e  $\mathbf{u}$  = vettore dei valori della lentezza. Gli elementi  $A_{ij}$  rappresentano la lunghezza del percorso dell' $i$ -esimo raggio nella  $j$ -esima cella.

L'individuazione dei valori della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo attraversato consentono una caratterizzazione del mezzo stesso attraverso i parametri  $\Gamma$  (densità lineare di frattura),  $C$  (densità di frattura) e RQD (Rock Quality Designation).

Se si considera un sistema in  $R$  differenti set di fratture con orientazioni diverse; scegliendo il set  $j$ -esimo e il profilo perpendicolare alla direzione delle fratture di tale set, si definisce densità lineare di frattura  $\Gamma$  il numero di fratture presenti per unità di lunghezza lungo il profilo stesso.

Un altro parametro della roccia fratturata che può essere usato per caratterizzare il suo stato meccanico ed idraulico, è la densità di frattura  $C$  definita come:

$$C = \frac{\Gamma}{\langle \cos \theta_j \rangle (1 - \ln r_{\min})}$$

dove  $\theta_j$  è l'orientazione del  $j$ -esimo set di fratture rispetto alla perpendicolare, verso il basso, al profilo preso in considerazione ( $\theta = 0^\circ$  per fratture verticali),  $\langle \cdot \rangle$  denota il valore medio,  $\Gamma$  è la densità di frattura lineare,  $r_{\min}$  è la lunghezza della frattura più piccola.

Un altro parametro importante è il fattore di qualità della roccia RDQ (Rock Quality Designation), definito come il rapporto tra la somma delle distanze (superiori a 10 cm) fra le fratture lungo il profilo, e la lunghezza del profilo stesso; tale rapporto è espresso in termini percentuali. Questo "indice di qualità", può fornire una valutazione preliminare delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche di una formazione rocciosa (Tab.1).

RDQ %	QUALITA' DELLA ROCCIA
0-25	Molto scadente
25-50	Scadente
50-75	Discreta
75-90	Buona
90-100	Eccellente

TAB. 1 Classificazione della qualità della roccia secondo l'indice RDQ

Esistono delle relazioni empiriche che legano i parametri di frattura di una formazione rocciosa alle velocità di propagazione delle onde P ed S. Per questo motivo, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo è possibile stabilire la qualità di una formazione rocciosa.

Attraverso l'utilizzo delle velocità di propagazione delle onde P ed S, è anche possibile stimare i valori di densità di massa ( $\rho$ ) delle formazioni rocciose indagate. La relazione empirica utilizzata per la stima di  $\rho$  è:

$$\rho = 0.23V_p^{0.25}$$

Con le formule di seguito è possibile il calcolo del coefficiente di Poisson ( $\sigma$ ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G).

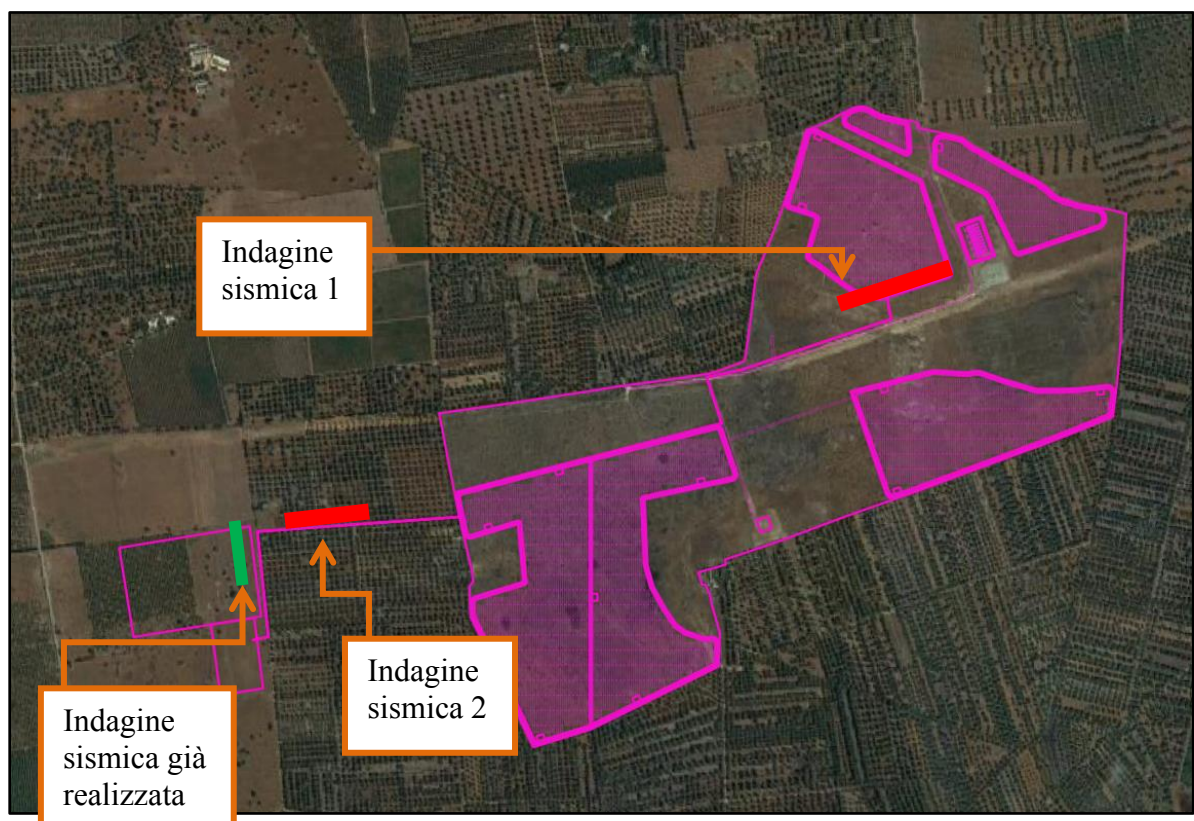
$$\sigma = \frac{0.5 \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

$$E = 2\rho V_p^2 (1 + \sigma)$$

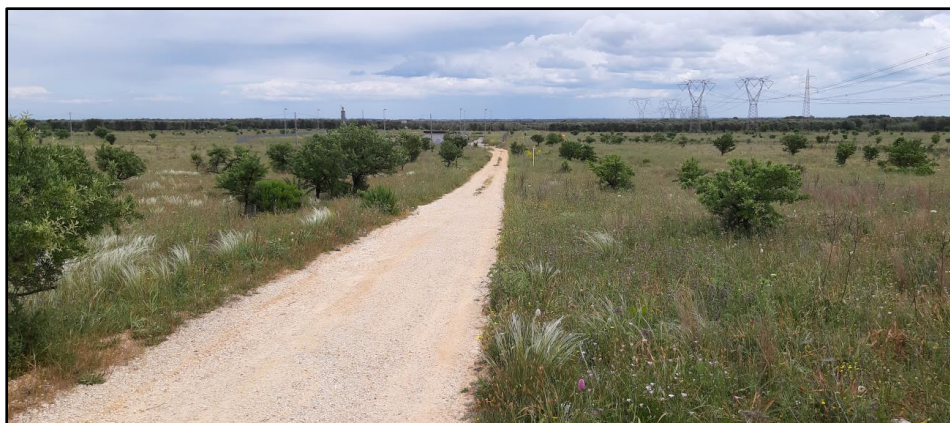
$$G = \rho V_s^2$$

## 6.2 Profili sismici

Per indagare gli strati formazionali presenti nel terreno oggetto di intervento, sono stati presi in considerazione due profili sismici a rifrazione effettuati dalla scrivente in corrispondenza dell'area di intervento e dell'elettrodotto (Fig.13) e un profilo sismico realizzato nell'ambito della Relazione Geologico-Tecnica prodotta nell'ambito della realizzazione della stazione elettrica 150/380 kV a firma del Geol. Marcello De Donatis. I profili analizzati sono rappresentativi dell'intera area progettuale, caratterizzata da una successione stratigrafica e un substrato roccioso pressoché omogeneo.



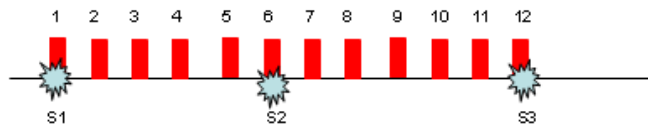




**FIG 13** - Ubicazione Indagini su ortofoto (linea di colore rosso) e foto

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 12 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz; l'energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg. Scopo delle indagini era mettere in evidenza possibili variazioni del campo di velocità dell'onda P eventualmente correlabili ai parametri caratterizzanti una formazione rocciosa.

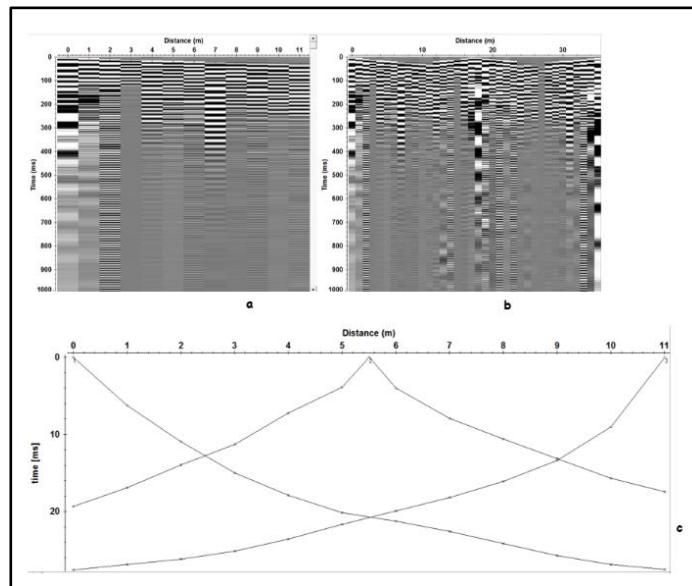
Per tentare di stimare la distribuzione di  $V_p$  è stata utilizzata una tecnica di acquisizione tomografica che fa uso di una opportuna disposizione in superficie di  $n$  geofoni ed  $m$  sorgenti. La geometria scelta per l'acquisizione è stata organizzata mediante un allineamento di 12 geofoni distanti tra di loro 3m: sull'allineamento sono stati posizionati  $n=3$  punti di energizzazione (Fig. 14). La tecnica di acquisizione ha consentito di determinare la velocità media di propagazione in ognuna delle  $N$  ( $N \leq n \times m$ ) celle elementari occupanti la superficie indagata.



**FIG. 14** - Geometria di acquisizione del rilievo sismico tomografico a rifrazione: geofoni: 1, 2,....., 12; punti di energizzazione S1, S2, S3.

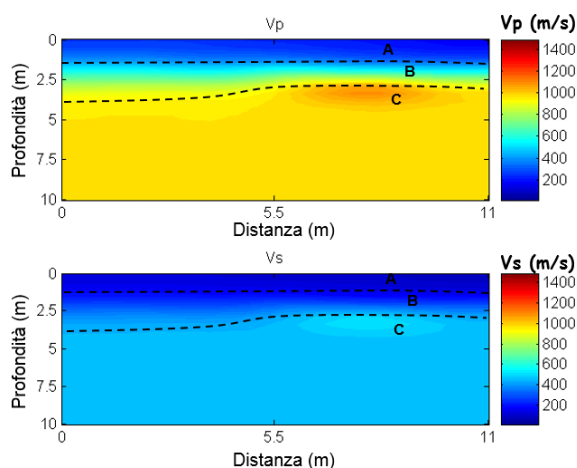
### Indagine sismica 1

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 15b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.15a), ha generato le dromocrone riportate in Fig.15c.



**FIG. 15** - a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.

L'elaborazione delle dromocrone mediante algoritmi sofisticati ha permesso il raggiungimento del modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 16).



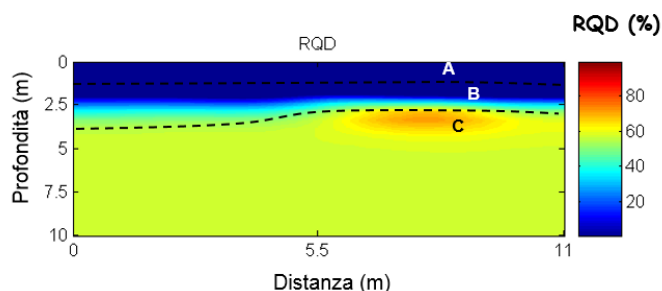
**FIG.16** - Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.

Interpretando la Fig. 12 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 400m/s e 1300m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 200m/s e 700m/s.

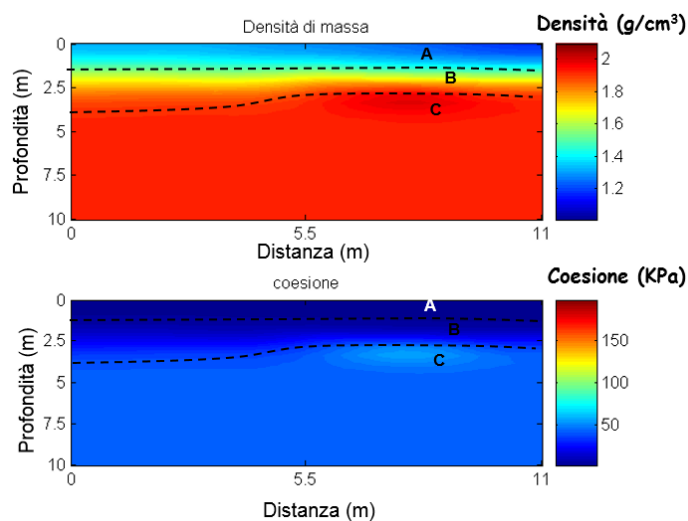
In particolare è possibile discernere la seguente stratigrafia:

- **Strato "A"**:  $V_p=400\text{m/s}$  ( $V_s=200\text{m/s}$ ); strato superficiale fino a 1.0m circa di profondità (terreno vegetale passante ai calcari fratturati di copertura);
- **Strato "B"**:  $800 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $300 < V_s < 400\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale da poco a mediamente compatto (calcari allentati e fratturati) che raggiunge una profondità compresa tra 3m e 4.5m circa;
- **Strato "C"**:  $1100 < V_p < 1300\text{m/s}$  ( $600 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale più compatto (calcari con un alto grado di compattazione).

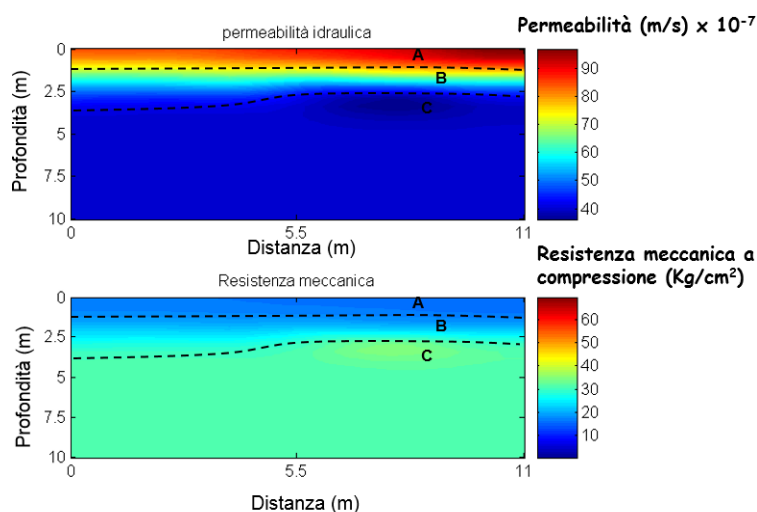
Attraverso l'impiego delle relazioni empiriche precedentemente descritte sono stati ottenuti i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig. 17), densità di massa, coesione (Fig.18) e permeabilità e resistenza meccanica a compressione (Fig. 19).



**FIG.17** - Modello di distribuzione di RQD a varie profondità



**FIG.18** - Modello di distribuzione della densità di massa e della coesione a varie profondità



**FIG. 19** - Modello di distribuzione della permeabilità e resistenza meccanica a compressione a varie profondità.

Nelle tabelle di seguito i dati schematizzati, relativi alle figure precedenti.

Strato	RQD (%)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità (m/s) x 10 <sup>-5</sup>	Resistenza meccanica a compressione (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	<10	1.4	20	90	
<b>B</b>	<10	1.8	50	70	30
<b>C</b>	50	2.0	80	<10	40

Successivamente i valori del coefficiente di Poisson ( $\sigma$ ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G)

Strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
A	0.35	244	90	211	271
B	0.35	509	188	439	564
C	0.35	2310	856	1997	2567

#### Determinazione della Velocità Equivalente $V_{s,eq}$ con la procedura MASW

La velocità equivalente delle onde di taglio è data dalla seguente espressione:

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

Dove:

N = numero degli strati

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

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

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.

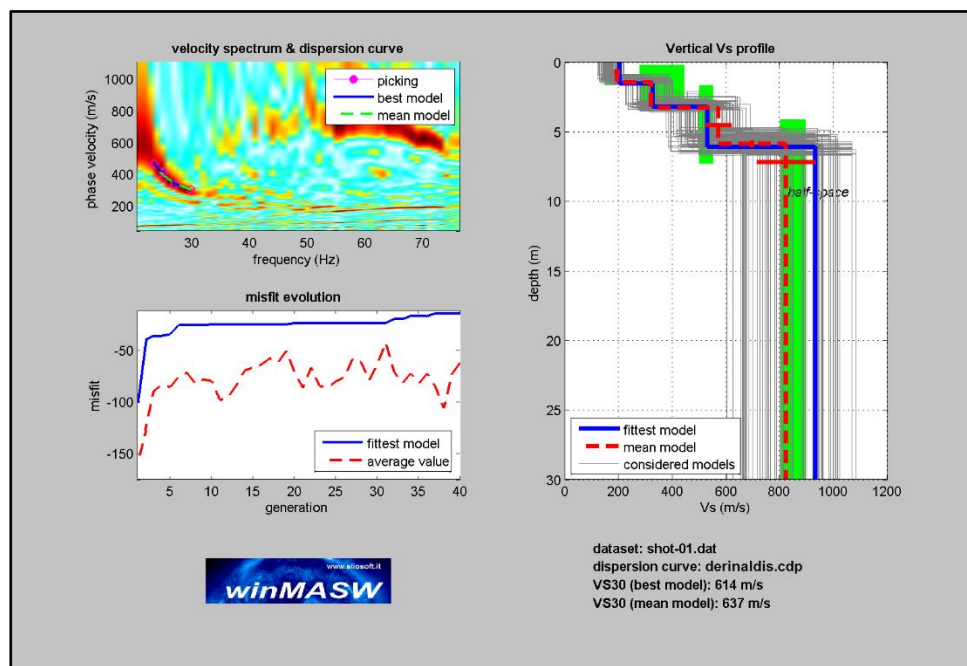
Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz). Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  (profilo 1-D), che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità.

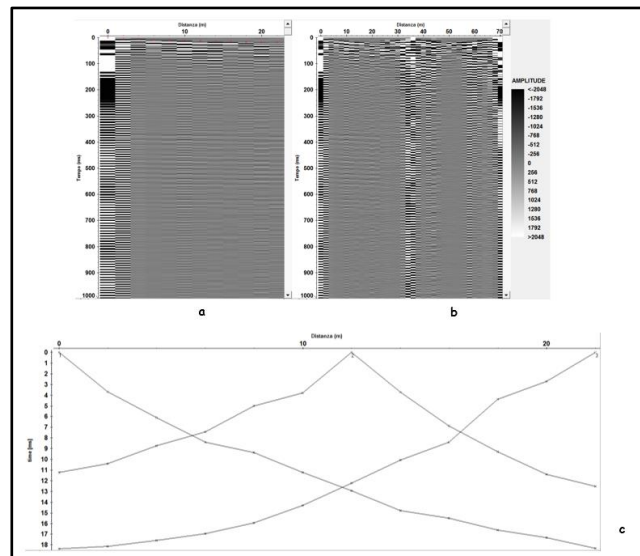
In Fig 20 viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Velocità Equivalente.



**FIG.20** - Curva di dispersione con profilo verticale della velocità  $V_s$  al variare della profondità.

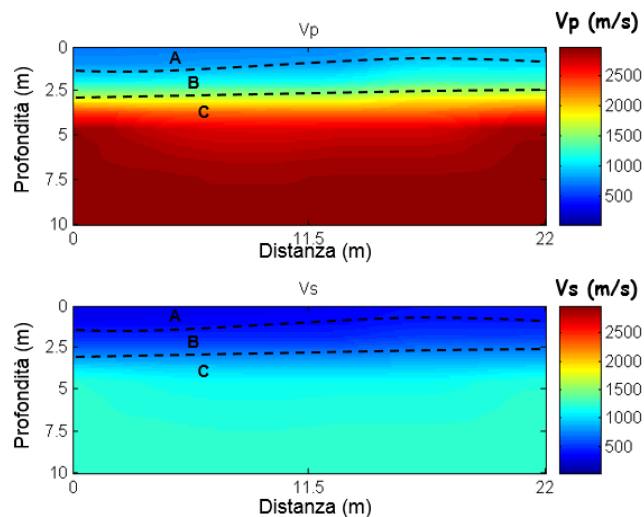
## Indagine sismica 2

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 21b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.21a), ha generato le dromocrone riportate in Fig.21c.



**FIG. 21** - a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.

L'elaborazione delle dromocrone mediante algoritmi sofisticati ha permesso il raggiungimento del modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 22).



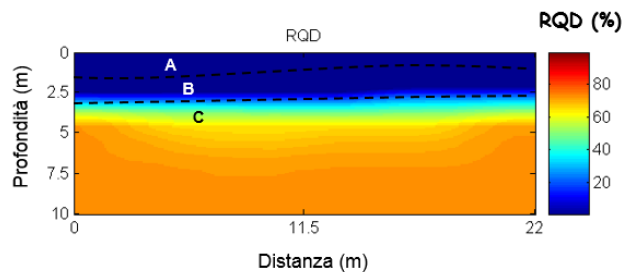
**FIG.22** - Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.

Interpretando la Fig. 22 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2800m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 200m/s e 1500m/s.

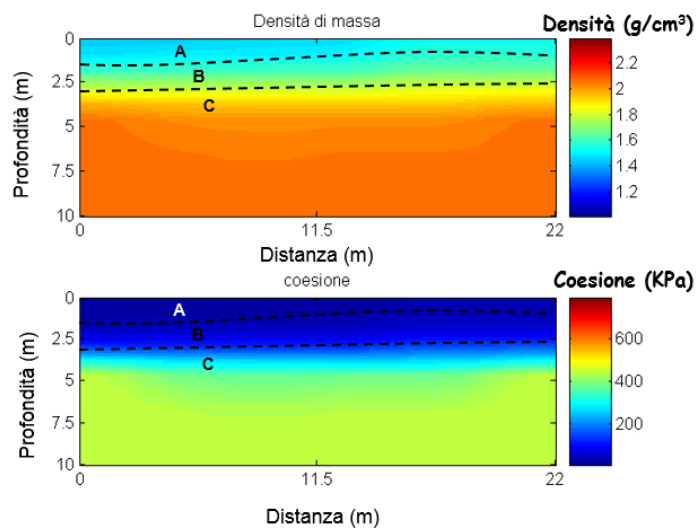
In particolare è possibile discernere la seguente stratigrafia:

- Strato "A":  $V_p=600$  m/s ( $V_s=200$ m/s); strato superficiale da 0.8m a 1.5m circa di profondità (terreno vegetale passante ai calcari fratturati di copertura);
- Strato "B":  $1300 < V_p < 1800$ m/s ( $600 < V_s < 800$ m/s); probabile presenza di materiale compatto da 2.0m a 2.7m circa di profondità (calcari allentati e fratturati);
- Strato "C":  $2000 < V_p < 2800$ m/s ( $1000 < V_s < 1500$ m/s); da 2.7m circa di profondità; probabile presenza di materiale più compatto (calcari con un alto grado di compattazione).

Attraverso l'impiego delle relazioni empiriche precedentemente descritte sono stati ottenuti i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig. 23), densità di massa, coesione (Fig.24), permeabilità idraulica e resistenza meccanica a compressione (Fig. 25).

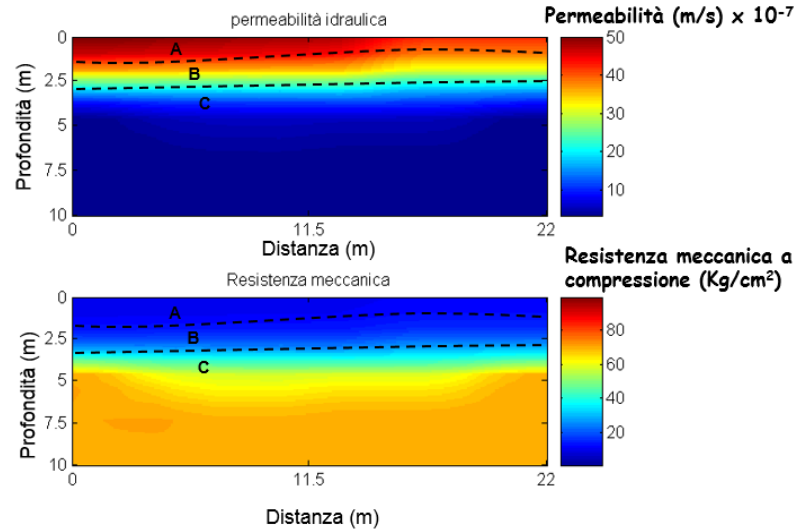


**FIG.23** - Modello di distribuzione di RQD a varie profondità.



**FIG.24** - Modello di distribuzione della densità di massa e della coesione a varie profondità.





**FIG. 25** - Modello di distribuzione della permeabilità e resistenza meccanica a compressione a varie profondità.

Nelle tabelle di seguito i dati schematizzati, relativi alle figure precedenti.

Strato	RQD (%)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità (m/s) x 10 <sup>-5</sup>	Resistenza meccanica a compressione (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	<10	1.6	20	50	
<b>B</b>	<10	1.8	100	30	20
<b>C</b>	40-60	2.2	400	<10	60

Successivamente i valori del coefficiente di Poisson ( $\sigma$ ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G)

Strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
<b>A</b>	0.36	64	24	59	74
<b>B</b>	0.35	1320	490	1122	1449
<b>C</b>	0.33	4854	1824	3553	4769

Determinazione della Velocità Equivalente  $V_{s,eq}$  con la procedura MASW

La velocità equivalente delle onde di taglio è data dalla seguente espressione:

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

Dove:

$N$  = numero degli strati

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo

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

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

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

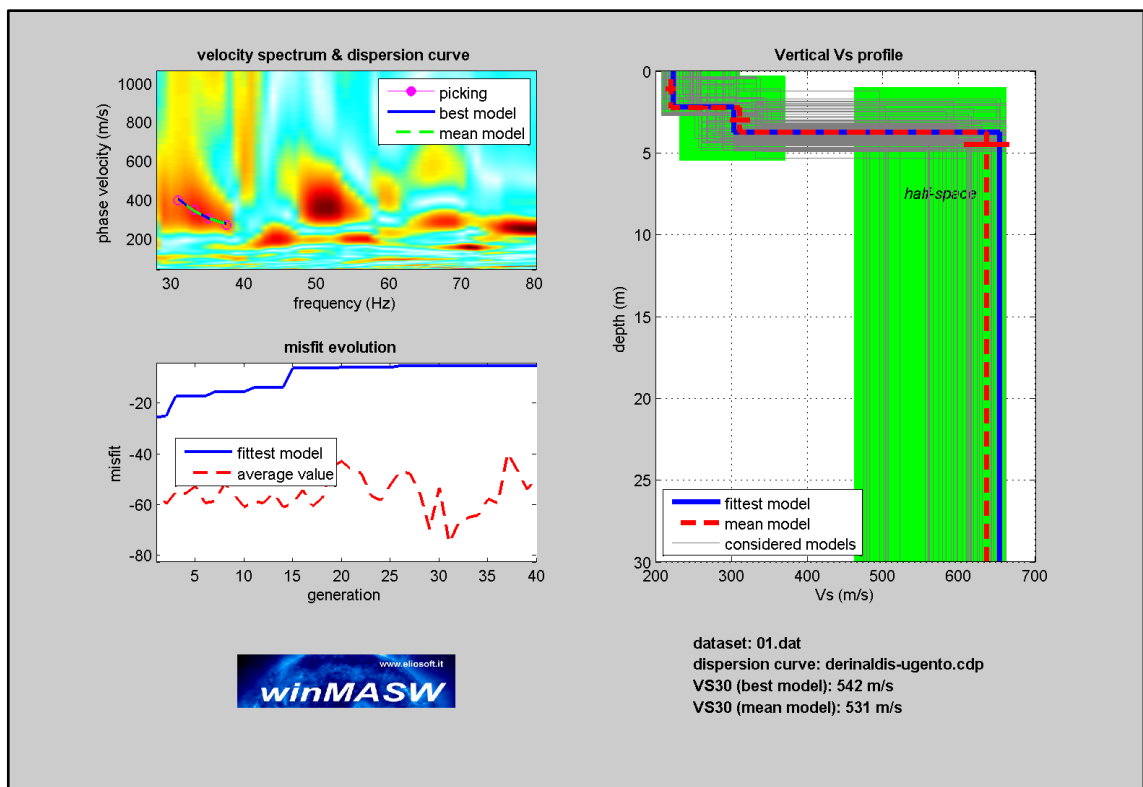
La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D), che descrive la variazione di Vs con la profondità.

In Fig 26 viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Velocità Equivalente.



**FIG.26** - Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità.

## 7. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL TERRENO

La ricostruzione del modello litostratigrafico del sottosuolo è stata effettuata mediante l'utilizzo dei dati rilevati dalle indagini eseguite nonché dal censimento di dati stratigrafici esistenti nelle aree vicine.

Dal punto di vista stratigrafico i terreni di fondazione sono caratterizzati dalla presenza di "depositi calcarei".

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica n.1:

Strato	Profondità dal P.C.		Descrizione
Livello A	0.0 m– 1.0 m		Copertura superficiale vegetale
Livello B	1.0 m – 4.5 m		Calcari fratturati e allentati
Livello C	>4.5 m		Calcari con un alto grado di compattazione

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

### **Livello B**

Angolo di attrito interno ( $\phi$ ) = 28°

Densità ( $\gamma$ ) (g/cm<sup>3</sup>) = 1.8

Coesione (KPa) = 50

RQD = <10%

Permeabilità = 70 m/sec X 10<sup>-5</sup>

C.Poisson = 0,35

Modulo di deformazione al taglio (G) (MPa) = 188

Modulo di Young (E) (MPa) = 509

Lamè (MPa) = 439

Bulk (MPa) = 564

Costante di Winkler (N/cm<sup>3</sup>) = 60-70

Resistenza meccanica a compressione (Kg/cm<sup>2</sup>) = 30

L'elaborazione della prova sismica MASW ha permesso di determinare la categoria sismica del terreno di fondazione; il valore di Vs30 è di 637 m/sec, per cui il terreno rientra nella **Categoria Sismica 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.

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica n.2:

Strato	Profondità dal P.C.		Descrizione
--------	---------------------	--	-------------

Livello A	0.0 m– 0.8/1.5 m		Copertura superficiale vegetale
Livello B	1.5 m – 2.0/2.7 m		Calcari fratturati e allentati
Livello C	>2.7 m		Calcari con un alto grado di compattazione

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

### **Livello B**

Angolo di attrito interno ( $\phi$ ) = 30°

Densità ( $\gamma$ ) (g/cm<sup>3</sup>) = 1.9

Coesione (KPa) = 50

RQD = <10%

Permeabilità = 50 m/sec X 10<sup>-5</sup>

C.Poisson = 0,35

Modulo di deformazione al taglio (G) (MPa) = 588

Modulo di Young (E) (MPa) = 1588

Lamè (MPa) = 1371

Bulk (MPa) = 1763

Costante di Winkler (N/cm<sup>3</sup>) = 60-70

Resistenza meccanica a compressione (Kg/cm<sup>2</sup>) = 20

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica redatta nell'ambito dello studio geologico-tecnico per la realizzazione della Stazione Elettrica 150/380 kV:

<b>Strato</b>	<b>Profondità dal P.C.</b>		<b>Descrizione</b>
Livello A	0.0 m– 0.6/1.0 m		Copertura superficiale vegetale
Livello B	0.6/1.0 m – 6.2 m		Calcari fratturati e allentati
Livello C	>6.2 m		Calcere poco fratturato

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

### **Livello B**

$V_p = 1900-2100$  m/sec

$V_s = 640-675$  m/sec

R.Q.D. = 47%

$E = 90000$  Kg/cm<sup>q</sup>

Densità ( $\gamma$ ) (g/cm<sup>3</sup>) = 2.25

L'elaborazione della prova sismica MASW ha permesso di determinare la categoria sismica del terreno di fondazione; il valore di  $V_{s30}$  è di 531 m/sec, per cui il terreno rientra nella **Categoria Sismica 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.

Secondo le NTC 2018 la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto è in 5 categorie (A-B-C-D-E); di seguito la loro descrizione.

**Categoria 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.

**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.

**Categoria C** – Depositati 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.

**Categoria D** – Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un

miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

**Categoria 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.

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

### 8.1 Pericolosità sismica di base ai sensi delle NTC

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Come riportato nelle NTC 2018, la pericolosità sismica in un sito generico deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopraccitate;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno dell'azione sismica TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati in seguito (e specificati nelle NTC), per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche nel sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Allo stato attuale la “pericolosità sismica di base” è

stata definita su tutto il territorio nazionale dall'INGV attraverso un reticolo di riferimento con una maglia avente passo <10 km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso fra 30 e 2475 anni, estremi inclusi. I dati sono consultabili sul sito web <http://esse1.mi.ingv.it>.

Le azioni di progetto si ricavano quindi, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste nella vigente normativa (NTC) sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri seguenti:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri si determinano sulla base del reticolo definendo, innanzitutto, la vita di riferimento  $V_R$  (dipende dalla vita nominale e dalla classe d'uso in una costruzione) e la probabilità di eccedenza nella vita  $P_{VR}$  di riferimento associate a ciascuno degli stati limite considerati e quindi calcolando il periodo di ritorno di riferimento  $T_R$ . Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati nella Normativa, sono riportate nella tabella seguente:

Stati Limite		PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

## 8.2 Condizioni topografiche

Nell'ambito delle condizioni topografiche semplici viene adottata la classificazione della tabella seguente:

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 $i > 30^\circ$



Tenendo conto delle condizioni topografiche in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tabella successiva, funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nell'area di intervento la categoria di riferimento è la T1, da cui  $S_T = 1,0$

### 8.3 Valutazione dei parametri sismici ai sensi delle NTC

Per qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto ( $F_0$ ,  $ag$  e  $T_c^*$ ) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame secondo quanto indicato nell'Allegato delle NTC. La determinazione dei parametri sismici può essere effettuata mediante l'utilizzo di alcuni software come "Spettri di risposta 1.03" (disponibile all'indirizzo web <http://www.infrastrutture.gov.it>) oppure il software "Geostru PS" (disponibile all'indirizzo web <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>) che permettono di ottenere i dati sismici relativi inserendo le coordinate geografiche dell'area in esame, la classe d'uso dell'opera e la sua vita nominale.

Nel caso in esame sono stati desunti i parametri riportati di seguito sulla base dei dati in input:

- Coordinate geografiche nel punto centrale dell'area di intervento (sistema di coordinate geografiche WGS84): Latitudine 40.600217° – Longitudine 17.737049°
- Vita nominale = 50 anni
- Classe d'uso = I (Presenza occasionale di persone)
- Coefficiente d'uso  $CU = 0,7$
- Categoria sottosuolo = B
- Categoria Topografica = T1

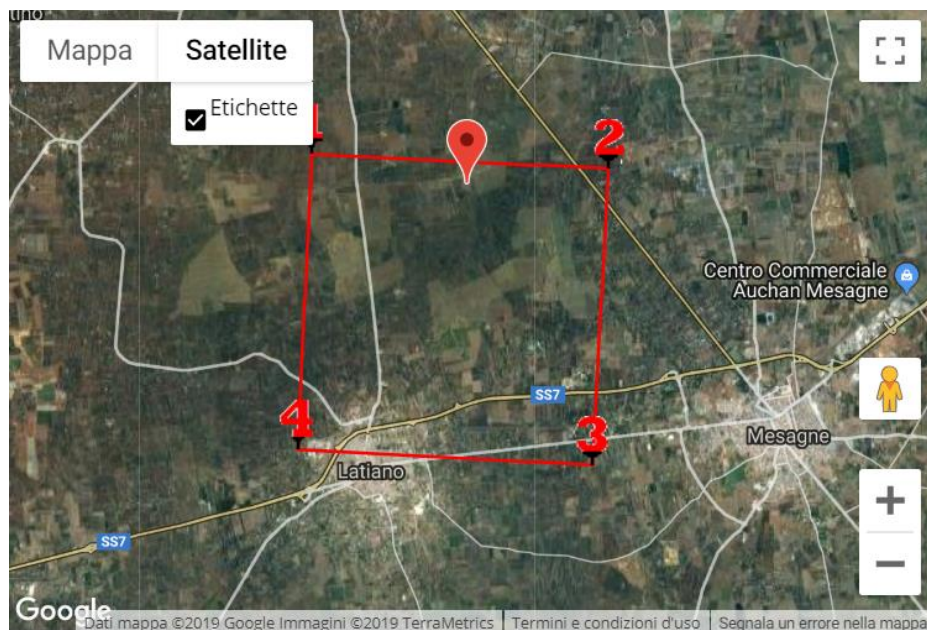
Di seguito si riportano i relativi parametri sismici associati ai diversi stati limite.

PARAMETRI SISMICI				
SL	Tr (anni)	Ag (g)	Fo	Tc* (s)

<b>Operatività SLO</b>	30	0,016	2,364	0,159
<b>Danno SLD</b>	35	0,018	2,366	0,178
<b>Salvaguardia della vita SLV</b>	332	0,043	2,574	0,413
<b>Prevenzione del collasso SLC</b>	682	0,052	2,708	0,455
<b>Periodo di riferimento per l'azione sismica</b>	35			

COEFFICIENTI SISMICI			
SL	Ss	Cc	St
SLO	1,20	1,59	1,00
SLD	1,20	1,55	1,00
SLV	1,20	1,31	1,00
SLC	1,20	1,29	1,00

COEFFICIENTI SISMICI				
SL	Kh	Kv	Amax(m/s <sup>2</sup> )	Beta
SLO	0,003	0,002	0,191	0,180
SLD	0,004	0,002	0,207	0,180
SLV	0,009	0,005	0,512	0,180
SLC	0,011	0,006	0,616	0,180



#### 8.4 Classificazione Sismica

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (D.lgs 112/98 e DPR 380/01 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle 4 zone. Le aree nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale sono a severità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4).

LA CLASSIFICAZIONE SISMICA ATTUALE	
<b>ZONA 1</b>	E' la zona più pericolosa, dove in passato si sono avuti danni gravissimi a causa di forti terremoti
<b>ZONA 2</b>	Nei comuni inseriti in questa zona in passato si sono avuti danni rilevanti a causa di terremoti abbastanza forti
<b>ZONA 3</b>	I comuni inseriti in questa zona hanno avuto in passato pochi danni. Si possono avere scuotimenti comunque in grado di produrre danni significativi
<b>ZONA 4</b>	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse

Nelle norme tecniche allegate all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 ogni zona sismica è contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	$>0.25$
2	0.15-0.25
3	0.05-0.15
4	$<0.05$

L'area oggetto di intervento, come l'intero comune di Latiano (BR), ricade in zona sismica 4 (Fig.27)



**FIG 27** - Classificazione sismica della Puglia

## 9. CONCLUSIONI

Con la presente la sottoscritta Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia ha redatto uno Studio Geologico nell'ambito del Progetto Definitivo "Realizzazione di un Impianto Agrivoltaico della potenza nominale di 48916,56 kWp – Lotto 9". Il lotto di intervento è sito in agro del Comune di Latiano (BR), a circa 3,5 Km in direzione nord nord-est dal centro abitato di Latiano, al confine comunale nord-est con il Comune di San Vito dei Normanni (BR).

Dallo studio è emerso che:

- dal punto di vista geologico l'area di progetto è caratterizzata dalla presenza di rocce a prevalente composizione calcarea;
- le quote topografiche nell'area di progetto variano da un minimo di circa 73 m s.l.m. ad un massimo di circa 105 m s.l.m.;
- si rileva la presenza di elementi legati alla geomorfologia come "doline" ma l'area di progetto li esclude;
- la zona non è interessata ad oggi da perimetrazione di aree soggette a pericolosità o rischio idraulico o geomorfologico secondo il PAI; si rileva la presenza di un reticolo ma il progetto esclude l'area di pertinenza fluviale secondo l'art.10 delle NTA del PAI;
- le opere di progetto, che non comportano modifiche o aumenti delle superfici impermeabilizzate al piano campagna, mantengono inalterate le caratteristiche di vulnerabilità della falda;
- la natura dell'intervento non varia il regime di ruscellamento delle acque;
- dall'elaborazione delle pendenze si evince che queste sono minori del 15 %;

- in base ai valori della velocità equivalente il terreno fondazionale è classificabile nella categoria di tipo "B";
- l'area di progetto ricade in zona sismica 4.

Dallo studio effettuato dalla sottoscritta relativamente alla situazione geologica dell'area progettuale mediante raccolta bibliografica e indagini in situ, eseguite in corrispondenza dell'area di impianto e del cavidotto MT (delle quali nella presente relazione è stato menzionato, compreso di planimetrie ed ubicazioni delle indagini) e dai dati della Relazione geologica prodotta nell'ambito del progetto definitivo per la realizzazione della nuova SE Terna Latiano 150/380 kV (a firma del geologo Dott. Marcello De Donatis che si allega alla presente) è stato ricostruita la caratterizzazione geologica che consiste nella identificazione delle formazioni presenti nel sito, dello studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo; definendone il modello geologico del sottosuolo, gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici. L'area di progettazione dell'impianto, dei cavidotti di vettoriamento, della Stazione Terna e della SS utente è caratterizzata da caratteristiche geologiche omogenee su tutta l'area di interesse, in quanto insistente su una zona con formazioni rocciose calcaree affioranti.