



**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

### Calcoli preliminari delle strutture Strutture porta pannelli e cabine di campo

|               |                     |  |              |           |       |
|---------------|---------------------|--|--------------|-----------|-------|
| COD. ID.      | FV071FGEFEB         |  |              |           |       |
| Livello prog. | Tipo documentazione |  | N. elaborato | Data      | Scala |
| PD            | Definitiva          |  | 4.2.11.1.1   | 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

|   |             |  |  |                            |                          |
|---|-------------|--|--|----------------------------|--------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |             |  |  |                            |                          |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |             |  |  |                            |                          |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b> |  |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>1 di 20 |
|   | 00          |  |  |                            |                          |

## 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.....                           | 3  |
| 3. CONTESTO GEOLOGICO E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....                      | 6  |
| 3.1. CARATTERISTICHE GENERALI.....  | 6  |
| 3.2. CAMPAGNA DI INDAGINE.....  | 7  |
| 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..... | 12 |
| 5. VERIFICHE GEOTECNICHE CABINE DI CAMPO.....                             | 12 |
| 5.1. GENERALITÀ.....  | 12 |
| 5.2. ANALISI DEI CARICHI.....   | 12 |
| 5.3. MODELLO DI CALCOLO.....  | 13 |
| 5.3.1. Metodi agli elementi finiti (F.E.M.).....                          | 13 |
| 5.3.2. Condizioni al contorno.....  | 14 |
| 5.3.3. Soluzione.....   | 14 |
| 5.3.4. Informazioni sul codice di calcolo.....                            | 14 |
| 5.4. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE.....                                   | 15 |
| 5.5. ULTERIORI ASPETTI STRUTTURALI RELATIVI ALLE OPERE PREFABBRICATE..... | 20 |

|  |                   |                            |                          |
|--|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |                            |                          |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |                            |                          |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>2 di 20 |

## 1. INFORMAZIONI INTRODUTTIVE

### 1.1. PREMESSA

Il presente documento riporta gli aspetti relativi al calcolo preliminare delle strutture dell'impianto fotovoltaico di potenza di picco pari a 40,658 MWp (36,500 MW in immissione) da realizzare in agro dei Comuni di Stornarella (FG) e Orta Nova (FG) e Stornara (FG). Il progetto prevede l'integrazione di un progetto agronomico per il quale verranno seminate diverse colture così come meglio e più esaurientemente dettagliato in altri elaborati progettuali. In questo modo il progetto consente di combinare la produzione alimentare al sistema di produzione di energia elettrica.

Il presente elaborato illustra e descrive le calcolazioni inerenti le strutture porta pannello e le cabine di campo.

### 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  $\gamma_F \geq 1$  e  $\psi_F \leq 1$ , si determinano le azioni di calcolo per ciascuna combinazione di carico strutturale significativa:

$$F_d = \gamma_F \psi_F F_k$$

- 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.

|  |                   |                            |                          |
|--|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |                            |                          |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |                            |                          |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>3 di 20 |

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  $R_d = R_k / \gamma_R$  ( $\gamma_R \geq 1$ ):

$$E_d = E(\gamma_F \psi_F F_k, a_d) \leq R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R \left( \eta \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right).$$

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  $\eta \leq 1$  (letteratura tecnica) e di sicurezza  $\gamma_M \geq 1$ :

$$X_d = \frac{\eta X_k}{\gamma_M}$$

- Si determinano le azioni di calcolo  $F_d = \gamma_F \psi_F F_k$  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  $R_d = R_k / \gamma_R$  ( $\gamma_R \geq 1$ ):

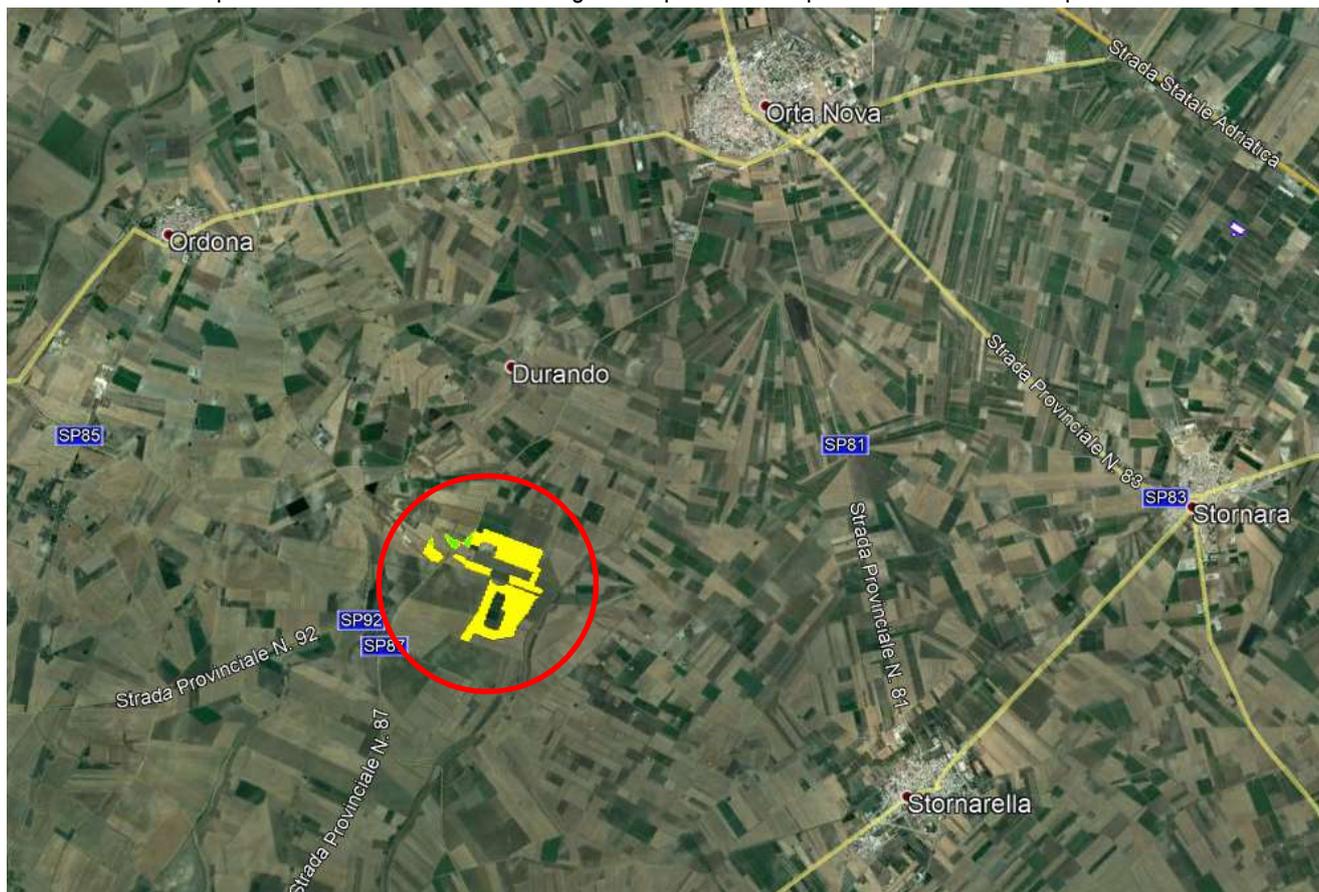
$$E_d = E(\gamma_F \psi_F F_k, a_d) \leq R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R \left( \eta \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right).$$

## 2. DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA

L'impianto agrolvoltaico 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).

|   |             |  |  |                            |                          |
|---|-------------|--|--|----------------------------|--------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |             |  |  |                            |                          |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |             |  |  |                            |                          |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b> |  |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>4 di 20 |
|   | 00          |  |  |                            |                          |

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.

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.

**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 DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo**

**Codice identificativo progetto:**

FV071EGEFEB

**Rev:**

00

**Data:**

Marzo 2021

**Foglio**

5 di 20

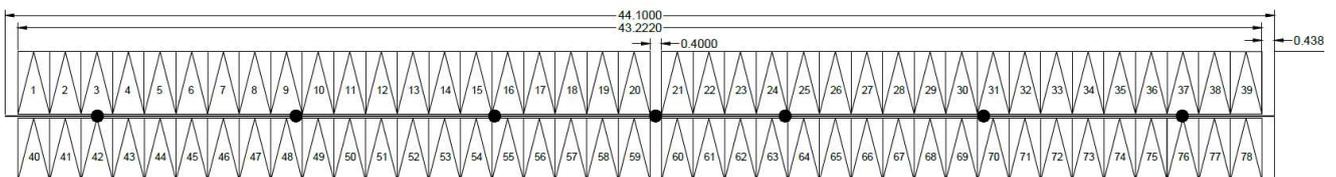
Il progetto prevede l'integrazione di un progetto agronomico per il quale, all'interno della stessa area di installazione dell'impianto, verranno seminate diverse colture come meglio descritto negli elaborati progettuali agronomici.

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

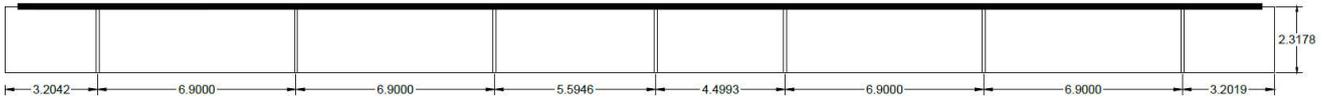
TRACKER MONOASSIALE 0° NORD - SUD - Configurazioni con stringhe da 26 moduli

Tracker con configurazione a tre stringhe

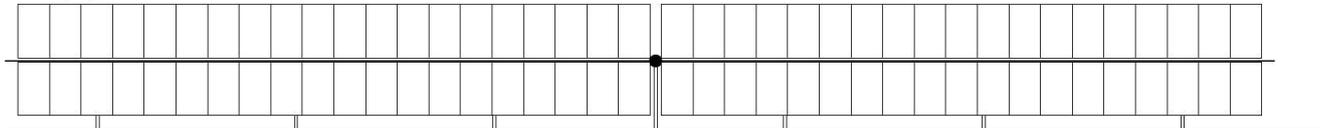
Vista in pianta



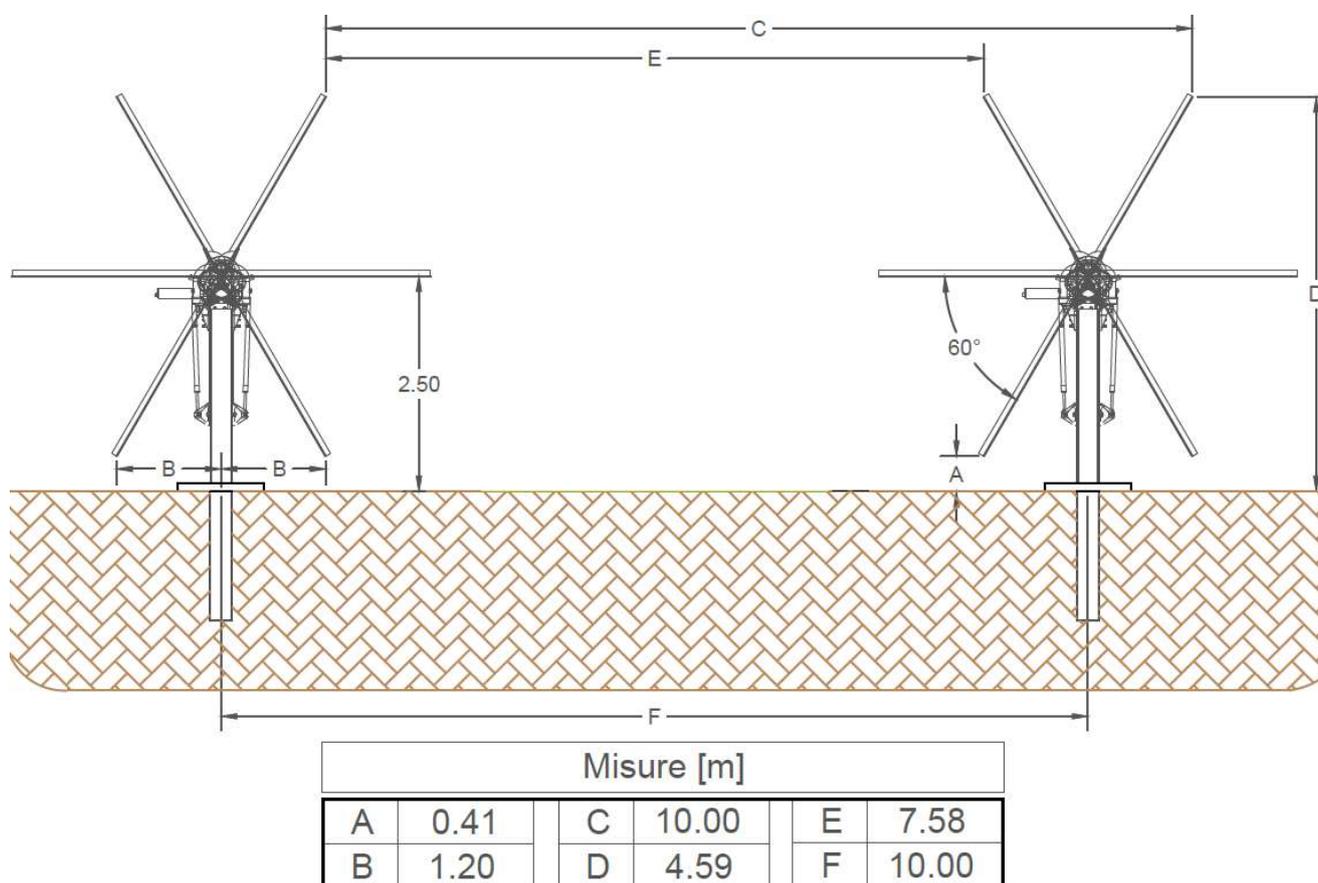
Vista in sezione



Vista in prospettiva



|   |                   |                            |                          |
|---|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |                   |                            |                          |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |                   |                            |                          |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>6 di 20 |



### 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 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:

|   |                   |                            |                          |
|---|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |                   |                            |                          |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |                   |                            |                          |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>7 di 20 |

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

La natura dei terreni superficiali, che si rinvencono 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.

### 3.2. 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 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 limososabbiosa 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 Vp variabile tra 480 e 600 m/s ed una velocità Vs 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 Vp variabile tra 980 e 1440 m/s ed una velocità Vs 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 Vp variabile tra 1860 e 2220 m/s ed una velocità Vs 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<sup>2</sup>.

Questi valori sono stati calcolati considerando un peso di volume dei terreni  $\gamma$  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 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 DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo**

**Codice identificativo progetto:**

FV071EGEFEB

**Rev:**

00

**Data:**

Marzo 2021

**Foglio**

8 di 20

**PROFILO N. 1****AREA IMPIANTO AGROVOLTAICO**

| Profondità media (m)      | Vp   | Vs  | $\sigma$ | $\gamma$ | 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)      | Vp   | Vs  | $\sigma$ | $\gamma$ | 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 |

Vp = velocità onde longitudinali in m/s

Vs = velocità onde trasversali in m/s

$\sigma$  = coefficiente di Poisson

$\gamma$  = peso di volume in g/cm<sup>3</sup>

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm<sup>2</sup>

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm<sup>2</sup>

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm<sup>2</sup>

I profili MASW realizzati hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

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

|  |                   |  |                            |
|--|-------------------|--|----------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |  |                            |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |  |                            |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 |
|  |                   |  | <b>Foglio</b><br>9 di 20   |

| M.A.S.W. n. 1<br>Area impianto agrovoltaico |                 | M.A.S.W. n. 2<br>Area impianto agrovoltaico |                 |
|---|-----------------|---|-----------------|
| 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.

### 3.3. 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.

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.

Depositi prevalentemente sabbioso-limoso-ghiaiosi:

- Peso di volume naturale  $\gamma = 2.00-2.05$  t/m<sup>3</sup>
- Angolo di attrito interno  $\Phi' = 32^\circ - 35^\circ$
- Coesione  $c' = 0.00$  kg/cm<sup>2</sup>

|   |             |  |  |                            |                           |
|---|-------------|--|--|----------------------------|---------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |             |  |  |                            |                           |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |             |  |  |                            |                           |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b> |  |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>10 di 20 |
|   | 00          |  |  |                            |                           |

## 4. VERIFICA DELLE STRUTTURE PORTA PANNELLO

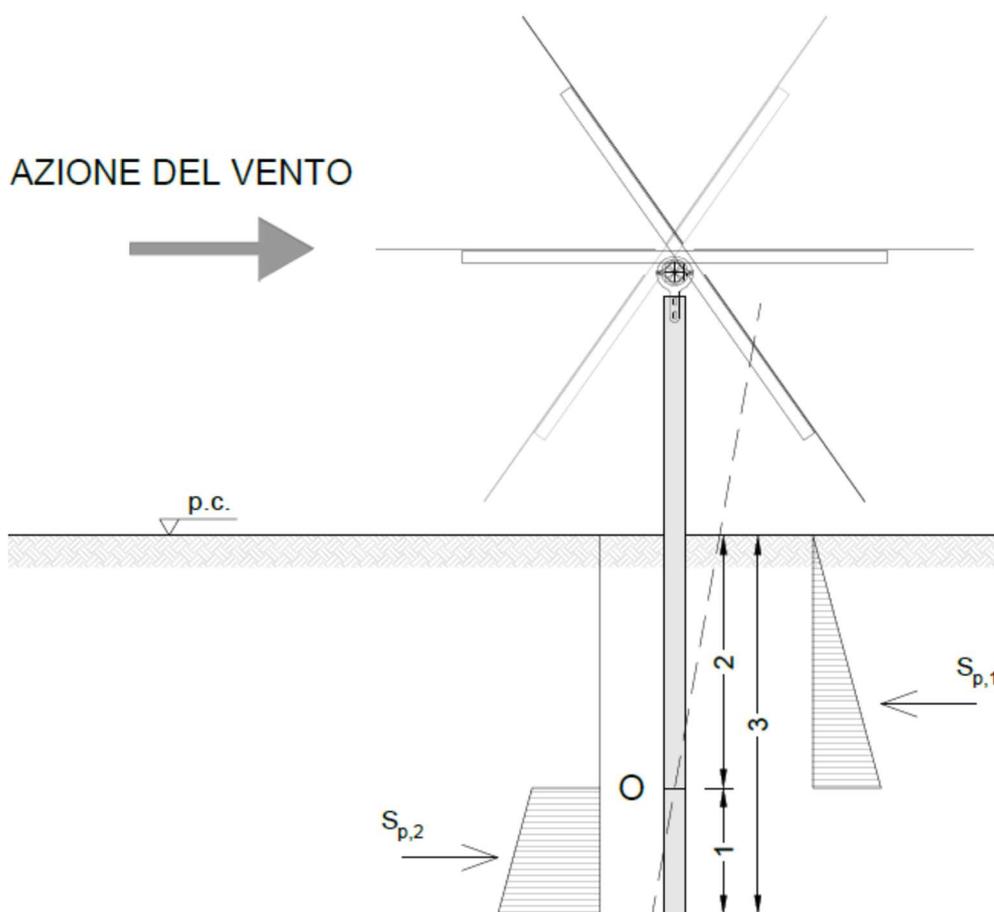
### 4.1. VERIFICA A RIBALTAMENTO DEL COMPLESSO STRUTTURA / PANNELLI

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

Date le differenti dimensioni dei blocchi tracker, la verifica è condotta sul blocco di maggiori dimensioni (lunghezza di 68,63 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.



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.

|  |                   |  |                            |
|--|-------------------|--|----------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |  |                            |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |  |                            |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 |
|  |                   |  | <b>Foglio</b><br>11 di 20  |

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

Zona vento = 3

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

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

Altitudine del sito,  $A_s = 150$  m

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

Periodo di ritorno,  $T_r = 20$  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,  $V_r = V_b C_r = 25,57$  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. III - Entroterra fino a 500 m di altitudine

( $K_r = 0,20$ ;  $Z_o = 0,10$  m;  $Z_{min} = 5$  m)

Pressione cinetica di riferimento,  $q_b = 41$  daN/mq

Grado di bloccaggio ( $\Phi$ ) = 0,2

Coefficiente di forma,  $C_p = 2,14$

Coefficiente dinamico,  $C_d = 1,00$

Coefficiente di esposizione,  $C_e = 1,71$

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

Altezza dell'edificio,  $h = 4,59$  m

Pressione del vento,  $p = q_b C_e C_p C_d = 149$  daN/mq

Considerando che l'interasse massimo tra le palancole è pari a 6.90 m, di seguito si riportano le calcolazioni esplicative della verifica a ribaltamento.

|  |             |
|--|-------------|
| Pressione del vento  | 1.49 kN/mq  |
| Azione complessiva del vento sul blocco tracker<br>(pressione del vento applicata all'area dei pannelli investita dal vento, al netto delle aperture tra pannelli) | 385 kN      |
| Azione del vento sulle palancole   | 39 kN       |
| Momento ribaltante sulle palancole   | 95 kN*m     |
| Peso per unità di volume $\gamma$  | 19.61 kN/mc |
| Angolo di attrito interno $\varphi'$   | 32 °        |
| Coefficiente di spinta passiva $k_p$<br>( $1 + \text{sen}\varphi / 1 - \text{sen}\varphi$ )  | 3.25        |
| Profondità di infissione dal p.c.  | 3 m         |
| Profondità dal p.c. del punto di rotazione   | 2 m         |
| Spinta passiva $S_{p,1}$   | 128 kN/m    |

|   |                   |                            |                           |
|---|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |                   |                            |                           |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |                   |                            |                           |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>12 di 20 |

|  |          |
|--|----------|
| Spinta passiva $S_{p,2}$                                   | 160 kN/m |
| Larghezza palancole  | 0.20 m   |
| Spinta passiva $S_{p,1}$ sulle palancole $S_{p,1,p}$       | 26 kN    |
| Spinta passiva $S_{p,2}$ sulle palancole $S_{p,2,p}$       | 32 kN    |
| Momento stabilizzante sulle palancole $M_{stab,p}$         | 97 kN*m  |
| Verifica a ribaltamento palancole $M_{rib,A} / M_{stab,p}$ | 0.98 <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 struttura tecnica provinciale (ex Genio Civile) 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. 18 cabine elettriche costituite da container di involucro contenente apparecchiature elettromeccaniche.

Le cabine hanno dimensioni in pianta pari a 15 x 2.50 m e altezza pari a 3.0 m;

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.

#### 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/m<sup>2</sup>.

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/m<sup>2</sup>.

Di seguito si riporta il calcolo del carico neve.

Zona Neve = II

Tempo di ritorno,  $T_r = 20$  anni

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

|   |             |  |                            |
|---|-------------|--|----------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |             |  |                            |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |             |  |                            |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b> |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 |
|   | 00          |  |                            |

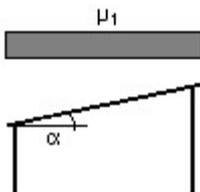
Valore caratteristico del carico al suolo = qsk Ce = 83 daN/mq

Copertura ad una falda:

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

$\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 66 \text{ daN/m}^2$

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             | $\nu$ [-]                       |
| modulo di Young tangenziale         | $G$ [daN/cm <sup>2</sup> ]      |
| coefficiente di dilatazione termica | $\alpha$ [°K <sup>-1</sup> ]    |
| peso specifico                      | $\gamma$ [daN/cm <sup>3</sup> ] |
| modulo di Young longitudinale       | $E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]      |

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  $\{u\}_e$

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

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

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

|  |                   |  |                            |
|--|-------------------|--|----------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |  |                            |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |  |                            |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 |
|  |                   |  | <b>Foglio</b><br>14 di 20  |

### 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 rigidità, dalle coordinate locali (1,2,3) alle coordinate globali (x,y,z):

$$\begin{aligned} \{u\}_e &\rightarrow \{u\}_e^* = \{...u_x, u_y, u_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z\} \\ \{f\}_e &\rightarrow \{f\}_e^* = \{...f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z, \dots\} \\ [K]_e &\rightarrow [K]_e^* \end{aligned}$$

le relazioni (I) diventano:

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

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

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

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

|  |                   |                            |                           |
|--|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |                            |                           |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |                            |                           |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>15 di 20 |

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:

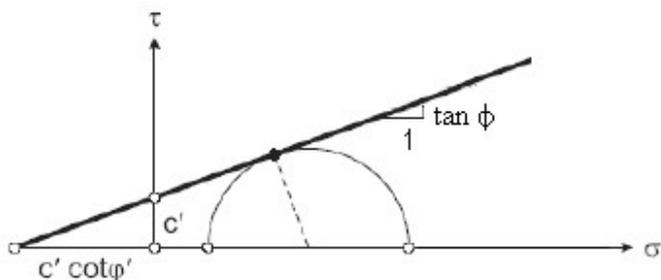
Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa. I risultati 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 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  $\tau$  e perpendicolari efficaci  $\sigma'$  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):

|  |                   |                            |                           |
|--|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |                            |                           |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |                            |                           |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>16 di 20 |

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

- 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:

- $q_{\lim}$  carico limite unitario;
- $B$  e  $L$  dimensioni della fondazione;
- $\gamma_R$  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;
- $\gamma_0$  peso di volume del terreno a profondità  $< D$ ;
- $c$  coesione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno a profondità  $> D$ ;
- $N_q, N_c, N_\gamma$  fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno  $\varphi$  del terreno;
- $s_q, s_c, s_\gamma$  fattori di forma;
- $d_q, d_c, d_\gamma$  fattori di approfondimento;
- $i_q, i_c, i_\gamma$  fattori di inclinazione carico;
- $b_q, b_c, b_\gamma$  fattori di inclinazione piano di posa;
- $g_q, g_c, g_\gamma$  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:

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 DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo**

| Codice identificativo progetto: | Rev: |  |  |  |  | Data:      | Foglio   |
|---------------------------------|------|--|--|--|--|------------|----------|
|                                 | 00   |  |  |  |  |            |          |
| FV071EGEFEB                     |      |  |  |  |  | Marzo 2021 | 17 di 20 |

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

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

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

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

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

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

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

- 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);
- $\delta$  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;

|   |                   |  |                            |
|---|-------------------|--|----------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>– Progetto definitivo –</i> |                   |  |                            |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |                   |  |                            |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b><br>00 |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 |
|   |                   |  | <b>Foglio</b><br>18 di 20  |

$A_r$  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).

## 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

|  |                   |  |                            |
|--|-------------------|--|----------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br>– Progetto definitivo – |                   |  |                            |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>  |                   |  |                            |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB  | <b>Rev:</b><br>00 |  | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 |
|  |                   |  | <b>Foglio</b><br>19 di 20  |

- Coeff. M1 per Cu (statico): 1
- 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 <sup>2</sup> | Gradi°      | daN/cm <sup>2</sup> | daN/cm <sup>2</sup> | %         | %       |
| 1,960 E-3           | 32,000      | 0,000               | 649,200             | 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;
- 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;

|   |                   |                            |                           |
|---|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Progetto:</b><br><b>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</b><br><i>- Progetto definitivo -</i> |                   |                            |                           |
| <b>Elaborato:</b><br><b>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE – Strutture porta pannello e cabine di campo</b>   |                   |                            |                           |
| <b>Codice identificativo progetto:</b><br>FV071EGEFEB   | <b>Rev:</b><br>00 | <b>Data:</b><br>Marzo 2021 | <b>Foglio</b><br>20 di 20 |

- 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 <sup>2</sup> | daN/cm <sup>2</sup> |           | 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/cm<sup>2</sup>

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)

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 struttura tecnica provinciale (ex Genio Civile) prima dell'inizio dei lavori.