

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: FOGGIA

COMUNE: SAN PAOLO DI CIVITATE

ELABORATO:

OGGETTO:

ALL.3

PARCO EOLICO

composto da 10 WTG da 4,2MW/cad.

**ELABORATO ALLEGATO ALLO STUDIO DI IMPATTO
AMBIENTALE**

GITTATA MASSIMA ELEMENTI ROTANTI

PROPONENTE:



RENVICO ITALY SRL

via San Gregorio N. 34

20124 Milano

PEC: renvicoitaly@legalmail.it

IL TECNICO:

ING. ANDREA ALIBRANDO

Advantech s.r.l.

Via per Monteroni, Campus Feo di Rana

C/O Edificio High Tech

Ord. Ing. Prov. Di Lecce n° 3876



Collaborazione:

ing. Gabriele CONVERSANO

Ord. Ing.ri Bari n° 8884

Note:



DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:
03.11.2017	0	Emissione	Ing. G. Conversano	Ing. Andrea Alibrando

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

SOMMARIO

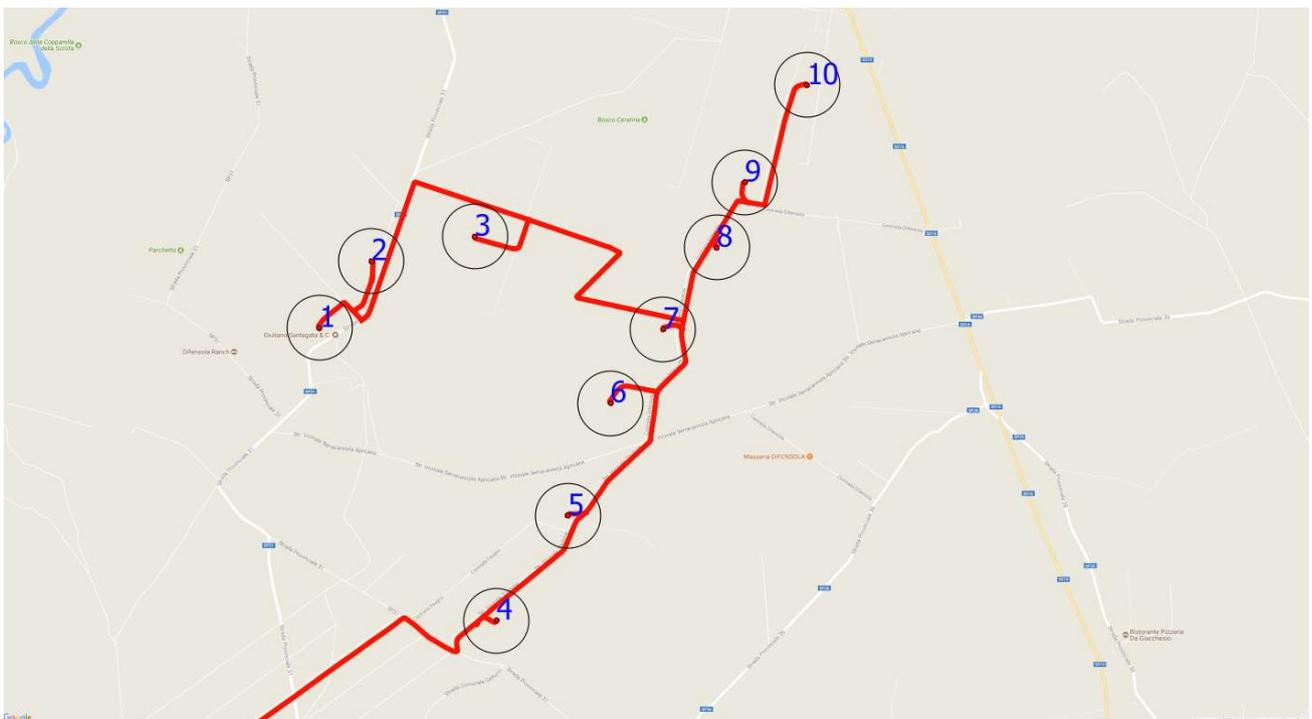
1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
2	INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA	4
3	STUDIO DEL PROBLEMA PER IL CASO DI SPECIE	5
4	CONCLUSIONI.....	9

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 del Comune di SAN PAOLO DI CIVITATE (FG).



Inquadramento dell'area di progetto (intera estensione del cavidotto)



Layout impianto

L'impianto eolico sarà costituito da 10 aerogeneratori, per una potenza elettrica complessiva pari a 42,0 MW.

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è il modello **Vestas V150 4.2MW**. E' costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, sulla cui sommità è installata la navicella il cui asse è a 166 mt dal piano campagna, con annesso il rotore di diametro pari a 150m (lunghezza pala 75mt circa), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 241 mt slt.

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

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 VESTAS¹.

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

¹ VESTAS - *Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento*

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.

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

Modello	Lunghezza pala	velocità rotazione	altezza mozzo	gittata
	<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, al fine di verificare se la stima ottenuta è coerente con stime effettuate in casi analoghi.

L'analisi sarà effettuata mediante un modello cinematico semplificato, in cui le approssimazioni effettuate sono tutte in vantaggio di sicurezza.

E' infatti stata trascurata l'energia cinetica dissipata in fase di rottura, che fa sì che la velocità di partenza dell'ipotetico proiettile non possa essere pari alla velocità di rotazione della pala, ed è stato altresì trascurato l'effetto di attrito dell'aria, che causerebbe un rallentamento della pala ed una conseguente minore distanza percorsa.

Il modello di seguito descritto ed applicato è pertanto relativo al moto di un proiettile scagliato verso l'alto nelle condizioni più sfavorevoli.

L'aerogeneratore modello Vestas V150 4.2MW ha le seguenti caratteristiche:

- lunghezza pala 75 m;
- altezza al mozzo pari a 166 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. In assenza di migliori dati da parte del costruttore, si assume inoltre che il baricentro sia ubicato circa a 1/3 della lunghezza della pala (25 metri dal centro di rotazione).

In tali ipotesi l'altezza del baricentro della pala è ubicata a 183m dal suolo.

Si consideri ora che la massima velocità di rotazione è indicata dal costruttore espressa in giri/minuto è di 12 rpm, come da stralcio seguente tratto dalla documentazione tecnica VESTAS.

3.1 Rotor			
The wind turbine is equipped with a rotor consisting of three blades and a hub. The blades are controlled by the microprocessor pitch control system OptiTip®. Based on the prevailing wind conditions, the blades are continuously positioned to optimise the pitch angle.			
Rotor	V117	V136	V150
Diameter	117 m	136 m	150 m
Swept Area	10751 m ²	14527 m ²	17671 m ²
Speed, Dynamic Operation Range	6.7-17.5	5.6-14.0	4.9-12.0

Stralcio documentazione tecnica WTG

A 12 rpm la velocità tangenziale del baricentro della pala è di 31,3 m/s. Considerando una inclinazione di 45° verso l'alto di tale velocità, si ottiene la seguente composizione delle velocità iniziali:

- velocità iniziale orizzontale: 22,1 m/s
- velocità iniziale verticale (verso l'alto): 22,1 m/s.

A questa composizione delle velocità corrisponde, considerando l'accelerazione di gravità, un tempo di volo fino all'atterraggio di circa 8,8 secondi. In vantaggio di sicurezza si è considerato il

tempo di volo come il tempo al quale giunge a terra il baricentro, e non una delle due estremità della pala che, evidentemente, arriverebbe a terra in un tempo minore.

Al tempo di volo così calcolato, trascurando come detto l'attrito dell'aria e con una velocità iniziale di 22,1 m/s, corrisponde una distanza percorsa in orizzontale di 195 metri circa, che è la distanza alla quale si trova il baricentro della pala al momento dell'atterraggio.

Sommando a questa distanza la lunghezza che separa la punta della pala dal baricentro, si ottiene una distanza di 245 metri, arrotondabile per eccesso a 250 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

Del fatto che la stima ottenuta sia in condizioni di sicurezza si può avere conferma applicando le stesse ipotesi alla stima della gittata dell'aerogeneratore V112, per il quale VESTAS ha stimato una gittata massima di 147 metri. Applicando le ipotesi che sono state applicate nel presente documento, si ottiene invece una stima di 194 metri, superiore di oltre il 30% alla stima ottenuta da VESTAS.

Alle pagine seguenti sono mostrati inquadramenti su CTR delle posizioni di progetto degli aerogeneratori con evidenziato un buffer di 250 metri intorno a ciascuna posizione. Negli inquadramenti sono altresì mostrate le posizioni di tutti gli edifici presenti in zona.

Come si può notare dagli stralci cartografici:

- in prossimità della WTG 2 sono presenti gli edifici indicati con ED45 ed ED46, ubicati ad una distanza inferiore ai 250 metri;
- in prossimità della WTG 5 è presente un edificio, ubicato ad una distanza inferiore ai 250 metri.
- in prossimità della WTG 6 è presente l'edificio indicato con ED12, ubicato ad una distanza prossima ma comunque superiore ai 250 metri;
- in prossimità della WTG 10 è presente l'edificio indicato con R6, all'interno del buffer di 250 metri.

Nel buffer di 250 metri dalle altre WTG non sono presenti edifici di alcuna natura.

Con riferimento agli edifici individuati, si osserva quanto segue:

Edificio ED12 – WTG6



Si tratta di un rudere, evidentemente in pessime condizioni e non abitabile

Edificio ED45 – WTG2



Si tratta di una abitazione risalente al periodo della riforma agraria, che appare in condizioni di non abitabilità al momento

Edificio ED46 – WTG2



Si tratta di una abitazione risalente al periodo della riforma agraria, che appare in condizioni di non abitabilità al momento

Edificio ED20 – WTG5



Si tratta di un rudere, evidentemente in pessime condizioni e non abitabile

Edificio ED6 – WTG10



Si tratta di un edificio risalente alla riforma agraria, ubicato a circa 166 metri dalla WTG10

4 CONCLUSIONI

In conclusione:

- la massima gittata degli elementi rotanti che possono essere proiettati dagli aerogeneratori in progetto è certamente inferiore a 250 metri;

- Rispetto agli aerogeneratori 1, 3, 4, 7, 8, 9, 11 e 12 non esistono edifici nel buffer di 250 metri
- Nel buffer di 250 metri dalle WTG 2, 5 e 6 esistono alcuni edifici che, tuttavia, in virtù della tipologie e dello stato di conservazione non possono essere considerati abitabili
- Esiste unicamente un edificio abitabile a distanza di compresa tra 160 e 170 metri dalla WTG10.

A proposito della sicurezza in riferimento a questo edificio, si rammenta quanto detto in premessa, e cioè che:

- la stima della gittata massima dell'elemento è stata effettuata con approssimazioni in evidente margine di sicurezza
- 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.
 - 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 e, quindi, si ritiene che non sussistano problemi di sicurezza legati alla ipotetica (remota) gittata di elementi rotanti

