

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: FOGGIA

COMUNI: CERIGNOLA ed ASCOLI SATRIANO

ELABORATO:

**4.2**  
**6D**

OGGETTO:

**PARCO EOLICO Cerignola Borgo Libertà  
composto da 12 WTG da 3,40MW/cad.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE GITTATA MASSIMA ELEMENTI ROTANTI**

PROPONENTE:

**TOZZI**green

**TOZZI Green S.p.A.**

Via Brigata Ebraica, 50  
48123 Mezzano (RA) Italia  
[tozzi.re@legalmail.it](mailto:tozzi.re@legalmail.it)

tel. +39 0544 525311  
fax +39 0544 525319

PROGETTISTA:

**ing. Massimo CANDEO**

Ordine Ing. Bari n° 3755  
Via Cancellotto, 3  
70125 Bari  
[m.candeo@pec.it](mailto:m.candeo@pec.it)

tel. +39 328 9569922  
fax +39 080 2140950

Collaborazione:  
ing. Gabriele CONVERSANO  
Ord. Ing.ri Bari n° 8884

Note:

| DATA       | REV | DESCRIZIONE | ELABORATO da:                             | APPROVATO da:       |
|------------|-----|-------------|---|---------------------|
| 28.06.2017 | 0   | Emissione   | ing. Massimo Candeo e Gabriele Conversano | ing. Massimo Candeo |

PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE,  
UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

## SOMMARIO

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>               | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA.....</b>                 | <b>4</b> |
| <b>3</b> | <b>STUDIO DEL PROBLEMA PER IL CASO DI SPECIE .....</b> | <b>5</b> |
| <b>4</b> | <b>CONCLUSIONI.....</b>                                | <b>6</b> |

## 1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, da realizzarsi all'interno dei limiti amministrativi dei Comuni di Cerignola ed Ascoli Satriano (FG).

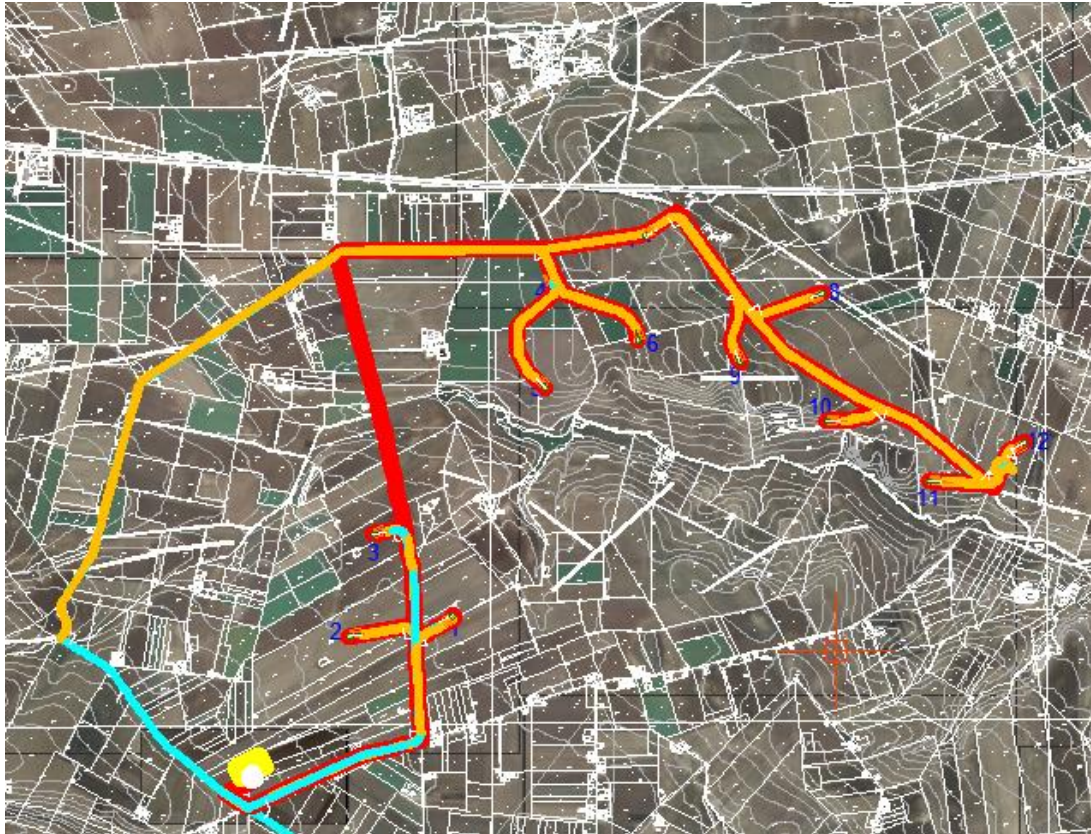


Fig. 1.1 - Layout impianto

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, sulla cui sommità è installata la navicella il cui asse è a 110mt dal piano campagna con annesso il rotore di diametro pari a 130m (lunghezza pala 62,5mt circa), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pala di 175mt slt.

L'impianto eolico sarà costituito da 12 aerogeneratori, per una potenza elettrica complessiva pari a 40,8MW.

Il Layout dell'impianto è schematicamente indicato nella precedente figura, ma meglio dettagliato nelle **Tavole di Progetto**.

In riferimento alla Soluzione Tecnica che sarà rilasciata da Terna Spa, gestore nella Rete elettrica di Trasmissione Nazionale (RTN), l'energia prodotta dall'impianto eolico in progetto sarà immessa nella rete elettrica nazionale, mediante connessione in cavo AT 150 kV con la esistente stazione RTN di Valle su stallo dedicato a 150kV.

La presente relazione contiene l'analisi della Gittata massima degli elementi rotanti per gli aerogeneratori impiegati nell'impianto eolico in questione.

## 2 INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala o un frammento della stessa) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse.

Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico.

Le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche.

L'utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare la probabilità di distacco di parti della pala mentre la stessa è in rotazione: anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono, di fatto, unita in un unico pezzo (seppure gravemente danneggiato), ed i sistemi di controllo dell'aerogeneratore riducono pressoché istantaneamente la velocità di rotazione, eliminando la possibilità che un frammento di pala si stacchi e venga proiettato verso l'alto.

La statistica riporta fra le maggiori cause di danno quelle prodotte direttamente o indirettamente dalle fulminazioni.

Proprio per questo motivo il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto dalla fulminazione in accordo alla norma IEC 61400-24 – livello I.

Pertanto possiamo sicuramente affermare che la probabilità che si produca un danno al sistema con successivi incidenti è del tutto trascurabile.

Il problema del calcolo della gittata di elementi rotanti è stato analizzato principalmente dal costruttore VESTAS<sup>1</sup>.

Nello studio citato la VESTAS ha determinato la distanza che la pala di un aerogeneratore raggiunge in caso di distacco dal mozzo mentre la pala è in rotazione per otto modelli di aerogeneratori, aventi lunghezza delle pale da 25 a 54,6 metri e velocità di rotazione da 26rpm a 17.7 rpm (ovviamente con gli aerogeneratori aventi pale di maggiore dimensione che funzionano a velocità di rotazione inferiori). Nello studio sono state considerate tre condizioni:

- moto in assenza di attrito dell'aria;
- moto in presenza di attrito dell'aria
- moto in presenza di attrito dell'aria e di rotazioni intorno agli assi della pala.

Come riportato nello studio, la prima condizione di carico è quella che dà la massima gittata, ma in realtà le forze di resistenza che si esercitano sulla pala fanno sì che la gittata reale sia inferiore di circa il 20%.

I risultati dello studio della VESTAS sono stati che, in ipotesi conservative la gettata massima per i modelli testati, diminuiva sostanzialmente all'aumentare delle dimensioni delle pale e del diminuire del numero di giri.

Fa eccezione, come si può notare, il caso della V112 3MW per la quale è stata calcolata una gittata di 147 metri, ma ciò è dovuto al fatto che l'altezza del mozzo è più elevata (119 metri) e che la velocità di rotazione è comunque più elevata rispetto alle V82, V90 e V100.

---

<sup>1</sup> VESTAS - *Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento*

Tabella 1 – Gittata calcolata nello studio Vestas citato per varie tipologie di aerogeneratore

| <b>Modello</b> | <b>Lunghezza pala</b> | <b>velocità rotazione</b> | <b>altezza mozzo</b> | <b>gittata</b> |
|----------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|----------------|
|                | <i>m</i>              | <i>rpm</i>                | <i>m</i>             | <i>m</i>       |
| V80 - 2MW      | 39                    | 19,2                      | 80                   | 125            |
| V52 - 850kW    | 26                    | 25                        | 75                   | 130            |
| V82 - 1,65     | 40                    | 14,4                      | 78                   | 103            |
| V90-2MW        | 44                    | 14,9                      | 105                  | 118            |
| V90-3MW        | 44                    | 16,1                      | 105                  | 77             |
| V100 - 1,8MW   | 49                    | 16,6                      | 95                   | 104            |
| V112 - 3MW     | 54,6                  | 17,7                      | 119                  | 147            |

Si nota immediatamente che la massima gittata calcolata è inferiore ai 150 metri per tutte le tipologie di aerogeneratori oggetto di studio.

### **3 STUDIO DEL PROBLEMA PER IL CASO DI SPECIE**

Uno studio rigoroso del problema della gittata degli elementi rotanti richiede la conoscenza di elementi progettuali che sono in possesso unicamente del costruttore delle turbine (tra questi, in particolare, l'evoluzione delle sezioni, dei pesi e dei coefficienti di portanza e resistenza lungo l'aerogeneratore).

Qui di seguito saranno di seguito effettuate alcune assunzioni in vantaggio di sicurezza e sarà modellata la traiettoria di una pala con riferimento a tali assunzioni ed i risultati saranno confrontati con quelli ottenuti dalla VESTAS per aerogeneratori di taglia, dimensioni e velocità di rotazione comparabili.

L'aerogeneratore modello GE 3.4MW ha le seguenti caratteristiche:

- lunghezza pala 65 m;
- altezza al mozzo pari a 110 metri.

Come noto la condizione di massima gittata si ottiene per un proiettile in partenza con un angolo di 45° verso l'alto rispetto all'orizzontale, pertanto il caso considerato sarà di distacco di una delle tre pale dell'aerogeneratore esattamente in tale condizione.

Si assume inoltre che il baricentro sia ubicato circa a 1/3 della lunghezza della pala (21,6 metri dal centro di rotazione). In tali ipotesi l'altezza del baricentro della pala è ubicata a 125,3m dal suolo.

Si consideri ora che la massima velocità di rotazione è indicata dal costruttore come 82,4 m/s al tip. Questo significa che la massima velocità espressa in giri/minuto è di 12,11 rpm.

In sicurezza sarà assunto il valore di 13 rpm per i calcoli seguenti.

A 13 rpm la velocità tangenziale del baricentro della pala è di 29,4 m/s. Considerando una inclinazione di 45° verso l'alto di tale velocità, si ottiene la seguente composizione delle velocità iniziali:

- velocità iniziale orizzontale: 20,8 m/s
- velocità iniziale verticale: 20,8 m/s.

A questa composizione delle velocità corrisponde un tempo di volo di atterraggio di circa 7,6 secondi, cui corrisponde una distanza percorsa in orizzontale di 157 metri circa, cui sono da sommare i 43 metri di lunghezza tra il baricentro (cui si riferiscono i calcoli) e la punta della pala, ottenendo un risultato di 201 metri.

La stima ottenuta è la massima distanza alla quale può atterrare la punta della pala a seguito di distacco dall'aerogeneratore.

Ovviamente la stima è effettuata in condizioni di grande sicurezza perché:

- non tiene conto della resistenza dell'aria che rallenta il moto sull'asse orizzontale (è stato modellato come moto rettilineo uniforme);
- non tiene conto della enorme dissipazione di energia che, comunque, si avrebbe al momento del distacco per vincere la resistenza del vincolo della pala all'aerogeneratore: infatti quand'anche si consideri il caso di distacco della pala dalla navicella, è evidente che il dispendio di energia cinetica per rompere il vincolo con l'aerogeneratore non può essere nullo

Confrontando la stima ottenuta con i risultati dello studio VESTAS citato, si vede che la stima è superiore a quelle ottenute dalla VESTAS per tutte le tipologie di aerogeneratore, a conferma del fatto che le ipotesi semplificative adottate sono state adottate in vantaggio di sicurezza e che la stima prodotta di

#### **4 CONCLUSIONI**

In conclusione:

- la massima gittata degli elementi rotanti che possono essere proiettati dagli aerogeneratori in progetto è certamente inferiore ai 200 metri
- nell'intorno di 200 metri dagli aerogeneratori non sono presenti edifici né strade e, pertanto, non ci sono problemi di sicurezza legati alla ipotetica proiezione di una pala dagli aerogeneratori dell'impianto in progetto.