



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Assessorato Agricoltura



CONSORZIO DI BONIFICA "VELIA"

Località Piano della Rocca, 84060

Prignano Cilento (SA)

Tel. 0974/837206 - Fax. 0974/837154 - Pec: consorziovelia@pec.it - www.consorziovelia.com

PSR CAMPANIA 2014 - 2020 / Tipologia di intervento 4.3.2 - Az. B
Sostegno alla realizzazione di impianti da fonti rinnovabili
per incrementare la copertura del fabbisogno energetico
degli impianti collettivi di irrigazione

PROGRAMMA ENERGIA (F.E.R.)

Fotovoltaico Diga Fabbrica - Aree di pertinenza

CUP - E13D23000660005

Livello di progettazione

Documento Fattibilità A. P. Fattib. tecnico - economica Progetto esecutivo

Cod. elaborato A2.8	Scala -	Data Marzo 2024	Revisione <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6
-------------------------------	------------	--------------------	--

Titolo elaborato

Verifica delle fondazioni per azioni da vento

TIPOLOGIA ELABORATO	<input checked="" type="checkbox"/> Descrittivo	<input type="checkbox"/> Grafico	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolo
<input type="checkbox"/> Economico	<input type="checkbox"/> Sicurezza	<input type="checkbox"/> Disciplinare/Contrattuale	<input type="checkbox"/> Altro

Progettista

Velia Ingegneria e Servizi Srl
Ing. Isidoro Silenzio

Supporto specialistico (impianti) Ing. Salvatore Forte

Coordinatore Sicurezza (fase di progetto)

Velia Ingegneria e Servizi Srl
Ing. Vito Ciantanni

Geologo

Dot. Geol. Fernando Marrocco

R.U.P.

Consorzio di Bonifica "Velia"
Arch. Alfredo Loffredo

Riferimenti archivio digitale: 049b/Ve.Ing.

VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLE FONDAZIONI PER AZIONI DA VENTO

Strutture di sostegno

Per il fissaggio a terra dei moduli fotovoltaici è stata prevista un tipo di fondazione profonda costituita da sistemi a vite in acciaio dotati di spirale. Tali sistemi vengono installati tramite avvitamento direttamente nel suolo e, una volta infisse, diventano un solido supporto per molteplici utilizzi.

Tale soluzione risulta notevolmente vantaggiosa nella riduzione dei tempi di lavoro eliminando la produzione di materiale di risulta e non prevedendo l'utilizzo di calcestruzzo. Esistono diverse tipologie di fondazione a vite:

- a) Viti flangiate: prevedono una flangia saldata in testa con fori o asole per il collegamento di strutture sopra terra tramite bulloni.
- b) Viti neutre: non prevedono alcun supporto saldato in testa e sono utili all'installazione di elementi e strutture a base tubolare.
- c) Viti con testa ad "U": prevedono una flangia saldata in testa con forma ad "U" per l'alloggiamento di elementi di forma rettangolare (travi o pilastri) fissati tramite bulloni.

Il presente progetto prevede l'utilizzo di fondazione a viti neutre con testa adatta all'alloggiamento del tubo innocente (elemento verticale) fissato tramite bulloni serranti, mediante i quali è possibile regolarne anche altezza e verticalità.

La lunghezza della fondazione a vite e la sua profondità di infissione saranno variabili in funzione della pendenza del terreno, in modo tale da garantire un'inclinazione dei moduli pari a 30° rispetto al piano orizzontale.

La struttura di sostegno si completerà con il fissaggio dei tubi trasversali a quelli verticali secondo l'inclinazione dei moduli (30°). Ai tubi trasversali andranno poi fissati i profili a C sui quali andranno resi solidali i singoli moduli mediante morsetti di fissaggio.

Calcolo pressione del vento

Nella verifica è stata analizzata una singola stringa, composta da 15 moduli fotovoltaici dalle dimensioni di 2,047 x 1,039 inclinati di circa 30° rispetto all'orizzontale. La verifica consiste nel confrontare le azioni stabilizzanti date dal peso dei pannelli e dalla resistenza all'estrazione offerta dal particolare mezzo di fondazione utilizzato (vite di fondazione) e dall'azione del vento agente sulla superficie dei pannelli fotovoltaici.

La verifica è condotta sui moduli fotovoltaici disposti nelle condizioni più sfavorevoli (maggiormente esposti all'azione del vento).

La pressione del vento, calcolata secondo il D.M. 14/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni", si ricava dalla seguente espressione:

$$P = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

Dove

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- C_e è il coefficiente di esposizione
- C_p è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria della costruzione C_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti

amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1.

Pressione cinetica di riferimento

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2$$

Dove

$\rho = 1,25 \text{ Kg/m}^3$ (densità dell'aria)

$v_r = 27 \text{ m/s}$ (velocità di riferimento)

Coefficiente di esposizione

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

Dove, essendo in categoria di esposizione III:

$$K_r = 0,2$$

$$z_0 = 0,10 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$c_t = 1 \text{ (coefficiente topografico)}$$

$$c_e = 1,95 \text{ (coefficiente di esposizione)}$$

$$c_p = \pm 1,2 \times (1 + \sin \alpha) = \pm 1,8$$

dove α è l'inclinazione del pannello pari a 30°

La pressione del vento risulta quindi così determinata:

$$P_{\text{vento}} (\text{mq}) = q_r \times C_e \times C_p \times C_d = 116 \text{ kg/m}^2$$

Da cui ne deriva che la Forza del vento agente sul singolo modulo è pari a:

$$F_{\text{vento}} = P_{\text{vento}} \times \text{Area singolo pannello}$$

$$F_{\text{vento}} = 116 \text{ kg/m}^2 \times 2,047 \text{ m} \times 1,039 \text{ m} = 246,82 \text{ kg (vento agente sul singolo modulo)}$$

Verifiche Geotecniche

Il calcolo della capacità portante dei pali segue la trattazione teorica del carico limite di una fondazione superficiale. Ai fini del calcolo, il carico limite di un palo Q_{lim} viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta P_{lim} e la resistenza laterale S_{lim} :

$$Q_{\text{lim}} = P_{\text{lim}} + S_{\text{lim}}$$

P_{lim} è la resistenza alla punta che nel caso in esame è stata posta pari a zero in quanto la superficie alla punta del palo è approssimabile a zero;

$$S_{\text{lim}} = s \times \text{perimetro} \times L$$

$$s = \mu \times k \times \sigma'_{vo}$$

I coefficienti μ e k sono stati definiti dalla tabella seguente:

PROGRAMMA ENERGIA (F.E.R.)
Fotovoltaico Diga Fabbrica (Aree di pertinenza) - CUP: E13D23000660005

Tipo di palo	k (S)	k (D)	μ
Batt. profilato	0.7	1.0	0.36
Batt. tubo acc. chiuso	1.0	2.0	0.36
Batt. Cls prefabbricato	1.0	2.0	$\tan(0.75\varphi')$
Batt. Cls gettato	1.0	3.0	$\tan(\varphi')$
Trivellato	0.5	0.4	$\tan(\varphi')$
Elica continua	0.7	0.9	$\tan(\varphi')$

DATI		
diametro palo	0,1	m
area palo	0,0	m ²
Z (lunghezza del palo)	1,5	m
$\sigma' (z) = \gamma * z$	2910	kg/m ²
area laterale palo	0,4	m ²
S_{lim} (resistenza laterale singolo palo)	1435,4	kg
q_{slim}	16803,1	kg/m ²
k	0,6	
c'	0,0	
ϕ	26,6	
γ	1940,0	kg/m ³
tg ϕ	9,6	

Verifica a carico limite verticale dei pali

Le forze agenti sulla struttura di fondazione sono di seguito riportate.

L'area su cui agiscono le sollecitazioni è pari all'area di un'intera stringa composta da 30 moduli fotovoltaici e 24 pali di infissione, l'area del singolo modulo fotovoltaico è di circa 2,13 m².

Analisi dei carichi		
Peso singolo modulo fotovoltaico	22,7	kg
N° moduli per stringa	30	
N° pali per stringa	24	
Peso singolo palo	10	kg
peso pali	240	kg
P vento	116,00	kg/m ²

PROGRAMMA ENERGIA (F.E.R.)
Fotovoltaico Diga Fabbrica (Aree di pertinenza) - CUP: E13D23000660005

F vento singolo modulo fotovoltaico	246,82	kg
F agente sull'intera stringa	7404,74	kg

Le varie forze agenti sono state combinate tra di loro utilizzando i coefficienti parziali per le azioni ed i coefficienti di combinazione riportati nelle NTC 2018.

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.6.I Coefficienti parziali per le azioni i per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

$$Q_{esercizio} = (1,5 * 22,7 * 30) + (1,3 * 240) + (1,5 * 7404,74) = 12440,61 \text{ kg}$$

$$Q_{lim} = S_{lim} = 1435,4 \text{ kg} * 24 = 34449 \text{ kg}$$

$$Q_{lim}/Q_{esercizio} = 2,76 > 1,15 (\text{coefficiente minimo})$$

Verifica a sfilamento dei pali

Per la verifica allo sfilamento dei pali di fondazione è stata considerata l'azione del vento pari a 7404,74 kg, ovvero la forza del vento agente sull'intera stringa composta da 30 moduli fotovoltaici e 24 pali di fondazione.

A vantaggio di sicurezza è stata considerata la risultante verticale applicata ad una sola fila di pali (vite), in modo da considerare un possibile meccanismo di sfilamento dei pali indotto dal ribaltamento dell'intera struttura.

Maggiorando le azioni e riducendo le resistenze come da normativa NTC2018, si applicato i seguenti coefficienti γ :

- γ sollecitazioni = 1,5
- γ resistenza = 0,9

$$(A) \text{ Forza di estrazione linea di pali} = 7404,74 \text{ kg} * 1,5 = 11107,11 \text{ kg}$$

$$(B) \text{ Forza di attrito pali} = S_{laterale} (\text{singolo palo}) * 12 \text{ pali (solo una fila)} * 0,9 = 15502,15 \text{ kg}$$

$$(C) \text{ Peso pannelli} = 22,7 \text{ kg} * 30 * 0,9 = 612,9 \text{ kg}$$

$$(D) \text{ Peso pali} = 10 \text{ kg} * 12 \text{ pali (solo una fila)} * 0,9 = 108 \text{ kg}$$

$Q_{lim} = S_{lim} = (B+C+D) = 16223,05416 \text{ kg}$

$Q_{esercizio} = (A) = 11107,11 \text{ kg}$

$S_{lim}/Q_{esercizio} = 1,46 \rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$