



COMUNE DI STORNARELLA
 PROVINCIA DI FOGGIA



COMUNE DI ORTA NOVA
 PROVINCIA DI FOGGIA

Progetto per la realizzazione di un impianto agro-fotovoltaico della potenza di 40,658 MWp (36,5 MW in immissione) nei comuni di Stornarella (FG) e Orta Nova (FG) in località "Ferranti", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COD. ID.	FV071FGEFEB				
Livello prog.	Tipo documentazione		N. elaborato	Data	Scala
PD	Definitiva		4.2.3	03 / 2021	-

Nome file	
-----------	--

REVISIONI					
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	MARZO 2021	PRIMA EMISSIONE		MAGNOTTA	MAGNOTTA

COMMITTENTE:

EFE S.R.L.

Via Paolo Andreani, N. 6
 20122 MILANO (MI) ITALIA
 efesrl@pec.cloud

PROGETTAZIONE:



MAXIMA INGEGNERIA S.R.L.
 Direttore tecnico: Ing. Massimo Magnotta
 via Marco Partipilo n.48 - 70124 BARI
 pec: gpsd@pec.it
 P.IVA: 06948690729



PRO.ENERGY ENGINEERING S.R.L.
 Direttore tecnico: Ing. Gianpiero Lavarra
 via Vincenzo Cuoco n.28 - 70043 Monopoli (BA) Italia
 pec: proenergy_pec@pec.it
 P.IVA:08465410721

CONSULENTI:

Ing. Sabrina Scaramuzzi

Viale Luigi De Laurentis, 6 int.20, 70124 Bari (BA) Italia
 Tel./fax. 080 2082652 - 328 5589821
 e-mail: progettoacustica@gmail.com - sabrina.scaramuzzi@ingpec.eu

Dott. Antonio Mesisca

Via A. Moro, B/5, 82021 Apice (BN), Italia
 Tel. 327 1616306
 e-mail: mesisca.antonio@virgilio.it

Dott. Geol. Rocco Porsia

Via Tacito, 31, 75100 Matera (MT) Italia
 Tel: +39 3477151670
 e-mail: r.porsia@laboratorioterre.it

Dott. Gianfranco Vitolla

Via San Benedetto, 20 70013 Castellana Grotte (BA), Italia
 Tel. +39 3294233962
 e-mail: gianfranco.vitolla@virgilio.it

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>					
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA					
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev:			Data: Marzo 2021	Foglio 1 di 47
	00				

INDICE

1. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELLE OPERE.....	2
1.1. IMPIANTO AGROVOLTAICO.....	2
1.2. OPERE DI CONNESSIONE	3
2. CONTESTO GEOLOGICO	5
3. RILEVAMENTI E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	5
3.1. CAMPAGNA DI INDAGINE	5
3.2. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO	7
4. VERIFICHE GEOTECNICHE.....	8
5. STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA.....	11

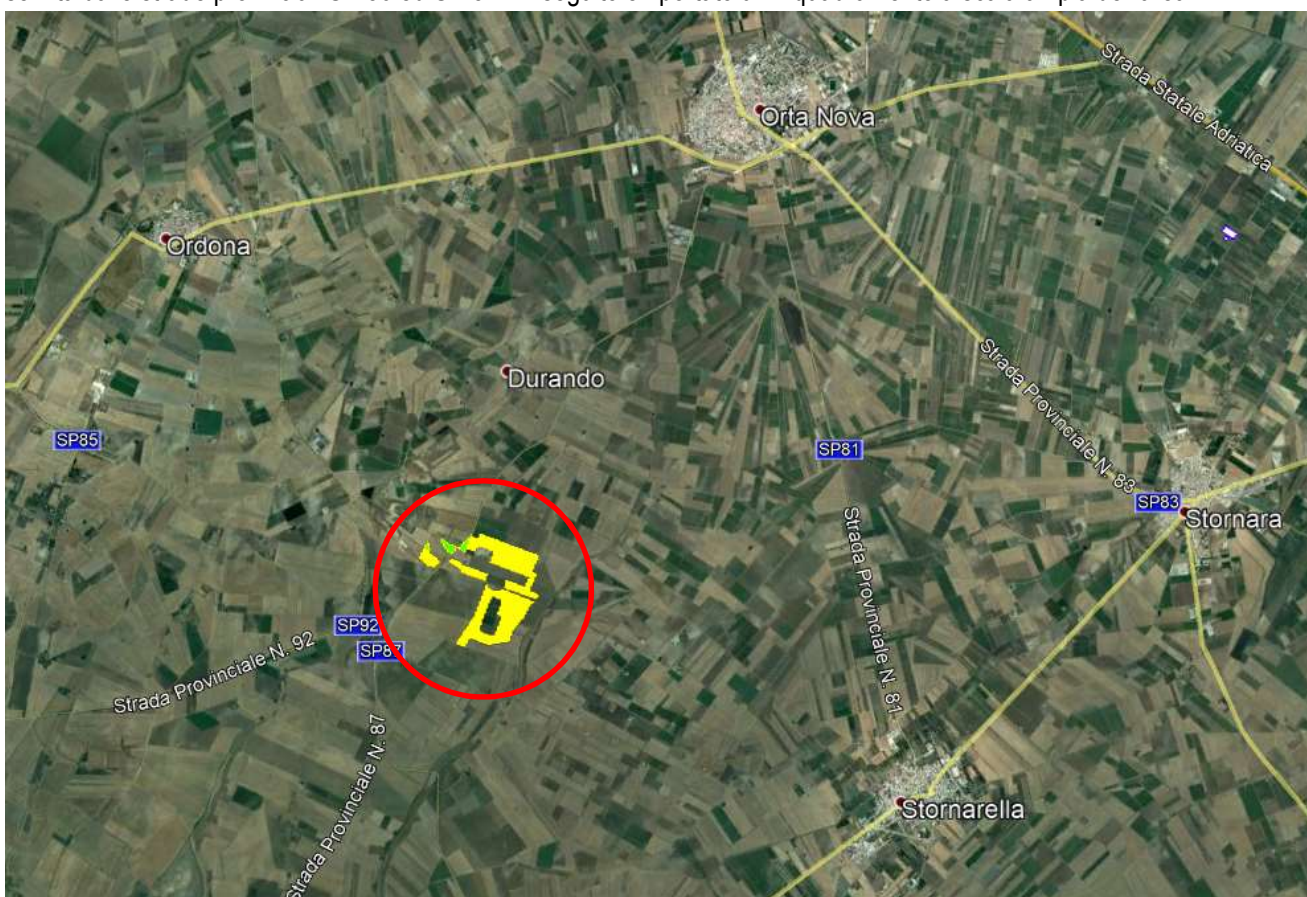
Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>					
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA					
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00			Data: Marzo 2021	Foglio 2 di 47

1. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELLE OPERE

1.1. IMPIANTO AGROVOLTAICO

L'impianto agrovoltaico in progetto è finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare ed avrà una potenza di picco pari a 40,658 MWp (36,500 MW in immissione).

L'area di intervento si estende per circa 78 ettari ed è ubicata a Ovest dei centri abitati di Orta Nova e Stornarella. L'area è servita dalle strade provinciali SP 86 ed SP 87. Di seguito è riportato un inquadramento a scala ampia dell'area.



Inquadramento dall'area su ortofoto

L'area oggetto di intervento, relativamente solo all'impianto agrovoltaico, è identificata in catasto terreni con i seguenti riferimenti:

Comune di Orta Nova, foglio 61, p.lle 80, 81, 83, 96, 108, 203, 206.

Comune di Stornarella, foglio 4, p.lla 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 35, 90, 92, 99, 100, 105, 106, 123, 73, 102, 104.

Le coordinate baricentriche dell'area su cui si estende l'impianto fotovoltaico in progetto sono le seguenti:

Lat. 41.27933°, Long. 15.67322°.

Per il campo fotovoltaico si prevede l'utilizzo di moduli fotovoltaici con potenza di picco di 580W, alloggiati su strutture ad inseguimento tracker monoassiale posti ad una mutua distanza di 10 metri.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>					
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA					
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00			Data: Marzo 2021	Foglio 3 di 47

Tali strutture porta pannello saranno realizzate in carpenteria metallica. Le palancole saranno infisse nel terreno per mezzo di macchina battipalo. La profondità di infissione dei profili in acciaio nel terreno determinata nel seguito.

Gli inseguitori monoassiali in progetto, quindi, sono strutture in carpenteria metallica configurati per supportare i moduli fotovoltaici e farli ruotare su un asse. L'asse di rotazione è ubicato a m 2,50 di altezza e l'inclinazione massima rispetto all'orizzontale è di 60°, pertanto l'altezza massima del bordo dei moduli sarà di m 4,59, esclusivamente nelle prime ore del mattino e nelle ultime della sera, mentre durante l'arco della giornata l'altezza massima del bordo dei moduli sarà inferiore.

Il progetto prevede l'integrazione di un progetto agronomico per il quale, all'interno della stessa area di installazione dell'impianto, verranno seminate diverse colture come meglio descritto negli elaborati progettuali agronomici.

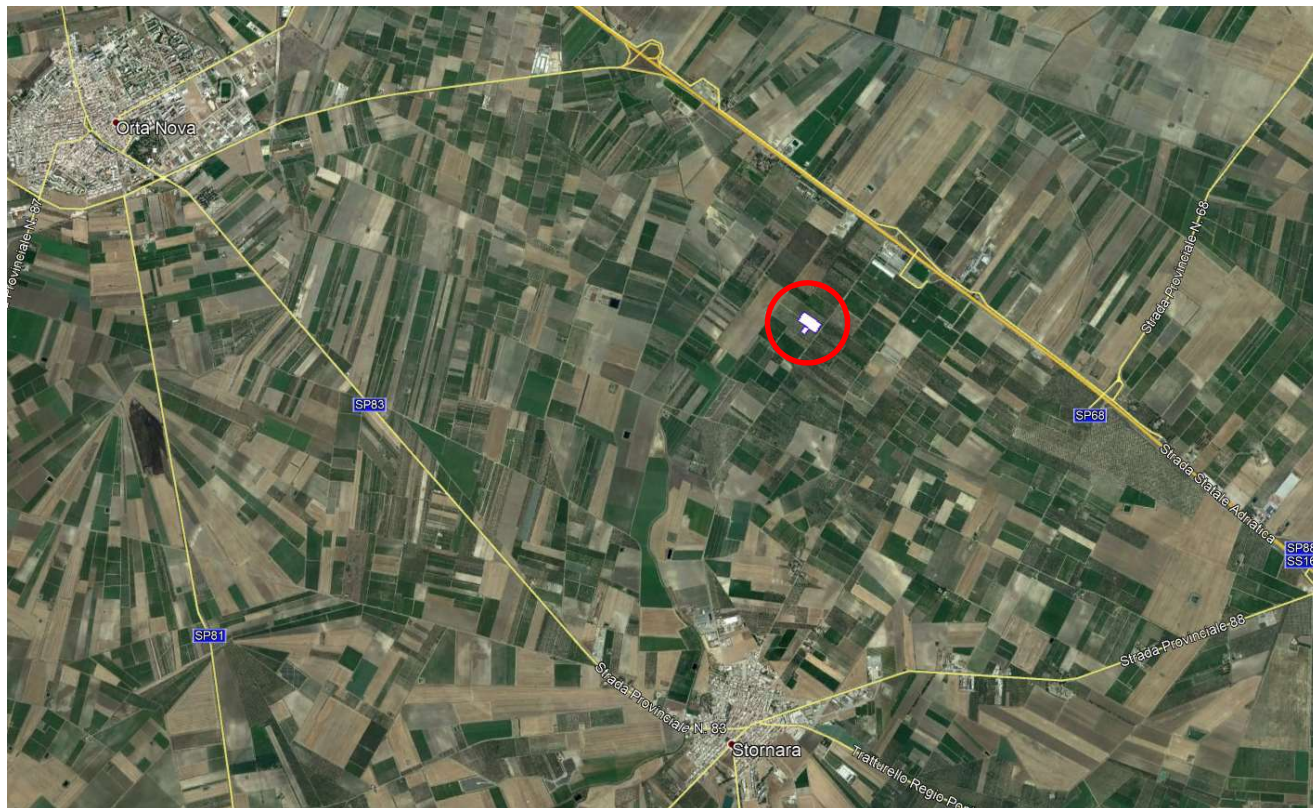
1.2. OPERE DI CONNESSIONE

L'impianto verrà allacciato alla rete di distribuzione tramite collegamento in antenna a 150 kV con una nuova stazione elettrica (SE) RTN a 150 kV da inserire in entra-esce alla linea a 150 kV "CP Ortanova - SE Stornara" previa realizzazione di due elettrodotti RTN a 150 kV tra la futura SE succitata e una futura SE RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea 380 kV della RTN "Foggia - Palo del Colle".

La sottostazione elettrica è prevista alle seguenti coordinate:

Longitudine: 15.77417°

Latitudine: 41.31454°



Aerofoto

Le opere previste in sottostazione elettrica possono essere sintetizzate come segue:

- Fabbricato utente;

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>			
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA			
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00		Data: Marzo 2021
			Foglio 4 di 47

- Stalli per apparecchiature elettromeccaniche;
- Vasca trafo.

Come meglio e più esaurientemente illustrato negli elaborati grafici di progetto, l'edificio utente sarà costituito da un unico livello fuori terra ed avrà una sagoma rettangolare per un ingombro massimo in pianta pari a circa 25,20 x 4,50 m. Per più dettagliate informazioni sull'organizzazione dell'organismo architettonico si rimanda agli elaborati progettuali architettonici.

La costruzione presenta le seguenti caratteristiche.

Geometria corpi di fabbrica

Forma in pianta	rettangolare
Lunghezza max in pianta	25.20 m
Larghezza max in pianta	4.50 m
Altezza max fuori terra	4.20 m

Le strutture portanti del fabbricato in progetto saranno costituite da intelaiature in conglomerato cementizio armato gettato in opera.

La struttura fondale sarà costituita da platea realizzata in conglomerato cementizio armato ed avente spessore pari a 45 cm. Essa sarà irrigidita per mezzo di travi anch'esse in c.a. ed aventi altezza della sezione pari a 45 cm. La quota del piano di calpestio sarà raggiunta mediante vespaio aerato realizzato per mezzo di casseri a perdere tipo igloo e getto di completamento in calcestruzzo armato per mezzo di rete elettrosaldata.

La struttura in elevazione, realizzata anch'essa in conglomerato cementizio armato gettato in opera, sarà costituita da telai orditi in entrambi le direzioni principali. Tali telai saranno costituiti, a loro volta, da travi calate aventi dimensioni in sezione pari a 30x50 cm, da travi a spessore aventi dimensioni in sezione pari a 60x25 cm e da pilastri aventi sezione di 30x50 cm e 30x40 cm.

Gli orizzontamenti saranno costituiti da solai in latero-cemento aventi spessore di 25 cm (20+5) realizzati con travetti prefabbricati in c.a.p. 9x12 cm e getto di completamento in c.a.o. di spessore pari a 5 cm.

Gli stalli in progetto fungono da fondazione per le apparecchiature elettromeccaniche da installare nella sottostazione elettrica a servizio dell'impianto agrovoltaico.

Essi possono essere sintetizzate come segue:

- Fondazione per sezionatore tripolare orizzontale;
- Fondazione per interruttore tripolare e trasformatore;
- Fondazione per trasformatore di tensione induttivo;
- Fondazione per scaricatore.

Trattasi di fondazioni di tipo superficiale destinate ad accogliere rispettivamente le seguenti apparecchiature elettromeccaniche: sezionatore tripolare orizzontale, interruttore tripolare, trasformatore di tensione induttivo e scaricatore. Trattasi di basamenti in calcestruzzo armato costituiti da una platea di base avente spessore pari a 30 cm e batoli estradosati predisposti con tirafondi per ricevere l'apparecchiatura.

La vasca trafo è destinata ad accogliere il trasformatore di potenza trifase. Trattasi di una struttura scatolare in calcestruzzo armato, completamente interrata, costituita da platea di base dello spessore di 60 cm, setti perimetrali dello spessore di 30 cm e setti interni dello spessore di 60 cm. Per maggiori informazioni inerenti l'organismo strutturale si faccia utile riferimento agli elaborati grafici allegati.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>			
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA			
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00		Data: Marzo 2021
			Foglio 5 di 47

Il collegamento dell'impianto agrovoltaico alla sottostazione utente avverrà per il tramite di un cavidotto MT composto da una doppia terna di cavi interrati con tensione nominale di 30 kV da 500 mmq, di lunghezza complessiva di circa 22 km, ubicato nei territori comunali di Cerignola, Stornara e Stornarella e Orta Nova.

2. CONTESTO GEOLOGICO

L'area territoriale in cui si colloca il sito interessato dalla realizzazione delle opere in progetto costituisce geograficamente una vasta piana alluvionale, compresa in un'area di avanfossa ancora più ampia, denominata Tavoliere delle Puglie, ubicata tra il dominio garganico, quello appenninico e quello murgiano.

Tale area ricade nel Foglio n. 175 "CERIGNOLA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000 dell'IGM e più specificatamente nella tavoletta IV NE "ORDONA" l'impianto agrovoltaico e nella tavoletta I NO "ORTA NOVA" la sottostazione, mentre il cavidotto attraversa entrambe le tavolette.

Come si evince anche dalla Relazione geologica, i terreni presenti, che caratterizzano l'intero Tavoliere compresa l'area in esame, costituiscono la successione plio-pleistocenica dell'Avanfossa adriatica.

A partire dal substrato pre-pleistocenico che rappresenta il basamento del Tavoliere, costituito da una potente serie di sedimenti carbonatici di piattaforma di età Mesozoica, si rinvengono le sequenze tipiche di riempimento di questo bacino subsidente comunemente noto come Fossa Bradanica.

I terreni affioranti nell'area in esame e nelle zone circostanti sono rappresentati da:

- sabbie giallastre con fauna litorale (Pleistocene);
- alluvioni terrazzate (Olocene);
- alluvioni recenti ed attuali.

La natura dei terreni superficiali, che si rinvengono fino ad una profondità di poche decine di metri, escluse le sabbie giallastre, sono da mettere in relazione al trasporto fluviale dei corsi d'acqua.

Gran parte delle litologie oggi presenti in questa fascia territoriale costituiscono il risultato di sedimentazioni terrigene alluvionali, causate da rigurgito, per tracimazione dagli argini, delle acque limacciose dei canali e dei corsi d'acqua che attraversano l'ampia pianura alluvionale.

Come si evince anche dalla Relazione geologica, si può ritenere possibile la formazione di acquiferi superficiali nelle parti corticali della coltre sedimentaria in funzione di substrati o livelli impermeabili capaci di sostenere l'acquifero stesso. Tali acquiferi identificabili come acquiferi sospesi appaiono di norma poco estesi e possono ritenersi del tutto improduttivi ai fini di una possibile alimentazione idrica.

Dal punto di vista morfologico non sussistono condizioni limitative o ostative alla realizzazione di impianti o di strutture edilizie in quanto non si rilevano morfologie a stabilità precaria.

3. RILEVAMENTI E MODELLAZIONE GEOTECNICA

3.1. CAMPAGNA DI INDAGINE

Nel corso dello studio sono state effettuate n. 2 prospezioni indirette del sottosuolo condotte con il metodo della sismica a rifrazione in onda P e n. 2 prospezioni con il metodo della sismica passiva con metodologia M.A.S.W. con il fine di valutare il comportamento elasto-dinamico del sottosuolo in esame, per ricostruire, con l'ausilio delle informazioni bibliografiche, la

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –							
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA							
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00				Data: Marzo 2021	Foglio 6 di 47	

sequenza litostratigrafica del sito su cui sorgerà il campo fotovoltaico e per individuare la categoria di suolo di fondazione ai sensi della nuova normativa tecnica per le costruzioni in area sismica (NTC 2018).

L'elaborazione dei dati di campagna ha permesso di definire che il sottosuolo del sito investigato è caratterizzato, almeno fino alle profondità raggiunte, da tre "sismostrati", così differenziati:

- il primo sismostrato è associabile a terreno vegetale di natura limoso-sabbiosa con abbondante presenza di ciottoli; esso è intercettato fino ad una profondità media di 1.75 m dal p.c. ha fatto registrare una velocità V_p variabile tra 480 e 600 m/s ed una velocità V_s variabile tra 146 e 310 m/s;
- il secondo sismostrato è associabile a depositi da mediamente a ben addensati di natura sabbioso-limoso-ghiaiosa; esso è intercettato fino ad una profondità variabile tra 1.75 e 7.10 m dal p.c. ha fatto registrare una velocità V_p variabile tra 980 e 1440 m/s ed una velocità V_s variabile tra 385 e 629 m/s;
- il terzo sismostrato è associabile a depositi ben addensati di natura sabbioso-limoso-ghiaiosa con presenza di livelli arenacei cementati; esso ha spessore indefinito ed ha fatto registrare una velocità V_p variabile tra 1860 e 2220 m/s ed una velocità V_s variabile tra 751 e 970 m/s.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di compressibilità), espressi in Kg/cm^2 .

Questi valori sono stati calcolati considerando un peso di volume dei terreni γ pari ad uno e, pertanto, per ottenere i moduli dinamici reali è necessario moltiplicarli per il peso di volume effettivo dei terreni.

Le velocità V_s sono state ricavate dai valori medi dei risultati ottenuti con l'indagine MASW.

PROFILO N. 1

AREA IMPIANTO AGROVOLTAICO

Profondità media (m)	V_p	V_s	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.7	480	146	0.45	1.00	630	218	2061
2° sismostrato 1.7÷7.5	980	385	0.41	1.00	4261	1513	7783
substrato rifrattore >7.5	1860	751	0.40	1.00	16144	5755	27629

PROFILO N. 2

AREA IMPIANTO AGROVOLTAICO

Profondità media (m)	V_p	V_s	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.8	600	310	0.32	1.00	2585	981	2366
2° sismostrato 1.8÷6.7	1440	629	0.38	1.00	11160	4037	15776
substrato rifrattore >6.7	2220	970	0.38	1.00	26538	9601	37488

V_p = velocità onde longitudinali in m/s

V_s = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm^3

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm^2

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm^2

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm^2

I profili MASW realizzati hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –					
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA					
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00			Data: Marzo 2021	Foglio 7 di 47

Denominazione	Sorgente	Lunghezza profilo	Distanza intergeofonica	n. geofoni
Profilo M.A.S.W. n. 1 Area impianto agrovoltaiico	Martello	48 m	2.0 m	24
Profilo M.A.S.W. n. 2 Area impianto agrovoltaiico	Martello	48 m	2.0 m	24

I modelli Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi M.A.S.W., sono di seguito schematizzati:

M.A.S.W. n. 1 Area impianto agrovoltaiico		M.A.S.W. n. 2 Area impianto agrovoltaiico	
Vs (m/s)	Profondità (mt)	Vs (m/s)	Profondità (mt)
146.2	-1.0	365.8	-0.8
377.3	-2.4	254.4	-1.8
414.1	-4.0	554.0	-3.1
364.5	-6.0	569.1	-4.7
681.8	-8.6	764.2	-6.7
674.8	-11.8	930.4	-9.2
896.5	-15.8	993.0	-12.4
1183.4	-20.7	982.0	-16.3
1022.7	-27.0	973.3	-21.2
1071.3	-33.7	1389.0	-26.5

I parametri utili alla classificazione del suolo di fondazione sono i seguenti:

M.A.S.W. n. 1 → $V_{s,30} = 411$ m/s

M.A.S.W. n. 2 → $V_{s,30} = 480$ m/s

Pertanto, i due siti investigati possono essere annoverati tra le categorie di suolo di fondazione 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 con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Data l'orografia del territorio nell'intorno dei siti oggetto di intervento si può definire la categoria topografica T1.

3.2. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO

Sulla base dei dati raccolti si è accertato che nelle aree oggetto di intervento è presente un esiguo spessore di terreno vegetale di natura limoso-argilloso-sabbiosa a cui seguono terreni di natura prevalentemente sabbioso-limoso-ghiaiosa e subordinatamente limoso-sabbioso-argillosa (vedi anche relazione geologica).

La granulometria dei depositi sabbiosi varia da medio-fine a grossolana, con presenza di ghiaia e ciottoli di medie dimensioni con elementi arrotondati prevalentemente calcareo-marnosi.

Dallo studio geologico si evince che nelle aree in esame si rileva, almeno fino alle profondità investigate, l'assenza della falda nel sottosuolo in cui saranno realizzate le opere in progetto.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –			
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA			
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00	Data: Marzo 2021	Foglio 8 di 47

Come si evince anche dalla relazione geologica e sulle base di tutto quanto fin qui riportato, si possono assumere i seguenti valori dei parametri geotecnici da attribuire ai litotipi interessati dalle fondazioni delle opere in progetto.

Area sottostazione elettrica e opere di connessione - Depositi prevalentemente sabbioso-limoso-ciottolosi:

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.95-2.00 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito interno $\phi' = 28^\circ - 31^\circ$
- Coesione $c' = 0.05-0.07 \text{ kg/cm}^2$

Area impianto agrovoltaico - Depositi prevalentemente sabbioso-limoso-ghiaiosi:

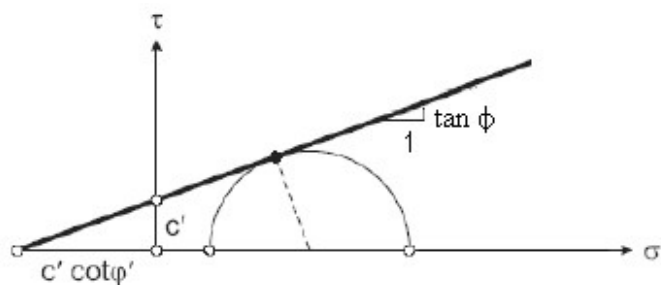
- Peso di volume naturale $\gamma = 2.00-2.05 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito interno $\phi' = 32^\circ - 35^\circ$
- Coesione $c' = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

4. VERIFICHE GEOTECNICHE

Per la modellazione agli elementi finiti, si è adottato per il terreno il modello alla Winkler.

Le verifiche di ciascuno stato limite ultimo (SLU) geotecnico consistono nel controllare che la sollecitazione di calcolo E_d sia inferiore alla sollecitazione resistente R_d in corrispondenza della quale si forma una superficie di rottura nei cui punti le tensioni tangenziali τ e perpendicolari efficaci σ' sono legate dalla relazione (Criterio di Mohr Coulomb):

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi$$



Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

Per ogni tipo di SLU geotecnico, la teoria di calcolo adottata per determinare la sollecitazione resistente, fa un'ipotesi più o meno verosimile sulla forma della superficie di rottura in questione. Per il teorema cinematico dell'analisi limite, la differenza esistente tra la superficie di rottura ipotizzata e quella effettiva introduce un errore a vantaggio di sicurezza.

Inoltre, per ciascuno SLU geotecnico, la verifica deve essere eseguita in entrambe le condizioni:

- non drenate (a breve termine dall'applicazione del carico):

$$c = c_u \qquad \phi = 0 \qquad \gamma = \gamma$$

- drenate (a lungo termine dall'applicazione del carico):

$$c = c' \qquad \phi = \phi' \qquad \gamma = \gamma'$$

Per la stima dei cedimenti, occorre definire la profondità H dello strato deformabile al di sotto del quale si può considerare il terreno infinitamente rigido. Tale profondità è tale che al di sotto di essa si possano trascurare gli incrementi di tensione efficace $\Delta\sigma'$, perché inferiori ad una certa aliquota (ad esempio il 15%) della tensione geostatica $\sigma_0 = \gamma \cdot z$.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –			
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA			
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00	Data: Marzo 2021	Foglio 9 di 47

La verifica a carico limite verticale è soddisfatta se:

$$N_d \leq N_{lim} = \frac{1}{\gamma_R} BLq_{lim}$$

dove:

- q_{lim} carico limite unitario;
- B e L dimensioni della fondazione;
- γ_R coefficiente di sicurezza R2.

Il calcolo del carico limite avviene modellando il terreno come mezzo rigido perfettamente plastico. L'espressione del carico limite è la seguente:

$$q_{lim} = \gamma_1 DN_q s_q d_q i_q b_q g_q + c N_c s_c d_c i_c b_c g_c + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

dove:

- D profondità del piano di posa;
- γ_0 peso di volume del terreno a profondità $< D$;
- c coesione;
- γ peso di volume del terreno a profondità $> D$;
- N_q, N_c, N_γ fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno φ del terreno;
- s_q, s_c, s_γ fattori di forma;
- d_q, d_c, d_γ fattori di approfondimento;
- i_q, i_c, i_γ fattori di inclinazione carico;
- b_q, b_c, b_γ fattori di inclinazione piano di posa;
- g_q, g_c, g_γ fattori di inclinazione piano campagna.

Nel caso di carico eccentrico, secondo il Meyerhof, si riducono le dimensioni della superficie di contatto tra fondazione e terreno (B, L) in tutte le formule del calcolo del carico limite. Tale riduzione è espressa dalle seguenti relazioni:

$$B_{rid} = B - 2 \cdot e_B \quad L_{rid} = L - 2 \cdot e_L \quad \text{dove } e_B, e_L \text{ sono le eccentricità relative alle dimensioni in esame.}$$

L'equazione trinomia del carico limite può essere risolta secondo varie formulazioni. Nel caso in esame si è adottata la formulazione di Vesic (1975) di seguito riportata:

$$N_q = \text{tg}^2 \left(\frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\varphi)$$

- se $\varphi \neq 0$ si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \text{tg}(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \text{tg}(\varphi) \cdot (1 - \text{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –			
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA			
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00	Data: Marzo 2021	Foglio 10 di 47

$$\text{dove: se } \frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}, \text{ se } \frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \arctg\left(\frac{D}{B}\right)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot ctg(\varphi)} \right]^m \quad i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot ctg(\varphi)} \right]^{m+1} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$\text{dove: } m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

- se $\varphi = 0$ si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

nel caso in cui $\varphi = 0 \Rightarrow N_q = 1.0, N_\gamma = 1.0$ e $N_c = 2 + \pi$

nelle precedenti relazioni:

- V componente verticale del carico agente sulla fondazione;
- H componente orizzontale del carico agente sulla fondazione (sia lungo B che lungo L);
- c_a adesione fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione).

Se il carico applicato alla base della fondazione non è normale alla stessa, si effettua anche una verifica per rottura a scorrimento. Rispetto al collasso per scorrimento la resistenza offerta dal sistema fondale viene valutata come somma di due componenti, la prima derivante dall'attrito fondazione-terreno, la seconda derivante dall'adesione. In generale oltre alle due componenti ora citate può essere tenuto in conto anche l'effetto della spinta passiva del terreno di ricoprimento esercita sulla fondazione, questa però fino ad un massimo del 30%. In forma analitica il procedimento su esposto può essere formulato nel seguente modo:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd} = N_{Sd} \cdot tg(\delta) + A_f \cdot c_a + S_p \cdot f_{Sp}$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- T_{Sd} componente orizzontale del carico agente sulla fondazione (sia lungo B che lungo L);
- N_{Sd} componente verticale del carico agente sulla fondazione;
- c_a adesione fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione);
- δ angolo d'attrito fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione);
- S_p spinta passiva del terreno di ricoprimento della fondazione;
- f_{Sp} percentuale di partecipazione della spinta passiva;
- A_f superficie di contatto del piano di posa della fondazione.

Va da se che tale tipo di verifica deve essere effettuata per entrambe le direzioni.

Per le modalità di conduzione e le risultanze delle verifiche geotecniche si faccia utile riferimento alle relazione di calcolo preliminare delle strutture.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 40,658 MWp (36,5 MW IN IMMISSIONE) NEI COMUNI DI STORNARELLA (FG) E ORTA NOVA (FG) IN LOCALITA' "FERRANTI", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>			
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA			
Codice identificativo progetto: FV071EGEFEB	Rev: 00	Data: Marzo 2021	Foglio 11 di 47

5. STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA

Come meglio si evince dagli elaborati di inquadramento su Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia, il progetto prevede la realizzazione di un cavidotto interrato che ricade parzialmente in area classificata a "Media e moderata pericolosità geomorfologica (PG1)" ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I.

In dette aree, la realizzazione degli interventi previsti in progetto è subordinata ad uno "Studio di compatibilità geologica e geotecnica" che dimostri la compatibilità degli stessi con le condizioni di pericolosità geomorfologica dell'area.

Sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa delle condizioni che influirebbero sulla stabilità del versante di sedime in fase post opera, di seguito si dimostra l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori.

L'elettrodotto in oggetto avrà una lunghezza complessiva di poco superiore a 13 km e si sviluppa sui territori comunali di Stornara, Stornarella e Orta Nova, nella Provincia di Foggia. Esso sarà realizzato in cavo interrato con tensione nominale di 30 kV e collegherà l'impianto agro-voltaico in antenna alla Sezione a 150 kV di una futura Stazione RTN di Terna S.p.A.. In particolare, l'impianto sarà collegato in antenna a 150 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) RTN a 150 kV, ubicata in agro di Stornara, da inserire in entra-esce alla linea a 150 kV "CP Orta Nova – SE Stornara".

Il cavidotto di collegamento dell'impianto agrovoltaico alla stazione elettrica è posto in opera interrato entro trincea di scavo. Lo scavo avrà profondità massima pari a circa 150 cm e larghezza massima pari a circa 60 cm. I cavi saranno posti in opera entro uno strato di sabbia avente spessore pari a 20 cm. Il riempimento della trincea di scavo avverrà per mezzo di materiale rinveniente dagli scavi opportunamente vagliato e compattato per strati. Ove previsto si procederà alla ricostituzione del pacchetto stradale.

Le sopra descritte opere previste in progetto non generano alcuna variazione dello stato di sollecitazione dei versanti rispetto alla condizione ante intervento.

In considerazione della modellazione geotecnica sopra riportata e del fatto che le opere previste in progetto non generano alcuna variazione dello stato di sollecitazione dei versanti rispetto alla condizione ante intervento, si può dedurre che le condizioni di stabilità persistenti in fase ante opera sono confermate anche in fase post opera.

Per tutto quanto suddetto si conclude che il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica, redatto ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I., dimostra, sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa delle condizioni di carico del versante di sedime, l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori.

Si esprime, pertanto, giudizio positivo sulla compatibilità complessiva degli interventi in progetto.