



COMUNE DI CERIGNOLA

PROVINCIA DI FOGGIA

Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di 29,93 MWp nel comune di Cerignola (FG) in località "Colmo D'Ischia", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COD. ID.					
Livello prog.		Tipo documentazione	N. elaborato	Data	Scala
PD		Definitiva	4.2.3	07 / 2022	

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

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	NOVEMBRE 2021	PRIMA EMISSIONE	ALBANESE	MAGNOTTA	MAGNOTTA
01	LUGLIO 2022	SECONDA EMISSIONE	PERNIOLA	MAGNOTTA	MAGNOTTA

COMMITTENTE:

MAXIMA PV1 S.R.L.
via Marco Partipilo n.48
70124 BARI
P.IVA: 08590210723

Maxima PV 1 S.r.l.

Via Marco Partipilo, 48
70124 Bari (BA) - Italy
C.F. e P. Iva 08590210723

PROGETTISTA:

MAXIMA
INGEGNERIA
innovazione e sostenibilità

MAXIMA INGEGNERIA S.R.L.

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



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. Diego Antonio Zullo

Loc. Mezzanagrande sn - 71036 Lucera (FG)
Tel. +39 3280825225
e-mail: diegoantonio.zullo@gmail.com

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE <i>– Progetto definitivo –</i>											
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA											
Rev:						Data:			Foglio		
01						Luglio 2022			1 di 12		

INDICE

1. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELLE OPERE.....2
1.1. IMPIANTO AGROVOLTAICO.....2
1.2. OPERE DI CONNESSIONE3
2. CONTESTO GEOLOGICO6
3. RILEVAMENTI E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....7
3.1. CAMPAGNA DI INDAGINE7
3.2. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO8
4. VERIFICHE GEOTECNICHE.....9

Progetto:		
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE		
<i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato:		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev:		Data:
01		Luglio 2022
		Foglio
		2 di 12

1. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELLE OPERE

1.1. IMPIANTO AGROVOLTAICO

L'impianto agrovoltico in progetto è finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare con integrazione di un progetto agronomico per il quale, all'interno della stessa area di installazione dell'impianto, verranno seminate diverse colture. In questo modo il progetto consente di combinare al sistema di produzione di energia elettrica la produzione alimentare sulla stessa superficie.

L'impianto in progetto avrà una potenza di 29,93 MWp e sarà realizzato su un'area ubicata nel Comune di Cerignola (FG). L'area oggetto di intervento occupa una superficie complessiva di ca 34 ha ed è ubicata a Nord del centro abitato del Comune di Cerignola (FG).

Di seguito è riportato un inquadramento a scala ampia dell'area.



Inquadramento dall'area su ortofoto

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev:	Data:	Foglio
01	Luglio 2022	3 di 12

Di seguito si riportano le coordinate baricentriche (UTM 84-33N) dell'area di progetto.

COORDINATE UTM 33 WGS84

Lat.	Long.
573754	4585881

L'impianto fotovoltaico è situato nella zona agricola del Comune di Cerignola, in provincia di Foggia, a Nord dell'abitato dell'omonimo comune.

L'area è ben servita dalla viabilità esistente (strade provinciali, comunali e poderali), e pertanto la lunghezza delle strade di nuova realizzazione è ridotta. Nella fattispecie, il sito si trova:

- A Nord della SS544;
- A Ovest della SP 77;
- A Est della SP 69;

L'area di progetto si trova tra 5 e 6 m s.l.m. ed è situata ad una distanza di circa 15,5 km da Cerignola, nel Subappennino Dauno Meridionale.

Il generatore fotovoltaico sarà costituito da 55.944 moduli ed avrà una potenza di 29,93 MWp. I moduli fotovoltaici saranno collegati a 7 cabine attrezzate, collegate in "entra-esci" tra loro, di cui: 5 cabine contenenti 2 inverter ciascuna e 2 cabine contenenti 1 inverter l'una, per un totale di 12 inverter.

Nella progettazione sono stati scelti i tracker come strutture di supporto, inseguitori monoassiali in grado di integrarsi perfettamente con ogni tipo di tecnologia utilizzata nella realizzazione di impianti fotovoltaici. Infatti, i trackers utilizzano una tecnologia elettromeccanica per seguire ogni giorno l'esposizione solare Est-Ovest su un asse di rotazione orizzontale Nord-Sud, posizionando così i pannelli sempre con la perfetta angolazione, massimizzando la produzione energetica dell'intero parco fotovoltaico. I moduli avranno un'inclinazione rispetto all'orizzontale variabile da 0° fino ad un massimo di 60°.

Le 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 di progetto sono strutture in carpenteria metallica, configurati per supportare, in base alla configurazione, n° 28 o 56 moduli FV e farli ruotare su un asse. L'ingombro del tracker più grande, in pianta, è di m 33,28 x 3,83. L'asse di rotazione è ubicato a m 2,40 di altezza e l'inclinazione massima rispetto all'orizzontale è di 60°, pertanto l'altezza massima del bordo dei moduli sarà di m 4.51, 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.

1.2. OPERE DI CONNESSIONE

La soluzione di connessione alla RTN per l'impianto fotovoltaico di progetto è stata fornita con comunicazione TERNA/P2021 0048365 del 15/06/2021 e prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV su una nuova Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea 380 kV "Foggia – Palo del Colle". Il cavidotto di connessione alla sottostazione ricade interamente nel territorio comunale di Cerignola (FG).

Le opere di utenza per la connessione alla RTN dell'impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione sono le seguenti:

Progetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA
POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN
LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE**

– Progetto definitivo –

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
01										Luglio 2022	4 di 12

- Stazione elettrica di trasformazione 150/30 kV da realizzare nel Comune di Cerignola (FG) a servizio dell'impianto agrovoltaico oggetto del presente progetto, che contiene i seguenti elementi principali:
 - Stallo trasformatore 150/30 kV a servizio dell'impianto fotovoltaico;
 - Stallo arrivo cavo AT da SE RTN 150 kV "Cerignola";
 - Sistema di sbarre AT per condivisione del punto di connessione alla RTN tra gli impianti.
- Cavidotto AT di collegamento della SE RTN 150 kV "Cerignola" alla nuova stazione di trasformazione 150/30 kV a servizio dell'impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione.

La connessione fisica dell'impianto in oggetto avverrà sullo stallo arrivo produttore 150 kV RTN nella futura Stazione Terna. Per il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla sottostazione utente è prevista la realizzazione delle seguenti opere:

- Cavidotto MT, di lunghezza complessiva di circa 7,8 km, ubicato nel territorio comunale di Cerignola, in provincia di Foggia;
- Rete telematica di monitoraggio in fibra ottica per il controllo della rete elettrica e dell'impianto fotovoltaico mediante trasmissione di dati via modem o satellitare.

La sottostazione elettrica è prevista alle seguenti coordinate:

Longitudine: 15.892598°

Latitudine: 41.365731°

Progetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA
POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN
LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE**

– Progetto definitivo –

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:

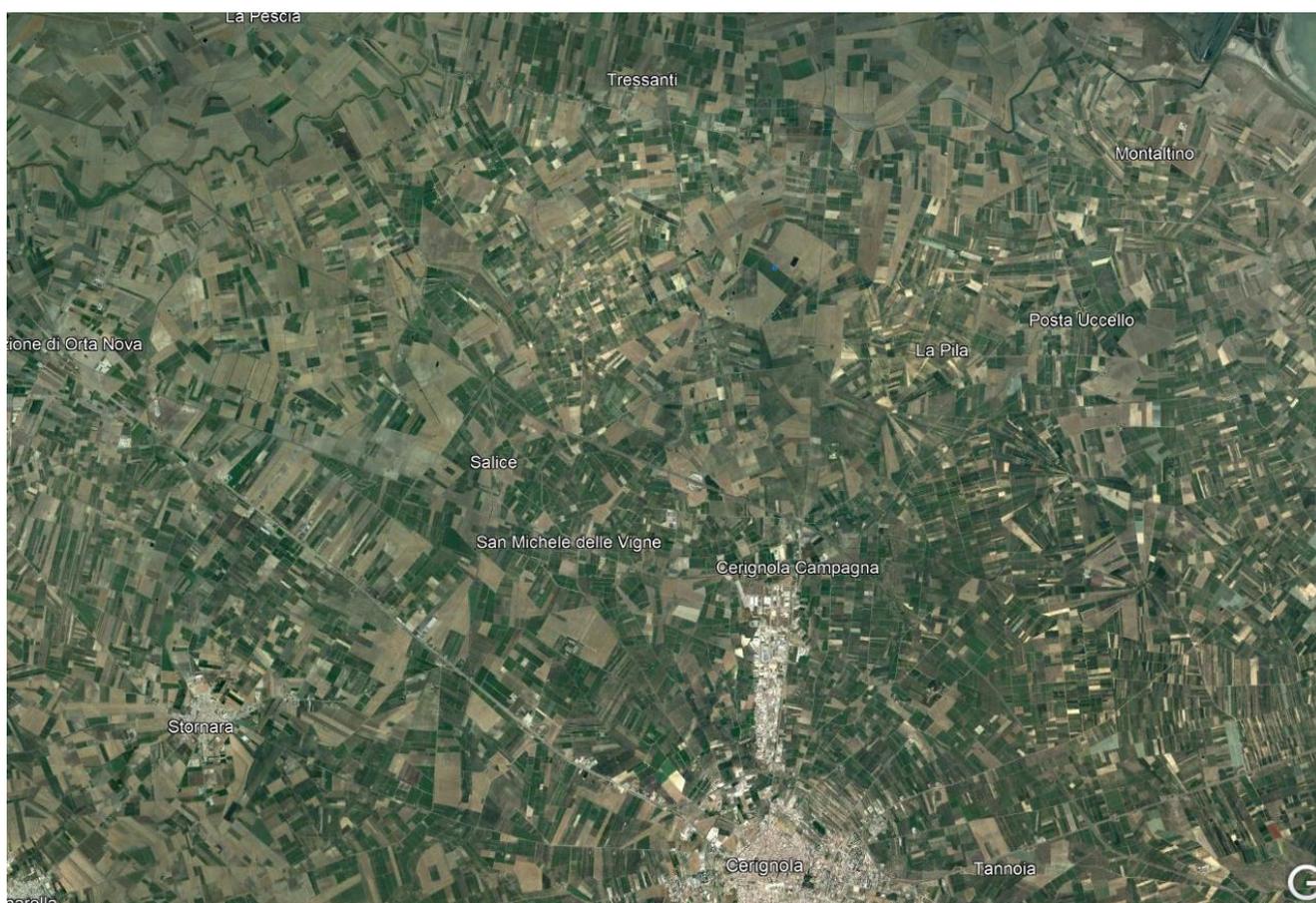
01

Data:

Luglio 2022

Foglio

5 di 12



Aerofoto

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

- Fabbricato utente;
- Stalli per apparecchiature elettrimeccaniche;
- Vasca trafo;
- Sistema di sbarre.

Per più dettagliate informazioni sull'organizzazione dell'organismo architettonico si rimanda agli elaborati progettuali architettonici.

Le strutture portanti del fabbricato utente 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

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE <i>– Progetto definitivo –</i>											
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA											
Rev:						Data:			Foglio		
01						Luglio 2022			6 di 12		

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.

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. 164 "FOGGIA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000 dell'IGM e più specificatamente nella tavoletta II NE "SETTE POSTE" l'impianto fotovoltaico e nella tavoletta II SE "TRESSANTI" la sottostazione, mentre il cavidotto si posiziona a cavallo tra le due tavolette.

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

- Sabbie giallastre con fauna litorale (Pleistocene);
- alluvioni terrazzate (Olocene);

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE <i>– Progetto definitivo –</i>											
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA											
Rev:						Data:			Foglio		
01						Luglio 2022			7 di 12		

- alluvioni recenti ed attuali;
- alluvioni per colmata.

Come riportato anche in relazione geologica, si può ritenere che da un 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. Mancano infatti condizioni predisponenti al dissesto così come non si rilevano elementi di instabilità in atto o potenziali.

3. RILEVAMENTI E MODELLAZIONE GEOTECNICA

3.1. CAMPAGNA DI INDAGINE

Le informazioni sui caratteri litologico-stratigrafici del sottosuolo e le principali caratteristiche geologiche, geotecniche ed idrogeologiche dei siti interessati dal progetto sono state estrapolate dalla vasta bibliografia relativa ai terreni affioranti in tali aree, mentre i caratteri morfologici sono stati raccolti nel corso di alcune ricognizioni di superficie effettuate nelle zone interessate e nelle zone limitrofe e confrontando i dati acquisiti con quelli desunti dalla bibliografia e dalla cartografia ufficiale esistente.

Le indagini sismiche con metodologia M.A.S.W. e quelle effettuate con il metodo della sismica a rifrazione in onda P eseguite nell'area in cui sarà realizzato il parco fotovoltaico al fine di verificare le caratteristiche sismiche del sedime dove saranno realizzati i suddetti lavori hanno consentito, altresì, di ricostruire, seppure in maniera indiretta, gli spessori e le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti nel sottosuolo di tale area.

Le indagini sismiche effettuate e lo studio geologico generale dell'area in cui saranno realizzati i lavori in oggetto sono state utilizzate per effettuare la ricostruzione del modello geotecnico del volume di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione delle opere in progetto e che a loro volta influenzeranno il comportamento delle opere stesse.

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 frammisto a depositi detritici superficiali molto aerati, poco o per niente consistenti; esso è intercettato fino ad una profondità media di 2.00 m dal p.c. ha fatto registrare una velocità Vp pari a 390 m/s ed una velocità Vs pari a 98 m/s;
- il secondo sismostrato è associabile a depositi da mediamente a scarsamente addensati di natura limoso-sabbioso-argillosa; esso è intercettato ad una profondità variabile tra 2.00 e 9.00 m dal p.c. ha fatto registrare una velocità Vp pari a 620 m/s ed una velocità Vs pari a 147 m/s;
- il terzo sismostrato è associabile a depositi mediamente addensati di natura prevalentemente limoso-argillosa; esso è intercettato ad una profondità oltre i 9.00 m dal p.c. e ha fatto registrare una velocità Vp pari a 1070 m/s ed una velocità Vs pari a 145 m/s.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE <i>– Progetto definitivo –</i>							
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA							
Rev:				Data:		Foglio	
01				Luglio 2022		8 di 12	

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/cm².

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 Vs sono state ricavate dai valori medi dei risultati ottenuti con l'indagine MASW.

PROFILO N. 1

AREA IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.0	390	98	0.47	1.00	287	98	1421
2° sismostrato 2.0÷9.0	620	147	0.47	1.00	648	221	3628
substrato >9.0	1070	145	0.49	1.00	640	215	11397

Vp = velocità onde longitudinali in m/s

Vs = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm²

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm²

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm²

Il modello Vs-profondità, ottenuto mediante l'analisi M.A.S.W., porta ad identificare una classificazione del sottosuolo di tipo C.

Data l'orografia del territorio nell'intorno del sito 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 nell'area in studio è presente un esiguo spessore di terreno vegetale di natura limoso-argillosabbiosa a cui seguono terreni di natura prevalentemente sabbioso-limoso-ghiaiosa a cui seguono terreni della stessa natura poggianti su depositi di sabbie e sabbie argillose con intercalazioni arenacee e lenti di ciottoli.

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 al litotipo, prevalentemente sabbioso-ghiaioso, interessato dalle fondazioni delle opere in progetto.

Depositi prevalentemente limoso-sabbioso-argillosi – Area impianto fotovoltaico:

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.90 - 1.95 \text{ t/m}^3$

- Angolo di attrito interno $\Phi' = 21^\circ - 23^\circ$

- Coesione $c' = 0.05 - 0.07 \text{ kg/cm}^2$

Depositi prevalentemente sabbioso-limosi – Area stazione elettrica:

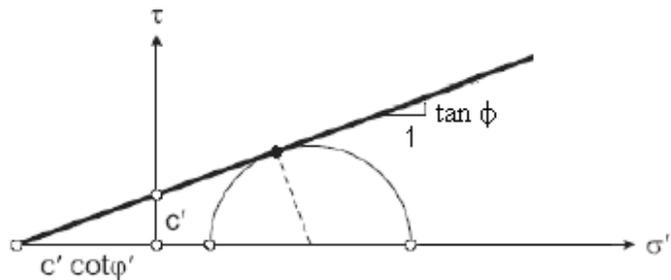
Progetto: <p style="text-align: center;">PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE</p> <p style="text-align: center;">– Progetto definitivo –</p>												
Elaborato: <p style="text-align: center;">RELAZIONE GEOTECNICA</p>												
Rev:	Data:	Foglio										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">01</td> <td style="width: 20px;"></td> </tr> </table>	01										Luglio 2022	9 di 12
01												

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.80 - 1.85 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito interno $\phi' = 26^\circ - 28^\circ$
- Coesione $c' = 0.02 - 0.04 \text{ kg/cm}^2$

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 t e perpendicolari efficaci s' sono legate dalla relazione (Criterio di Mohr Coulomb):

$$t = c' + s' \tan \phi$$



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):
 - $c = c_u$ $\phi = 0$ $\gamma = \gamma$
- drenate (a lungo termine dall'applicazione del carico):
 - $c = c'$ $\phi = \phi'$ $\gamma = \gamma'$

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 $\sigma_0 = \gamma \cdot z$.

La verifica a carico limite verticale è soddisfatta se:

Progetto:		
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE		
<i>- Progetto definitivo -</i>		
Elaborato:		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev:	Data:	Foglio
01	Luglio 2022	10 di 12

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

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:

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

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_g fattori di forma;
- d_q, d_c, d_g fattori di approfondimento;
- i_q, i_c, i_g fattori di inclinazione carico;
- b_q, b_c, b_g fattori di inclinazione piano di posa;
- g_q, g_c, g_g 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:

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

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

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

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - Progetto definitivo -		
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev:	Data:	Foglio
01	Luglio 2022	11 di 12

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

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

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

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

- 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:

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

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.

Progetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA
POTENZA COMPLESSIVA DI 29,93 MWp SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN
LOCALITA' "COLMO D'ISCHIA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE**

– Progetto definitivo –

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
01										Luglio 2022	12 di 12

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.