

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 65,7 MWp DENOMINATO "CSPV FOGGIA" SITO IN AGRO DI LUCERA (FG) E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE UBICATE ANCHE IN AGRO DI FOGGIA**



Via Napoli, 363/I - 70132 Bari - Italy  
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net  
tel. (+39) 0805046361 - fax (+39) 0805619384

**AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE**  
**UNI EN ISO 9001:2015**  
**UNI EN ISO 14001:2015**  
**UNI ISO 45001:2018**

**Tecnico**

ing. Danilo POMPONIO

**Collaborazioni**

ing. Milena MIGLIONICO  
ing. Giulia CARELLA  
ing. Carlo TEDESCO  
ing. Antonio CRISAFULLI  
ing. Fabio MASTROSERIO  
ing. Valentina SAMMARTINO  
ing. Tommaso MANCINI  
pianif. terr. Antonio SANTANDREA

**Responsabile Commessa**

ing. Danilo POMPONIO



ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA		
<b>C19</b>	<b>RELAZIONE SULLA VERIFICA A RIBALTAMENTO</b>		<b>20042</b>	<b>D</b>		
			CODICE ELABORATO			
			<b>DC20042D-C19</b>			
REVISIONE	Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)		SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA		
<b>00</b>			-	-		
			NOME FILE	PAGINE		
		DC20042D-C19.doc	9 + copertina			
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato	
00	28/05/21	Emissione	Tedesco	Miglionico	Pomponio	
01						
02						
03						
04						
05						
06						

**INDICE**

1. OGGETTO .....	2
2. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	2
2.1 Considerazioni generali .....	2
2.2 Strutture di sostegno .....	3
3. DESCRIZIONE DELLE OPERE E DELLE SCELTE PROGETTUALI.....	3
3.1 Struttura di sostegno moduli fotovoltaici: mobile ad inseguitore solare – TRACKER.....	3
4. CALCOLI PRELIMINARI – ANALISI DEI CARICHI DOVUTI AL VENTO IN CONDIZIONI OPERATIVE .....	7
4.1 Verifica a carico orizzontale Strutture di supporto moduli (Ribaltamento).....	7

## 1. OGGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di circa 65,7 MWp in agro di Lucera (FG) in Località "Vado Biccari" delle relative opere connesse in agro di Foggia (FG).

Il sito dell'impianto ricade nel foglio 1:25000 delle cartografie dell'Istituto Geografico Militare (IGM Vecchia Ed.) n. 163 II NE "Borgo San Giusto", ed è catastalmente individuato alle particelle 2, 3, 4, 8 del foglio 122 del Comune di Lucera (FG).

È ubicato a sud-ovest del centro abitato di Lucera, a circa 8 km da esso, ed è compreso tra la Strada Provinciale 117 a nord, ed il Torrente Celone a sud.



Figura 1: Inquadramento su ortofoto dell'opera

## 2. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

### 2.1 *Considerazioni generali*

L'impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata lato DC: 65,68 MWp;
- potenza dei singoli moduli: 525 Wp;
- n. 11 cabine di conversione e trasformazione dell'energia elettrica;
- n. 1 cabine di smistamento, raccolta e monitoraggio;

- n. 1 Sottostazione Elettrica AT/MT da collegare in antenna a 150 kV al futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV denominata "Foggia".

## **2.2** Strutture di sostegno

La tipologia di struttura scelta è ad inseguitore solare monoassiale, definito TRACKER.

Sono previste due tipologie di struttura: a due stringhe (2 x 29 moduli), a quattro stringhe (4 x 29 moduli). Le strutture saranno disposte secondo file parallele, la cui distanza è calcolata in modo che, nella situazione di massima inclinazione dell'inseguitore, l'ombra di una fila non lambisca la fila adiacente; avranno direzione longitudinale Nord-Sud, e trasversale (cioè secondo la rotazione del modulo) Est-Ovest.

La configurazione elettrica delle stringhe sarà raggiunta usando le seguenti composizioni:

- Struttura 2x29 moduli fotovoltaici
  - o Dimensione: 33,56 x 7,22 (lung. x larg.)
- Struttura 4x29 moduli fotovoltaici
  - o Dimensione: 66,70 x 7,22 (lung. x larg.)

## **3. DESCRIZIONE DELLE OPERE E DELLE SCELTE PROGETTUALI**

### **3.1** Struttura di sostegno moduli fotovoltaici: mobile ad inseguitore solare – TRACKER

La struttura di sostegno scelta per il presente progetto è del tipo mobile ad inseguitore solare monoassiale, o tracker, consente, mediante la variazione dell'orientamento dei moduli, di mantenere la superficie captante sempre perpendicolare ai raggi solari; ciò avviene mediante l'utilizzo di un'apposita struttura che ne consente la movimentazione giornaliera da Est a Ovest coprendo un angolo sotteso tra 55° e 60°.



**Figura 2:** Struttura mobile ad inseguitore solare portamoduli TRACKER

La struttura del tracker è completamente adattabile alle dimensioni del pannello fotovoltaico, alle condizioni geotecniche del sito ed alla quantità di spazio di installazione disponibile. È caratterizzata dai seguenti parametri:

- la distanza tra i tracker (I) è impostata in base alle specifiche del progetto in modo che, nella situazione di massima inclinazione dell'inseguitore, l'ombra di una fila non lambisca la fila adiacente;
- l'altezza minima da terra (D) è 0,5 m;



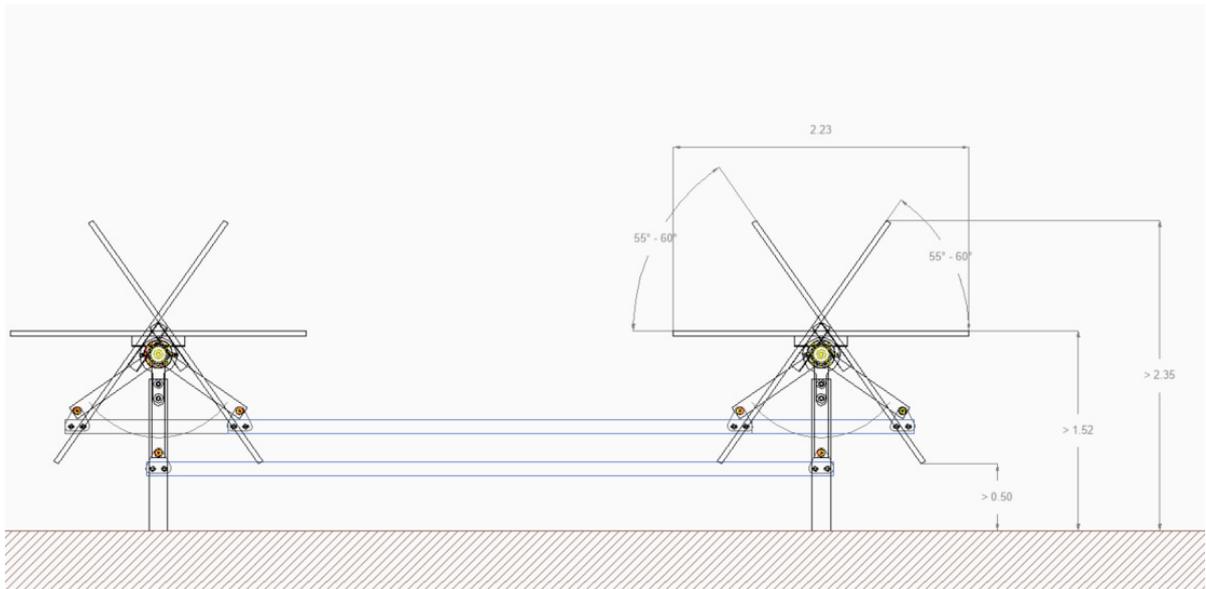
I pali infissi di sostegno della struttura, non richiedono alcuna fondazione in cemento. Al fine di massimizzare la superficie di contatto con il terreno il palo scelto è un profilo tipo HEA o IPE di acciaio, la cui profondità di infissione dipende dal tipo di suolo, poiché non sono ancora state eseguite analisi specifiche quali i pull-out test si ipotizza una lunghezza d'infissione pari a 2 metri. La lunghezza di infissione definitiva sarà individuata in fase esecutiva in seguito alla realizzazione di pull-out test, eseguiti con pali della medesima dimensione di quelli della struttura, su varie verticali del sito in cui sorgerà l'impianto al fine di meglio conoscere i suoli presenti e la loro effettiva capacità portante.

Il kit costituente i componenti delle teste dei pali può essere installato direttamente sui pali di fondazione infissi senza saldatura sul posto. Questa soluzione riduce i tempi di costruzione.

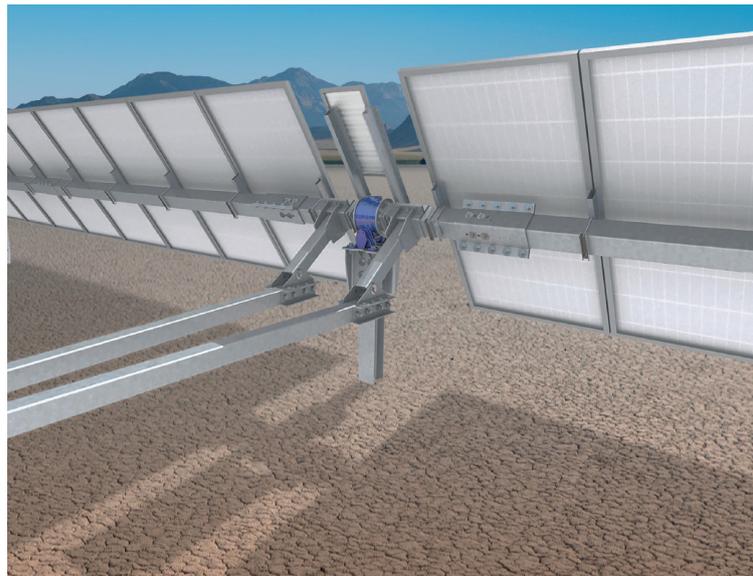
Gli errori di installazione dei pali di fondazione vengono recuperati dalle teste dei pali, dai cuscinetti sferici e dai tubi di torsione. La soluzione TRJ ha un componente che fornisce sia movimento di rotazione che regolazione dell'allineamento della posizione. Questo è possibile grazie a un cuscinetto a strisciamento sferico (simile ai componenti utilizzati nei sistemi di attuazione industriale) incorporato in un "sandwich" che si connette ai pilastri di fondazione ed alle traverse principali.

L'installazione dei pali infissi potrebbe presentare alcuni errori di posizionamento, specialmente quando il palo è infisso per più di un metro nel suolo. La testa del palo è dotata di fori scanalati per viti che consentono una posizione di montaggio tale da compensare l'errore di posizionamento del palo, ripristinando così l'inclinazione Est - Ovest. Gli snodi sferici, invece,

consentono il recupero dell'inclinazione Nord - Sud. Infine, la connessione alle traverse con morsetti riduce la distanza tra i montanti e non richiedono fori aggiuntivi nelle travi stesse.



**Figura 3:** Vista laterale del tracker portamoduli



**Figura 4:** Sistema di rotazione, posizione del motore

Come si evince dalla scheda tecnica della struttura di sostegno dei moduli quest'ultima, in posizione di sicurezza, è capace di resistere a raffiche di vento fino alla velocità di 193 km/h.

<b>STRUCTURAL &amp; MECHANICAL SPECIFICATIONS</b>	
<b>Tracker</b>	<i>Horizontal single-axis with central driveline architecture in dual row</i>
<b>Rotational range</b>	<i>+/-60°</i>
<b>Drive</b>	<i>Gear Drive Arm Screw</i>
<b>Motor</b>	<i>DC Motor</i>
<b>Motors per MWp (390 Wp modules)</b>	<i>Approx. 14.25</i>
<b>Ground coverage ratio</b>	<i>30-50%, depending on configuration</i>
<b>Modules supported</b>	<i>All market available modules, including thin film</i>
<b>Slope tolerances</b>	<i>N-S: up to 14%, E-W: unlimited</i>
<b>Module configuration</b>	<i>1 module in portrait / 2 modules in landscape</i>
<b>Module attachment</b>	<i>Direct mount to panel rail (configurable for clamps)</i>
<b>Structural materials</b>	<i>Magnelis / Hot-dipped galvanized steel per ASTM A123 or ISO 1461</i>
<b>Allowable wind load</b>	<i>Tailored to site specific conditions up to 120 mph/193 kph</i>
<b>Grounding system</b>	<i>Self-grounded via serrated fixation hardware</i>
<b>Storm alarm for high winds</b>	<i>Yes, stow position in up to 5 minutes</i>
<b>Wind speed sensors</b>	<i>Ultrasonic anemometer</i>
<b>Solar tracking method</b>	<i>Astronomical algorithm with GPS input</i>
<b>Controller Electronics</b>	<i>Central control unit manages up to 200 trackers through serial (rs485)</i>
<b>SCADA interface</b>	<i>Modbus TCP</i>
<b>Nighttime stow</b>	<i>Yes, configurable</i>
<b>Backtracking</b>	<i>Yes</i>
<b>In-field manufacturing</b>	<i>No</i>
<b>On-site training and commissioning</b>	<i>Yes, included in tracker supply</i>
<b>Standard warranties</b>	<i>Structure: 10 years. Electromechanical components: 5 years</i>
<b>Certifications</b>	<i>UL3703, IEC 62817</i>
<b>Structural adaptation to local codes</b>	<i>Yes, verified by third-party structural engineers if required</i>

**Figura 5:** Datasheet struttura porta moduli

In posizione di sicurezza la struttura ruota i moduli rendendoli quasi orizzontali in modo che le sollecitazioni trasmesse ai pali di fondazione siano del tipo sforzo normale, tale condizione di carico è già stata calcolata e verificata nella relazione di calcolo della struttura, in questa trattazione si studia la massima sollecitazione orizzontale alla quale sarà sottoposta la struttura, tale condizione si raggiunge poco prima che la struttura ruoti i moduli portandoli in posizione di sicurezza, ossia quando il vento impatta i pannelli ad una velocità di 55 km/h (15,3 m/s).

#### 4. CALCOLI PRELIMINARI – ANALISI DEI CARICHI DOVUTI AL VENTO IN CONDIZIONI OPERATIVE

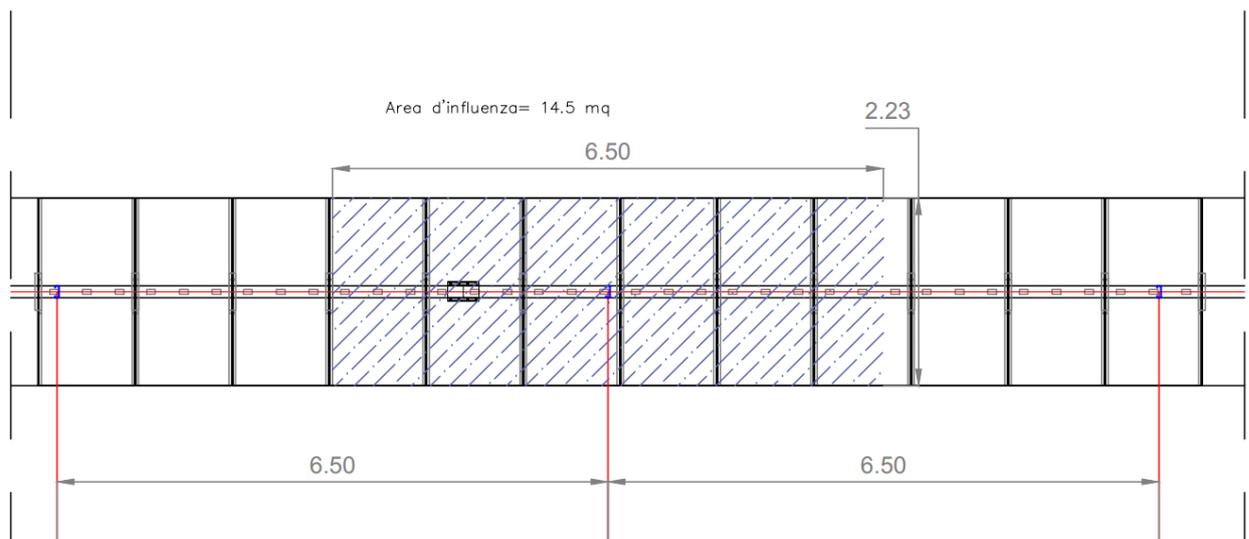
Trattandosi di condizioni operative non si calcolano le sollecitazioni dovute al massimo valore della pressione dovuta al vento amplificata con gli opportuni coefficienti di sicurezza ma si calcola la pressione che il vento, ad una velocità di 15,3 m/s, scarica sulla struttura.

##### 4.1 *Verifica a carico orizzontale Strutture di supporto moduli (Ribaltamento)*

I tracker possono resistere fino a velocità 55 km/h, mentre avviano la procedura di sicurezza (ruotando fino a raggiungere l'angolo di sicurezza) quando le raffiche di vento hanno una velocità superiore a 50 km/h" dunque il carico massimo orizzontale che i tracker trasferiranno in fondazione si raggiungerà in corrispondenza di raffiche con velocità di 50 km/h ossia una pressione di 1 kN/m<sup>2</sup>. Tale valore non verrà amplificato, in fase di verifica, con nessun coefficiente di sicurezza in quanto si tratta di un valore imposto dal fornitore e non derivante da uno studio probabilistico.

Dato che la distanza tra i "pilastri" della struttura è di 6.5 metri, superiore a 3 volte la dimensione massima in sezione dei profili, questi non subiranno alcun effetto di insieme, ragion per cui verrà analizzato e verificato singolarmente il pilastro al quale corrisponde le maggiori sollecitazioni orizzontali trasmesse al suolo. I pilastri di base della struttura sono tutti IPE 140, eccezion fatta per il palo centrale che è un HE 140, dunque si studierà un pilastro IPE 140 intermedio in quanto, avendo una sezione minore rispetto all' HE, trasmetterà un valore di pressione al suolo maggiore.

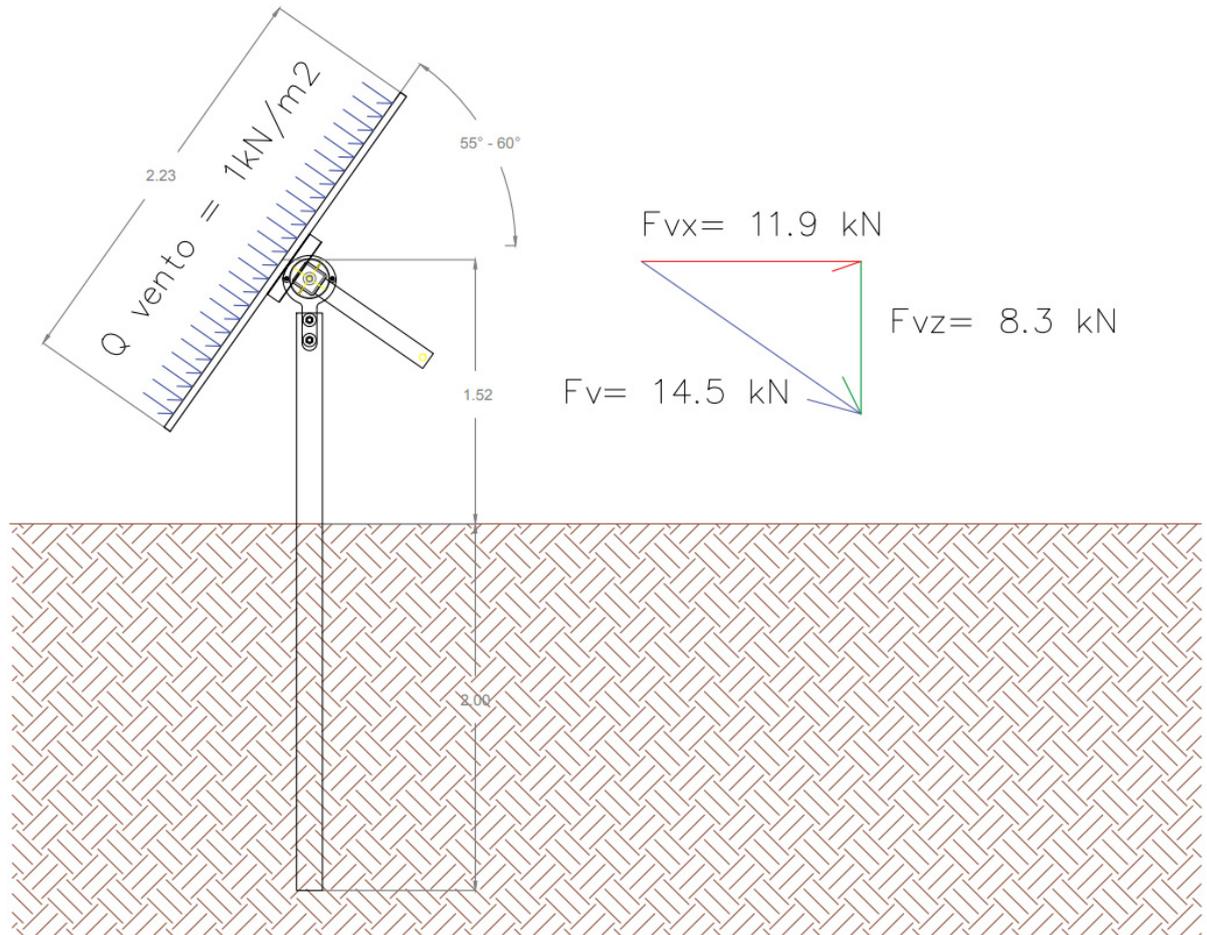
Per il calcolo delle sollecitazioni si è individuata l'area d'influenza sulla quale batte il vento in condizioni ordinarie, ossia 14.5 m<sup>2</sup>.



**Figura 6:** Area d'influenza



Distribuendo la pressione dovuta al vento su tale superficie si ottiene la forza concentrata applicata in testa al palo, la quale viene scomposta nelle 2 componenti in modo da ottenere la forza orizzontale massima gravante in testa al palo.



**Figura 7:** Forza orizzontale massima dovuta al vento in condizioni di esercizio.

Il momento alla base che genera la rotazione da verificare è di  $11.9 \times 1.52 = 18.1 \text{ kNm}$ , la verifica consiste nell'accertare che tale sforzo non superi il valore di resistenza del suolo ad azione orizzontale.

Nel caso di terreni uniformi il valore del carico limite orizzontale può essere fatto in forma chiusa.

Si pone:

$H$  = forza orizzontale

$e$  = lunghezza d'infissione

$d$  = Diametro palo

### **Pali liberi di ruotare in testa**

Nel caso di palo lungo ( $M_y < M_{\text{max}}$ )  $H_{\text{lim}}$  si ricava dalla formula

$$\frac{H}{k_p \gamma d^3} \left( \frac{e}{d} + 0,544 \sqrt{\frac{H}{k_p \gamma d^3}} \right) = \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}$$

Si ottiene che il momento massimo sopportabile dal sistema è pari a 88.2 kNm, che corrisponde ad una forza orizzontale massima di 58.02 kN, di gran lunga superiore agli 11.9kN dovuti dal vento dunque la verifica è soddisfatta.

Si è scelto di ipotizzare una condizione di palo lungo in quanto si ipotizza che il terreno abbia una resistenza inferiore al palo infisso; nel caso contrario si ipotizza che l'elemento debole del collegamento sia il pilastro e tale caso è stato ipotizzato e scongiurato nella relazione di calcolo delle strutture.