



COMUNE DI CERIGNOLA
PROVINCIA DI FOGGIA

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico della potenza di 42,06 MWp (36 MW + 15 MW in immissione) nel comune di Cerignola (FG) in località "Marana di Lupara", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili

PROGETTO DEFINITIVO

Calcoli preliminari delle strutture - Strutture portapannelli e cabina di campo

COD. ID.					
Livello prog.		Tipo documentazione	N. elaborato	Data	Scala
PD		Definitiva	4.2.11.1.1	11/2022	-

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

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	NOVEMBRE 2022	PRIMA EMISSIONE		MAGNOTTA	MAGNOTTA

COMMITTENTE:

MAXIMA PV3 S.R.L.

Via Marco Partipilo, N. 48
70124 BARI (BA) ITALIA
P.IVA: 08691770724

MAXIMA PV 3 S.r.l.

Via Marco Partipilo, 48
70124 Bari (BA) - Italy
C.F. e P. va 08691770724

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



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. For. Marina D'Este

Via Gianbattista Bonazzi, 21 70124 Bari (BA), Italia
Tel. +39 3406185315
e-mail: m.deste20@gmail.com

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	1 di 37

INDICE

1. INFORMAZIONI INTRODUTTIVE.....	2
1.1. PREMESSA.....	2
1.2. RIFERIMENTI TECNICI.....	2
1.3. METODO DI VERIFICA DELLA SICUREZZA.....	2
1.3.1. Sicurezza strutturale.....	2
1.3.2. Sicurezza geotecnica.....	3
2. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA.....	4
3. CONTESTO GEOLOGICO E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	7
3.1. CARATTERISTICHE GENERALI.....	7
3.2. CAMPAGNA DI INDAGINE.....	8
3.3. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO.....	9
4. VERIFICA DELLE STRUTTURE PORTA PANNELLO.....	10
4.1. VERIFICA A RIBALTAMENTO DEL COMPLESSO STRUTTURA / PANNELLI.....	10
4.2. ULTERIORI ASPETTI STRUTTURALI RELATIVI ALLE OPERE PREFABBRICATE.....	13
5. VERIFICHE GEOTECNICHE CABINE DI CAMPO.....	13
5.1. GENERALITÀ.....	13
5.2. ANALISI DEI CARICHI.....	14
5.3. MODELLO DI CALCOLO.....	14
5.3.1. Metodi agli elementi finiti (F.E.M.).....	14
5.3.2. Condizioni al contorno.....	15
5.3.3. Soluzione.....	15
5.3.4. Informazioni sul codice di calcolo.....	16
5.4. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE.....	17
5.5. ULTERIORI ASPETTI STRUTTURALI RELATIVI ALLE OPERE PREFABBRICATE.....	22

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	2 di 37

1. INFORMAZIONI INTRODUTTIVE

1.1. PREMESSA

Il presente documento riporta gli aspetti relativi al calcolo preliminare delle strutture dell'impianto agrivoltaico di potenza nominale complessiva pari a 36 MWp, (42,06 MW di picco), integrato da un sistema di accumulo di potenza pari a 15 MW, da realizzarsi nella Provincia di Foggia, nel territorio comunale di Cerignola, in località "Marana di Lupara". L'impianto agrivoltaico sorgerà in un'area agricola posta a nord del centro abitato di Cerignola. 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. In questo modo il progetto consente di combinare al sistema di produzione di energia elettrica la produzione alimentare sulla stessa superficie.

1.2. RIFERIMENTI TECNICI

Nel presente progetto strutturale viene fatto esplicito riferimento alla seguente documentazione tecnica e/o normativa:

- Verifiche strutturali e geotecniche:
 - D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (nel seguito D.M. 17/01/2018);
 - Circolare n. 7 C.S.LL.PP. del 21/01/2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018.
- Stratigrafia, parametri geotecnici e geofisici del terreno di fondazione:
 - "Relazione geologica", a firma del dott. geol. Rocco Porsia.

1.3. METODO DI VERIFICA DELLA SICUREZZA

La sicurezza sarà valutata col metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza (Rif.: D.M. 17/01/2018, punto 2.3). Tale metodo consiste nello svolgimento dei seguenti passaggi.

1.3.1. Sicurezza strutturale

- Si valutano i parametri descrittivi delle prestazioni attese, della tipologia strutturale e della macrozonazione e microzonazione dell'opera necessari alla definizione dei carichi di progetto da applicare alla stessa;
- Si valutano le resistenze caratteristiche X_k dei materiali strutturali caratterizzati da $prob(X < X_k) = 0.05$ e le relative resistenze di calcolo X_d ottenute riducendo le prime con opportuni coefficienti di sicurezza $X_d = \eta X_k / \gamma_M$.
- Si valutano le azioni caratteristiche F_k , caratterizzate da $prob(F > F_k) = 0.05$, in funzione di macrozonazione, microzonazione e tipologia strutturale, per ciascun caso di carico significativo.
- Amplificando le azioni caratteristiche con opportuni coefficienti di sicurezza $g_F \geq 1$ e $y_F \geq 1$, si determinano le azioni di calcolo per ciascuna combinazione di carico strutturale significativa:

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	3 di 37

$$F_d = g_F y_F F_k$$

- Utilizzando un modello strutturale (di dimensioni a_d e materiali X_d) validato dai metodi della Scienza delle Costruzioni, si determinano gli effetti $E_d = E(F_d, a_d)$ delle azioni di calcolo F_d scegliendo opportunamente metodi di analisi e modellazione strutturale correlati alle tipologie di azione e struttura.
Le dimensioni a_d e i materiali X_d della struttura sono accettabili se, per ciascuno stato limite strutturale significativo R , le relative azioni di calcolo F_d provochino effetti E_d inferiori alle resistenze di calcolo $R_d = R_k / g_R$ ($g_R \geq 1$):

$$E_d = E(g_F y_F F_k, a_d) \leq R_d = \frac{1}{g_R} R_k \frac{g_M}{g_M} \frac{X_k}{g_M}, a_d \leq \frac{R_d}{g_M}$$

Nella precedente relazione si considerano le combinazioni di carico strutturali relative all'approccio 2 che prevede l'uso dei seguenti coefficienti parziali:

- stati limite SLE: $\gamma_F = 1.00$
- stati limite SLU tipo STR: $\gamma_F = A1$; $\gamma_m = M1$; $\gamma_R = R1$
- stati limite SLU tipo EQU (equilibrio): $\gamma_F = EQU$; $\gamma_m = M2$; $\gamma_R = R1$
- stati limite SLU tipo FAT: $\gamma_F = 1.00$ per i carichi permanenti; $\gamma_m = 1.00$

1.3.2. Sicurezza geotecnica

- Si descrivono i risultati delle indagini in sito e in laboratorio sul terreno di fondazione eseguiti in numero e profondità commisurate, rispettivamente, alla variabilità del terreno e all'estensione dell'opera; si valuta inoltre la stabilità dei versanti anche in funzione della morfologia del suolo e al regime delle acque;
- Dall'elaborato di "Relazione geologica" e dalla modellazione geotecnica si attingono i valori delle resistenze caratteristiche X_k dei terreni di fondazione, caratterizzate da $prob(X < X_k) = 0.05$ e le relative resistenze di calcolo X_d ottenute riducendo le prime con opportuni coefficienti riduttori $h \leq 1$ (letteratura tecnica) e di sicurezza $g_M \geq 1$:

$$X_d = \frac{h X_k}{g_M}$$

- Si determinano le azioni di calcolo $F_d = g_F y_F F_k$ per ciascuna combinazione di carico geotecnica significativa;
- Utilizzando un modello geotecnico (di dimensioni a_d e materiali X_d) validato dai metodi della Geotecnica, si determinano gli effetti $E_d = E(F_d, a_d)$ delle azioni di calcolo F_d scegliendo opportunamente metodi di analisi e modellazione strutturale correlati alle tipologie di azione e di terreno.
Le dimensioni a_d e i materiali X_d della struttura sono accettabili se, per ciascuno stato limite geotecnico significativo R , le relative azioni di calcolo F_d provochino effetti E_d inferiori alle resistenze di calcolo $R_d = R_k / g_R$ ($g_R \geq 1$):

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	4 di 37

$$E_d = E(g_{FY} F_k, a_d) \times R_d = \frac{1}{g_R} \times R_{ch} \times \frac{X_k}{g_M}, a_d \frac{\ddot{\theta}}{\theta}$$

2. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA

L'impianto fotovoltaico in progetto avrà una potenza di 42.06 MWp e sarà realizzato su un'area ubicata nel Comune di Cerignola (FG).

L'area oggetto di intervento occupa una superficie complessiva di ca 61.3 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 AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI		
<i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato:		
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	5 di 37

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

COORDINATE UTM 33 WGS84		
Area	Lat.	Long.
Agricola	576102	4582740

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), è adiacente alla SP67 e pertanto la lunghezza delle strade di nuova realizzazione è ridotta. Nella fattispecie, il sito si trova:

- Ad Est della SP 77;
- A Nord della SS544;

L'area di progetto si trova tra 4 e 8 m s.l.m. ed è situata ad una distanza di circa 14,2 km da Cerignola, nel Subappennino Dauno Meridionale.

L'impianto fotovoltaico è costituito da n° 4 campi fotovoltaici composti da n° 78624 moduli fotovoltaici e da n° 19 inverter, suddivisi in 4 Power Conversion Units.

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.

Di seguito si riportano alcune viste laterali ed in pianta delle strutture mobili di sostegno dei moduli che saranno impiegate.

Progetto:

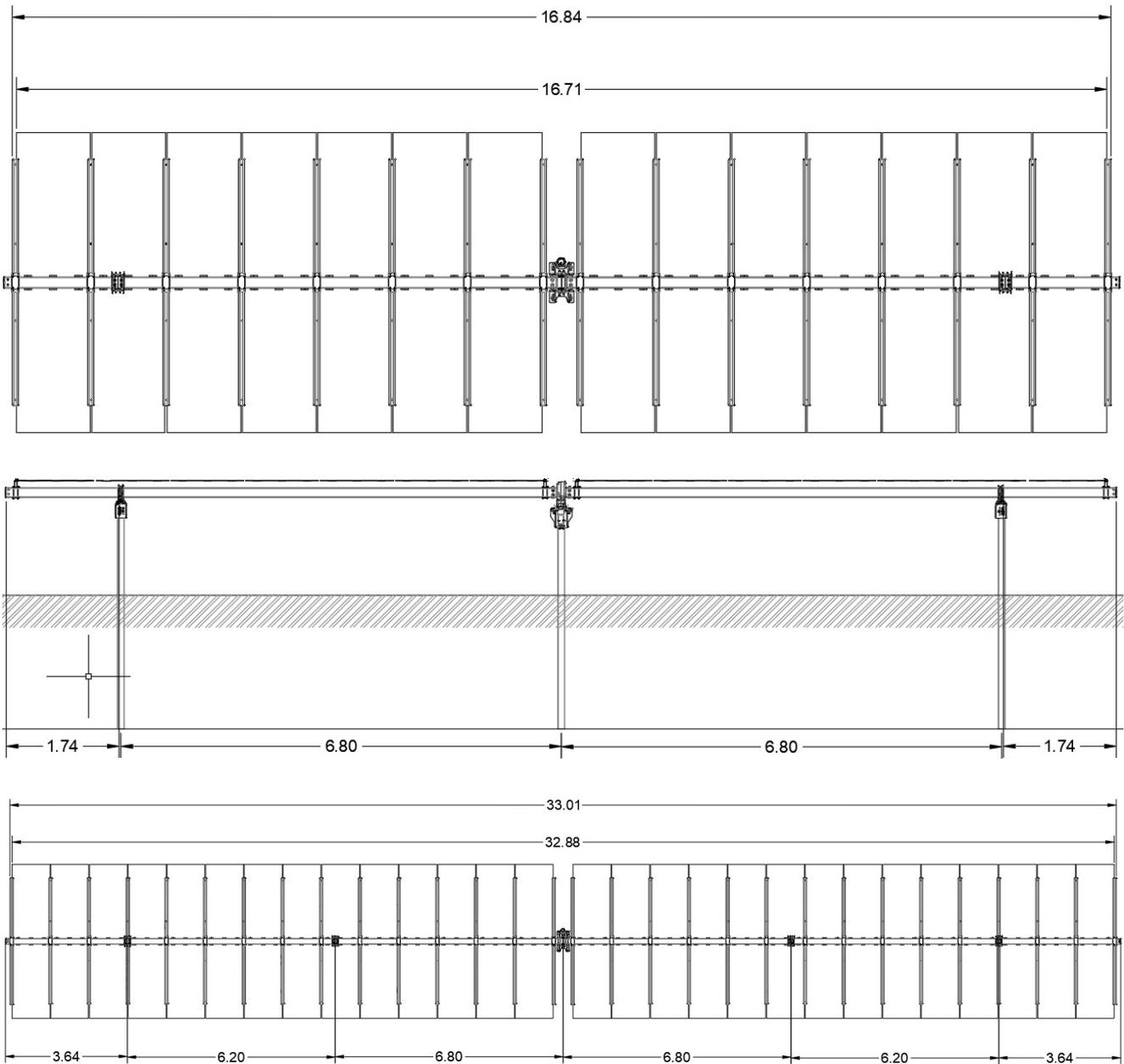
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA
DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN
LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**

– Progetto definitivo –

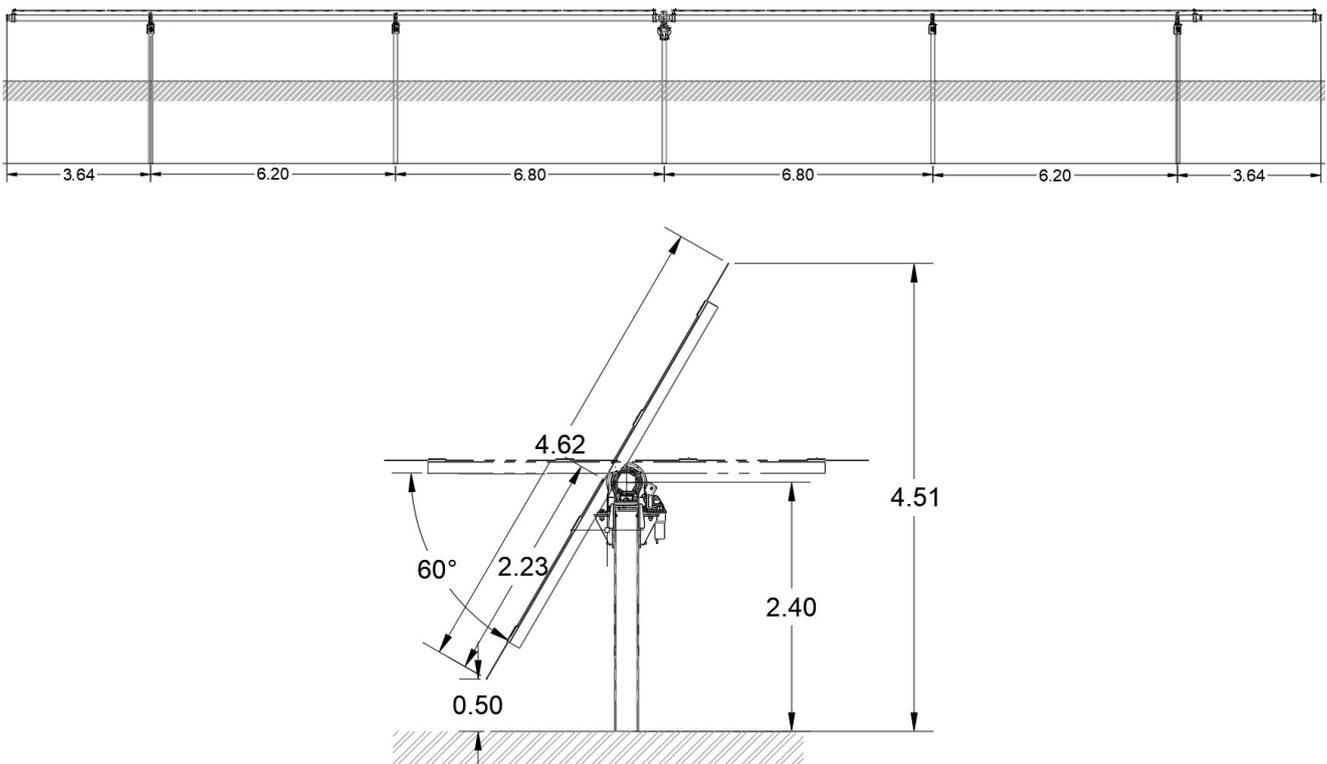
Elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

Rev:										Data:	Foglio
00										Novembre 2022	6 di 37



Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	7 di 37



3. CONTESTO GEOLOGICO E MODELLAZIONE GEOTECNICA

3.1. CARATTERISTICHE GENERALI

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 e il caviodotto ricadono nel Foglio n. 164 "FOGGIA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000 dell'IGM e più specificatamente nella tavoletta II SE "TRESSANTI".

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;
- alluvioni per colmata.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	8 di 37

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 predisponesti al dissesto così come non si rilevano elementi di instabilità in atto o potenziali.

3.2. 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 sabbioso-limoso-argilloso molto aerato, poco o per niente consistente; 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 216 m/s;
- il secondo sismostrato è associabile a depositi mediamente addensati di natura sabbiosa con livelli argilloso-ciottolosi; esso è intercettato ad una profondità variabile tra 2.00 e 10.00 m dal p.c. ha fatto registrare una velocità Vp pari a 710 m/s ed una velocità Vs pari a 405 m/s;
- il terzo sismostrato è associabile a depositi ben addensati di natura sabbioso-argillosa; esso è intercettato ad una profondità oltre i 10.00 m dal p.c. e ha fatto registrare una velocità Vp pari a 1610 m/s ed una velocità Vs pari a 637 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/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.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –									
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE									
Rev:					Data:			Foglio	
00					Novembre 2022			9 di 37	

PROFILO N. 1	AREA IMPIANTO AGRIVOLTAICO						
Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.0	390	216	0.40	1.00	1217	476	917
2° sismostrato 2.0÷10.0	710	405	0.43	1.00	4212	1673	2911
substrato >10.0	1 610	637	0.47	1.00	11648	4139	20921

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.

3.3. 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-argillososabbiosa 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:

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

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	10 di 37

4. VERIFICA DELLE STRUTTURE PORTA PANNELLO

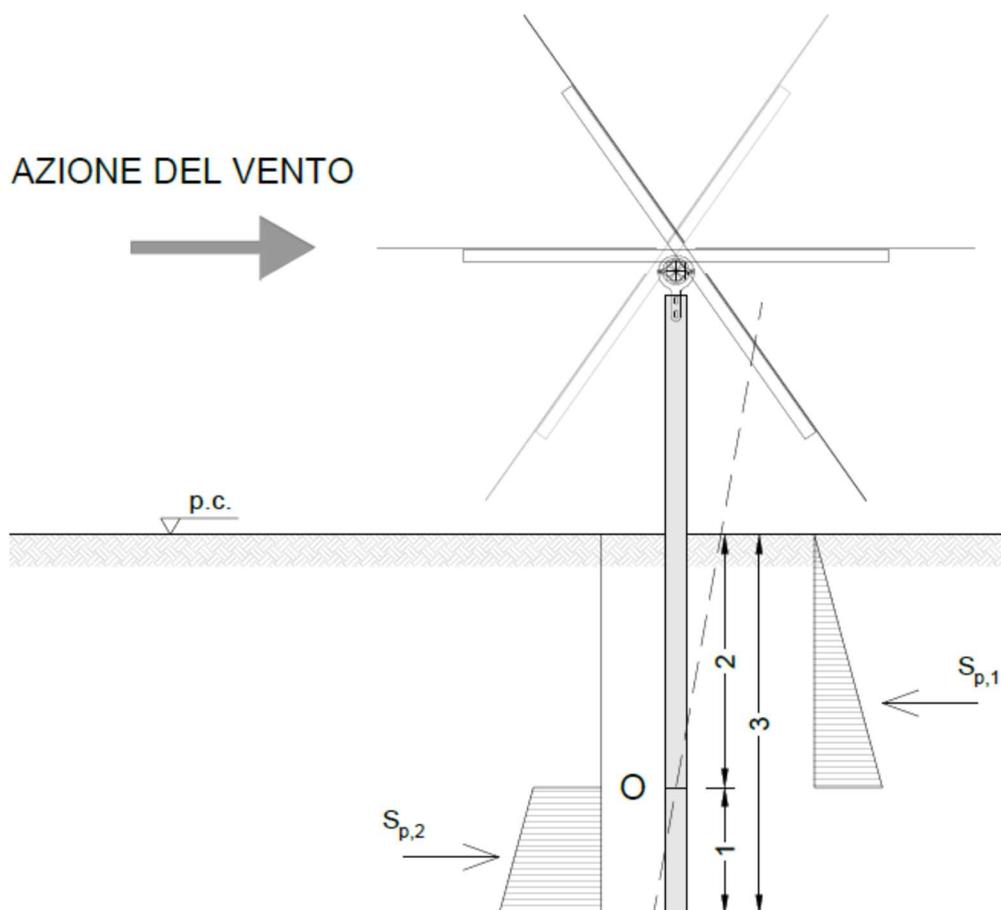
4.1. VERIFICA A RIBALTAMENTO DEL COMPLESSO STRUTTURA / PANNELLI

Di seguito si riportano le modalità di conduzione e le risultanze della verifica a ribaltamento del complesso pannello / struttura porta pannelli.

Date le differenti dimensioni dei blocchi tracker, la verifica è condotta sul blocco di maggiori dimensioni (lunghezza di 33,28 metri) ritenuto più significativo allo scopo.

In via preliminare, la verifica di che trattasi è stata svolta in maniera speditiva in quanto la fase di progettazione strutturale preliminare ha il solo scopo di verificare la fattibilità tecnica delle opere in progetto dal punto di vista strutturale.

Considerando che le palancole sono infisse nel terreno per 3 metri dal p.c., si considera come punto di potenziale rotazione il punto "O" definito nella seguente figura e posto a 1/3 della lunghezza di infissione a partire dalla base.



Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	11 di 37

Le azioni orizzontali ribaltanti che agiscono sulle strutture sono l'azione del vento e l'azione sismica. Considerando che l'azione del vento risulta preponderante rispetto all'azione sismica, dato le esigue masse in gioco, e considerando la scarsissima probabilità in cui entrambe le azioni si verificano contemporaneamente e con la loro massima intensità possibile, si assume per la verifica a ribaltamento la sola l'azione del vento.

Il calcolo delle azione del vento è stato condotto come in appresso esplicitato.

Zona vento = 3

Velocità base della zona, $V_{b.o} = 27 \text{ m/s}$ (Tab. 3.3.I)

Altitudine base della zona, $A_o = 500 \text{ m}$ (Tab. 3.3.I)

Altitudine del sito, $A_s = 5 \text{ m}$

Velocità di riferimento, $V_b = 27,00 \text{ m/s}$ ($V_b = V_{b.o}$ per $A_s \leq A_o$)

Periodo di ritorno, $T_r = 20 \text{ anni}$

$C_r = 0,75 (1 - 0,2 \ln(-\ln(1-1/T_r)))^{1/2} = 0.947$

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto, $V_r = V_b C_r = 25,57 \text{ m/s}$

Classe di rugosità del terreno: C

[Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D]

Esposizione: Cat. II - Zona costiera entro 10 km dal mare

($K_r = 0,19$; $Z_o = 0,05 \text{ m}$; $Z_{min} = 4 \text{ m}$)

Pressione cinetica di riferimento, $q_b = 40 \text{ daN/mq}$

Grado di bloccaggio (Φ) = 0,2

Coefficiente di forma, $C_p = 2,13$

Coefficiente dinamico, $C_d = 1,00$

Coefficiente di esposizione, $C_e = 1,86$

Coefficiente di esposizione topografica, $C_t = 1,00$

Altezza dell'edificio, $h = 4,51 \text{ m}$

Pressione del vento, $p = q_b C_e C_p C_d = 158 \text{ daN/mq}$

Considerando la nomenclatura delle palancole come da immagine seguente, di seguito si riportano le calcolazioni esplicative della verifica a ribaltamento.

Progetto:

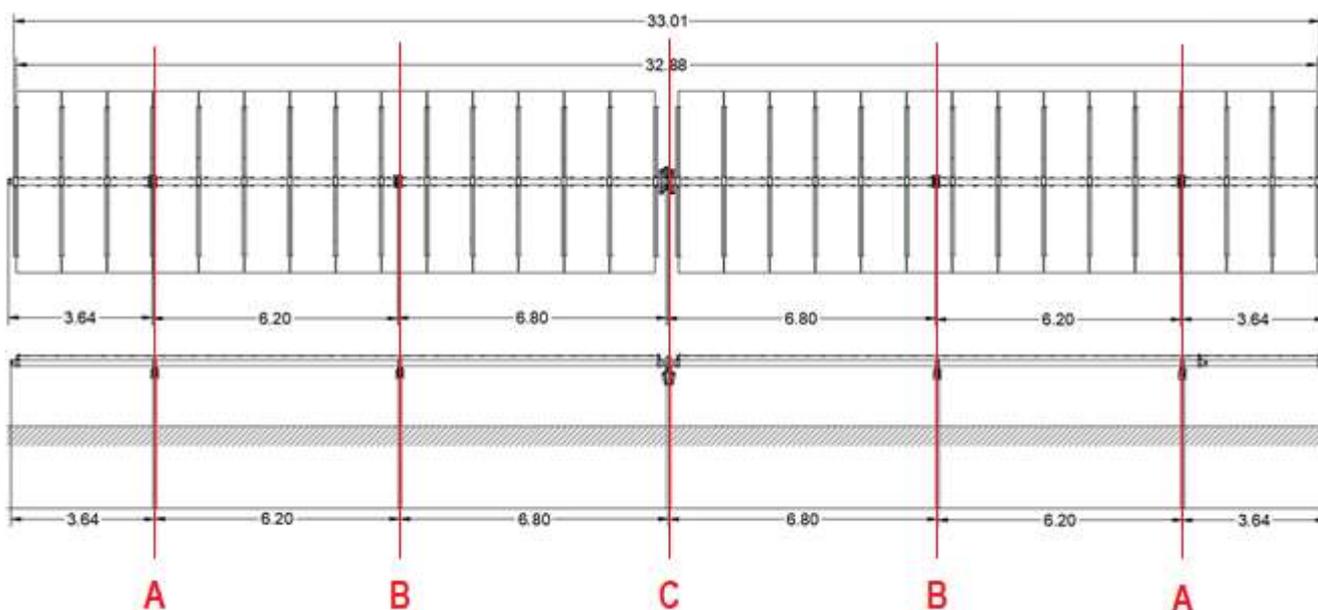
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA
DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN
LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**

– Progetto definitivo –

Elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	12 di 37



Pressione del vento	1.58 kN/mq
Azione complessiva del vento sul blocco tracker (pressione del vento applicata all'area dei pannelli investita dal vento, al netto delle aperture tra pannelli)	169 kN
Azione del vento sulle palancole A $F_{,A}$	32 kN
Azione del vento sulle palancole B $F_{,B}$	31 kN
Azione del vento sulla palancole C $F_{,C}$	33 kN
Momento ribaltante sulle palancole A $M_{rib,A}$	75 kN*m
Momento ribaltante sulle palancole B $M_{rib,B}$	72 kN*m
Momento ribaltante sulla palancole C $M_{rib,C}$	75 kN*m

Peso per unità di volume γ	19.12 kN/mc
Angolo di attrito interno φ'	23 °
Coefficiente di spinta passiva k_p ($1+\text{sen}\varphi / 1-\text{sen}\varphi$)	2.28
Profondità di infissione dal p.c.	3 m
Profondità dal p.c. del punto di rotazione	2 m

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	13 di 37

Spinta passiva $S_{p,1}$	92 kN/m
Spinta passiva $S_{p,2}$	115 kN/m
Larghezza palancole	0.22 m
Spinta passiva $S_{p,1}$ sulle palancole $S_{p,1,p}$	20 kN
Spinta passiva $S_{p,2}$ sulle palancole $S_{p,2,p}$	25 kN
Momento stabilizzante sulle palancole $M_{stab,p}$	76 kN*m

Verifica a ribaltamento palancole A $M_{rib,A} / M_{stab,p}$	0.98 <1
Verifica a ribaltamento palancole B $M_{rib,B} / M_{stab,p}$	0.94 <1
Verifica a ribaltamento palancole C $M_{rib,C} / M_{stab,p}$	0.99 <1

4.2. ULTERIORI ASPETTI STRUTTURALI RELATIVI ALLE OPERE PREFABBRICATE

Con riferimento ai manufatti prefabbricati in acciaio costituenti la struttura dei tracker, gli stessi saranno forniti da produttore che abbia depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici la documentazione inerente il possesso dei requisiti richiesti dal p.to 11.8.4 delle Norme Tecniche di cui al D.M. 17/01/2018 in relazione al processo produttivo ed al controllo di produzione in stabilimento. I manufatti saranno accompagnati da attestato di qualificazione per la produzione di componenti prefabbricati in serie dichiarata.

Per tutto quanto suddetto, quindi, i calcoli strutturali saranno forniti dal produttore dei manufatti prefabbricati e saranno depositati, assieme alla progettazione strutturale esecutiva, presso la competente struttura tecnica provinciale prima dell'inizio dei lavori.

5. VERIFICHE GEOTECNICHE CABINE DI CAMPO

5.1. GENERALITÀ

Di seguito si riportano le verifiche geotecniche relative alle cabine di campo. Il progetto, infatti, prevede l'installazione di n. 11 cabine elettriche di trasformazione costituite da container di involucro contenente apparecchiature elettromeccaniche quali inverter, trasformatore, quadri, contatori, servizi ausiliari, UPS, cassetteria, staffaggi e tutto quant'altro necessario per rendere l'opera correttamente funzionante.

Le cabine hanno le seguenti dimensioni:

- n. 8 cabine di dimensioni in pianta pari a 8.75 x 2.40 m + 6.17 x 2.40 m e altezza pari a 3.23 m;
- n. 2 cabine di dimensioni in pianta pari a 6.50 x 2.40 m e altezza pari a 3.23 m;
- n. 1 cabina di dimensioni in pianta pari a 8.75 x 2.40 m e altezza pari a 3.23 m.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	14 di 37

Tali cabine saranno posate in opera su piastra di fondazione in c.a.

Per più dettagliate informazioni sulle opere in progetto si faccia utile riferimento agli elaborati grafici allegati.

Date le differenti dimensioni delle cabine di campo e considerato che la fase di progettazione strutturale preliminare ha il solo scopo di verificare la fattibilità tecnica delle opere in progetto dal punto di vista strutturale, per semplicità di trattazione la verifica è stata condotta solo sulla cabina di maggiori dimensioni (lunghezza di 8,75 m e larghezza di 2,40 m) ritenuta più significativo allo scopo.

5.2. ANALISI DEI CARICHI

I carichi permanenti strutturali da utilizzare per le verifiche geotecniche hanno un'incidenza per unità di superficie pari a 40 kN/m².

Per quanto riguarda i carichi permanenti non strutturali, considerando la tipologia di apparecchiature che saranno allocate all'interno delle cabine, si considera una incidenza pari a 60 kN/m².

Di seguito si riporta il calcolo del carico neve.

Zona Neve = II

Ce (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

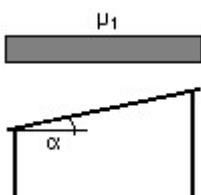
Valore caratteristico del carico al suolo = qsk Ce = 102 daN/mq

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 0,0^\circ$

$\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 81 \text{ daN/m}^2$

Schema di carico:



5.3. MODELLO DI CALCOLO

5.3.1. Metodi agli elementi finiti (F.E.M.)

L'analisi strutturale viene effettuata con il Metodo degli Elementi Finiti (F.E.M.) in ambiente PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program della 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l.

Tale metodo si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. Ciascuno degli elementi finiti utilizzati per costruire il modello della struttura è un corpo solido caratterizzato da un materiale definito dai sopra riportati parametri:

coefficiente di Poisson	ν [-]
modulo di Young tangenziale	G [daN/cm ²]

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	15 di 37

coefficiente di dilatazione termica α [$^{\circ}\text{K}^{-1}$]
peso specifico γ [daN/cm^3]
modulo di Young longitudinale E [daN/cm^2]

e da m nodi ciascuno dei quali ha $g \leq 6$ gradi di libertà:

$m = n^{\circ}$ nodi

$g \leq 6 = n^{\circ}$ g.d.l. per nodo (3 traslazioni u_1, u_2, u_3 e 3 rotazioni $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, ovvero 3 forze f_1, f_2, f_3 e 3 momenti

m_1, m_2, m_3)

$n = m * g = n^{\circ}$ g.d.l. dell'elemento finito.

ed è definito dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Per ogni elemento finito esiste una matrice $n * n$ di rigidezza $[K]_e$ che consente di definire il legame costitutivo dell'elemento finito tra il vettore delle forze $\{f\}_e$ e il vettore degli spostamenti $\{u\}_e$

$$[K]_e \{u\}_e = \{f\}_e \quad (I)$$

$$\{f\}_e = (\dots, f_1, f_2, f_3, m_1, m_2, m_3, \dots)$$

$$\{u\}_e = (\dots, u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots)$$

5.3.2. Condizioni al contorno

Ogni elemento finito è sede di un sistema di spostamenti-deformazioni-tensioni indotto da tutte le azioni esterne (carichi), le azioni interne (trasmesse dagli altri elementi finiti) e le condizioni di vincolo.

Le 6 componenti di forza $f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z$, nei nodi comuni a più elementi sono pari alla somma delle componenti relative a tali elementi (equilibrio).

Le 6 componenti di spostamento nodale $u_x, u_y, u_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$, nei nodi comuni a più elementi sono identiche (congruenza).

5.3.3. Soluzione

Dopo aver operato per ciascun elemento finito una trasformazione di spostamenti nodali, forze nodali e matrice di rigidezza, dalle coordinate locali (1,2,3) alle coordinate globali (x,y,z):

$$\{u\}_e \rightarrow \{u\}_e^* = \{\dots, u_x, u_y, u_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z, \dots\}$$

$$\{f\}_e \rightarrow \{f\}_e^* = \{\dots, f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z, \dots\}$$

$$[K]_e \rightarrow [K]_e^*$$

le relazioni (I) diventano:

$$[K]_e^* \{u\}_e^* = \{f\}_e^*$$

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	16 di 37

e possono essere assemblate in un'unica equazione matriciale del tipo:

$$[K]\{u\} = \{f\} \Rightarrow \{u\} = [K]^{-1}\{f\} \quad (II)$$

che definisce il legame costitutivo della struttura forze nodali $\{f\}$ – spostamenti nodali $\{u\}$ nel riferimento globale (x,y,z).

Secondo il Metodo degli Spostamenti, le incognite del problema sono le componenti di spostamento dei nodi del vettore $\{u\}$ nel sistema di riferimento globale. La soluzione del problema si ottiene risolvendo il sistema di equazioni algebriche lineari (II) i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura $\{f\}$ opportunamente concentrati ai nodi:

- 1) determinazione degli spostamenti nodali $\{u\}$ della struttura risolvendo la relazione (II), ovvero degli spostamenti $u_x, u_y, u_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ di ogni nodo;
- 2) per trasformazione di coordinate, si risale alle componenti di spostamento locale $(u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ dei nodi e quindi al vettore $\{u\}_e$ di ciascun elemento finito;
- 3) dagli spostamenti $\{u\}_e$, utilizzando il legame costitutivo dell'elemento finito (I) si risale alle forze nodali $\{f\}_e$, da cui è possibile dedurre sollecitazioni, deformazioni e tensioni dell'elemento, riferite alla terna locale (1, 2, 3) dell'elemento stesso.

5.3.4. Informazioni sul codice di calcolo

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo:

produttore: 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l., Ferrara
 nome: PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program
 versione: PROFESSIONAL
 codice utente: 001757/cli
 nome utente: Massimo Magnotta
 codice licenza: dsi3641
 numero seriale: H622163X84664H4

Affidabilità dei codici utilizzati:

2S.I. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link:
<http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm>

Informazioni generali sull'elaborazione e giudizio motivato di accettabilità dei risultati:

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa. I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	17 di 37

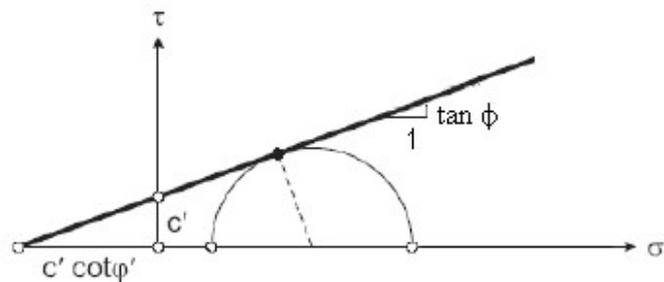
adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

5.4. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE

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):

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

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

$$c = c' \quad \phi = \phi' \quad \gamma = \gamma'$$

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:

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

dove:

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI – Progetto definitivo –		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	18 di 37

- 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:

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

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:

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

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

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

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

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

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	19 di 37

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

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

- 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.

Di seguito si riportano le modalità di conduzione e le risultanze delle verifiche. Date le caratteristiche prevalentemente non coesive dei litotipi di fondazione, la verifica è condotta in condizioni drenate (lungo termine).

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	20 di 37

PARAMETRI DI CALCOLO

Metodi di calcolo della portanza per fondazioni superficiali:

- Per terreni sciolti: Vesic
- Per terreni lapidei: Terzaghi

Fattori utilizzati per il calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

- Riduzione dimensioni per eccentricità: si
- Fattori di forma della fondazione: si
- Fattori di profondità del piano di posa: si
- Fattori di inclinazione del carico: si
- Fattori di punzonamento (Vesic): si
- Fattore riduzione effetto piastra (Bowles): si
- Fattore di riduzione dimensione Base equivalente platea: 20,0 %
- Fattore di riduzione dimensione Lunghezza equivalente platea: 20,0 %

Effetti inerziali (Paolucci-Pecker):

- Coeff. sismico orizzontale $K_h = 0,000$
- Angolo d'attrito alla quota di fond.= 20,0
- Fattore correttivo $Z_c = 1,000$
- Fattore correttivo $Z_q = 1,000$

Coefficienti parziali di sicurezza per Tensioni Ammissibili, SLE e SLD nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali:

- Coeff. parziale di sicurezza F_c (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza F_q (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza F_g (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza F_c (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza F_q (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza F_g (sismico): 3,00

Combinazioni di carico:

APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali di sicurezza per SLU nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per $\tan(\phi)$ (statico): 1
- Coeff. M1 per c' (statico): 1
- Coeff. M1 per C_u (statico): 1

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>		
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE		
Rev:	Data:	Foglio
00	Novembre 2022	21 di 37

- Coeff. M1 per Tan(fi) (sismico): 1
- Coeff. M1 per c' (sismico): 1
- Coeff. M1 per Cu sismico): 1
- Coeff. R3 capacità portante: 2,30
- Coeff. R3 scorrimento: 1,10

Parametri per la verifica a scorrimento delle fondazioni superficiali:

- Fattore per l'adesione ($6 < Ca < 10$): 8
- Fattore per attrito terreno-fondazione ($5 < Delta < 10$): 7
- Frazione di spinta passiva fSp: 30,00 %

ARCHIVIO STRATIGRAFIE

Indice / Descrizione: 001 / Nuova stratigrafia n. 1
 Numero strati: 1

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno
1	da 0,0 a -2000,0 cm	2000,0 cm	001 / Depositi di natura sabbioso-ghiaiosa

ARCHIVIO TERRENI

Indice / Descrizione terreno: **001 / Depositi di natura sabbioso-ghiaiosa**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Dens.Rel.	Poisson
daN/cm ²	Gradi°	daN/cm ²	daN/cm ²	%	%
1,765 E-3	26,000	0,000	506,600	60,0	0,350

I tabulati che seguono riportano, per le combinazioni di carico agli SLU, i valori di calcolo della portanza per fondazioni superficiali e la relativa verifica. La simbologia adoperata è la seguente:

- Qlim q: valore del termine relativo al sovraccarico nella formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile);
- Qlim g: valore del termine relativo alla larghezza della base di fondazione nella formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile);
- Qlim c: valore del termine relativo alla coesione nella formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile);
- Qres T: valore della capacità portante relativo alla resistenza al punzonamento del terreno sovrastante lo strato di rottura. Tale valore risulta non nullo nel caso di terreni stratificati dove lo strato di rottura è diverso dal primo (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile);
- Qlim: valore della capacità portante totale quale somma di Qlim q, Qlim g, Qlim c e di Qres T;

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 42.06 MWp (36MW+15MW IN IMMISSIONE) NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITÀ "MARANA DI LUPARA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>– Progetto definitivo –</i>										
Elaborato: RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE										
Rev:						Data:		Foglio		
00						Novembre 2022		22 di 37		

- Qmax / Qlim: rapporto tra il massimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale e il valore della capacità portante (verifica positiva se il rapporto è < 1.0).
- Cmb: numero della combinazione di carico (nel caso che essa sia di S.L.U. è riportata la tipologia);
- TBlim: valore limite della resistenza a scorrimento nella direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento;
- T.B / TBlim: rapporto tra lo sforzo di taglio agente e il valore limite della resistenza a scorrimento nella direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è < 1.0);
- TLlim: valore limite della resistenza a scorrimento nella direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento;
- T.L / TLlim: rapporto tra lo sforzo di taglio agente e il valore limite della resistenza a scorrimento nella direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è < 1.0);

Elemento: Platea n. 1

Cmb.	Qmax	Qlim	Qmax/Qlim	TB	TBlim	TB/TBlim	TL	TLlim	TL/TLlim	Stato
n.	daN/cm ²	daN/cm ²		daN	daN		daN	daN		
1	1.0770	1.2898	0.835	0.0	19336.4	0.000	0.0	19362.3	0.000	Ok

Risultati più gravosi:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.1203 daN/cm²

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.6872 + 0.3845 + 0.2181 + 0.0000

Qmax / Qlim = 1.0770 / 1.2898 = 0,835 Ok (Cmb 01 SLU)

TB / TBlim = 0.0 / 19362.3 = 0,000 Ok (Cmb 01 SLU)

TL / TLlim = 0.0 / 19336.4 = 0,000 Ok (Cmb 01 SLU)

La verifica di capacità portante risulta verificata.

5.5. ULTERIORI ASPETTI STRUTTURALI RELATIVI ALLE OPERE PREFABBRICATE

Con riferimento ai manufatti prefabbricati in c.a. o in acciaio costituenti le cabine elettriche, gli stessi saranno forniti da produttore che abbia depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici la documentazione inerente il possesso dei requisiti richiesti dal p.to 11.8.4 delle Norme Tecniche di cui al D.M. 17/01/2018 in relazione al processo produttivo ed al controllo di produzione in stabilimento. I manufatti saranno accompagnati da attestato di qualificazione per la produzione di componenti prefabbricati in serie dichiarata.

Per tutto quanto suddetto, quindi, i calcoli strutturali saranno forniti dal produttore dei manufatti prefabbricati e saranno depositati, assieme alla progettazione strutturale esecutiva, presso la competente struttura tecnica provinciale prima dell'inizio dei lavori.