

REGIONE
MOLISE



Provincia
CAMPOBASSO



Comuni:
Acquaviva Collecroce
San Felice del Molise
Tavenna

IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60,00 MW

RICHIEDENTE

V-RIDIUM WIND MOLISE 1 S.r.l.

Viale Giorgio Ribotta, 21
00144 Roma (RM)
P. IVA: 16672771009



Titolo Elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Codice Progetto:

ITW2AC

Sviluppo progetto:

NRG PLUS ITALIA S.r.l.

Piazza Ettore Troilo, 27
65127 Pescara (PE)
e-mail: mdedonno@nrgplus.global

BELL FIX PLUS S.r.l.

Via Tancredi Normanno, 13
72023 Mesagne (BR)
e-mail: elettrico@bellfixplus.it

Codice Elaborato:

R.29



Progettazione:

STUDIO ISITREN

dott. ing. Gianluca PANTILE

INGEGNERIA DEI SISTEMI E DELLE INFRASTRUTTURE
PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA

Ordine Ing. Brindisi n. 803
Via Del Lavoro, 15/D - 72100 Brindisi (BR)

pantile.gianluca@ingpec.eu

info@isitren.com

cell. +39 347 1939994 - tel./fax +39 0831 548001

Timbro e firma:



Scala N.A. in A4

| Data | Revisione | DESCRIZIONE | Elaborazione | Verifica e controllo |
|------------------|-----------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| 10.05.2023 | 0 | PRIMA EMISSIONE | ing. Gianluca PANTILE | ing. Maurizio DE DONNO |
| REVISIONI | | | | |

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |

INDICE

| | | |
|---|---|---|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 2 | INQUADRAMENTO TERRITORIALE..... | 3 |
| 3 | DEFINIZIONE DEL PROBLEMA..... | 4 |
| 4 | ANALISI DEL PROBLEMA PER IL CASO IN ESAME | 6 |
| 5 | CONCLUSIONI..... | 7 |

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |

1 PREMESSA

La Società V-RIDIUM WIND MOLISE 1 S.r.l. (nel seguito "Proponente") intende realizzare, in aree agricole dei Comuni di Acquaviva Collecroce (CB), San Felice del Molise (CB) e Tavenna (CB), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica (nel seguito "impianto eolico") costituito da n. 10 aerogeneratori (WTG) tripala ad asse orizzontale di marca VESTAS, modello V150-6.0 MW ciascuno della potenza di 6,0 MW, per una potenza complessiva di 60,00 MW.

Ai fini della connessione dell'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), previa apposita richiesta inoltrata a TERNA S.p.A., la Proponente riceveva la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) identificata dal Codice Pratica n. 202202041 e riportata nell'ALLEGATO A1 alla Comunicazione prot. n. P20220102400 ricevuta a mezzo PEC del 21/11/2022, la quale prevede che l'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con una nuova Stazione Elettrica di trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Larino-Gissi" (nel seguito "S.E. RTN").

Il presente elaborato descrive la procedura seguita per il calcolo, in prima approssimazione, della gittata massima per rottura di una pala durante il funzionamento del generico aerogeneratore del tipo sopra indicato, avente altezza al mozzo pari a 148 m s.l.t. e diametro del rotore pari a 150 m.

Nel calcolo ci si è posti nell'ipotesi di distacco della pala nel punto di serraggio sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per evidente effetto di intaglio dovuto al collegamento. Questo calcolo viene eseguito al fine di prevedere possibili problemi che una simile eventualità, per quanto improbabile, possa procurare a cose o persone.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Come rappresentato nella seguente figura, l'intervento in oggetto interessa un'area ubicata in agro dei Comuni di Acquaviva Collecroce, San Felice del Molise e Tavenna. Più precisamente, i centri abitati di Palata (CB), Tavenna (CB), San Felice del Molise (CB), Acquaviva Collecroce (CB) e Mafalda (CB), si trovano rispettivamente a circa 2,3 km ad EST, 2,0 km a NORD-EST, 1,8 km a SUD-OVEST, 1,7 km a SUD-EST ed a circa 2,5 km a NORD-OVEST dai relativi e rispettivi aerogeneratori più prossimi.

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



Figura 1
Inquadramento territoriale delle opere su base ortofotografica

3 DEFINIZIONE 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 e dei materiali impiegati per la realizzazione degli stessi.

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

Per una corretta definizione della problematica, si fa riferimento, di seguito, ad uno studio condotto dal costruttore VESTAS inerente al calcolo della gittata di elementi rotanti.

| | | |
|-----------------|---|------------------|
| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |

Nell'ambito di tale studio 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 diversi modelli di aerogeneratori, aventi lunghezza delle pale variabile da 25 a 54,6 metri e velocità di rotazione da 26 rpm a 17,7 rpm.

Si tenga conto, ai fini del caso in esame, che gli aerogeneratori aventi pale di maggiore dimensione funzionano a velocità di rotazione inferiore rispetto ai predetti parametri.

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 fornisce 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%.

Lo studio condotto da VESTAS sui modelli testati, ha mostrato che in ipotesi conservative, la gittata massima diminuisce in modo significativo all'aumentare delle dimensioni delle pale ed al diminuire del numero di giri. Fa eccezione, come si può notare, il caso della turbina V112 da 3 MW 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 turbine V82, V90 e V100.

| 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 |

Tabella 1
Prospetto riepilogativo dello studio condotto da VESTAS per il calcolo della gittata

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

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |

4 ANALISI DEL PROBLEMA PER IL CASO IN ESAME

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, con approccio cautelativo, saranno assunte alcune condizioni tali da garantire una maggiore sicurezza e, il modello di traiettoria adottato, terrà conto di tali assunzioni.

L'analisi è stata effettuata mediante un modello cinematico semplificato, in cui le approssimazioni adottate sono tutte in vantaggio di sicurezza. In primo luogo, è 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 delle pale. In secondo luogo, è stato 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 V150-6.0 prevede una pala della lunghezza di 75 m e l'altezza al mozzo di progetto è pari a 148 m s.l.t..

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 ulteriori dati da fornirsi a cura del costruttore (eventualmente per un futuro affinamento del calcolo in sede di progettazione esecutiva), si assume inoltre che il baricentro della pala, sia ubicato a circa 1/3 della sua lunghezza e precisamente a 25 metri dal centro di rotazione. In tale ipotesi l'altezza del baricentro della pala, quando essa si trovi in posizione allineata con la torre è pari a 173 m dal suolo mentre quando essa forma un angolo di 45° con l'asse orizzontale, l'altezza del suo baricentro è pari a circa 166 m.

Si consideri ora che la massima velocità di rotazione è di 12 rpm, ma per il calcolo della gittata massima si assumerà, in vantaggio di sicurezza, un valore pari a 13 rpm.

Ad una velocità di rotazione di 13 rpm, la velocità tangenziale del baricentro della pala al momento del distacco è pari a $V_0=34,0$ m/s. Considerando una inclinazione di 45° verso l'alto del relativo vettore velocità iniziale \mathbf{V}_0 , si ottiene la seguente composizione delle velocità iniziali:

- V_{0x} (componente orizzontale del vettore velocità iniziale) = 24,04 m/s;
- V_{0y} (componente verticale del vettore velocità iniziale) = 24,04 m/s.

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |

A questa scomposizione delle velocità corrisponde un tempo di volo di atterraggio di circa 8,88 secondi, cui corrisponde una distanza percorsa in orizzontale di 302 metri circa, a cui devono essere aggiunti i restanti 50 metri di lunghezza della pala (rispetto al baricentro al quale si riferiscono i calcoli) ottenendo pertanto una gittata massima pari a 352 m.

La stima ottenuta rappresenta la massima distanza alla quale può atterrare la punta della pala a seguito di distacco dal mozzo dell'aerogeneratore. Ovviamente la stima è effettuata in condizioni di grande sicurezza perché:

- non tiene conto della resistenza dell'aria che rallenta il moto;
- non tiene conto della notevole dissipazione di energia che si avrebbe al momento del distacco per vincere la resistenza vincolare della pala all'aerogeneratore (infatti in 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).

Alle pagine seguenti sono mostrati inquadramenti su ortofoto delle posizioni di progetto degli aerogeneratori con rappresentazione di buffer di sicurezza corrispondente ad un cerchio di raggio pari alla gittata massima calcolata, ossia pari a 352 m intorno a ciascun aerogeneratore.

5 CONCLUSIONI

In conclusione, la massima gittata per rottura della pala in corrispondenza del mozzo (evento ben più probabile della rottura di un frammento di pala) è pari a 352 metri.

Inoltre, come evincesi dai seguenti stralci, in un buffer di 352 metri da ciascuno dei punti macchina di progetto, NON SONO PRESENTI EDIFICI ADIBITI ALLA PERMANENZA DI PERSONE; pertanto, si ritiene che non sussistano problemi di sicurezza legati alla ipotetica, quanto remota, rottura di una pala durante il funzionamento di un aerogeneratore, o di un frammento di essa.

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 01

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO ADIBITO ALLA PERMANENZA DI PERSONE)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 02

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 03

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 04

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 05

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 06

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

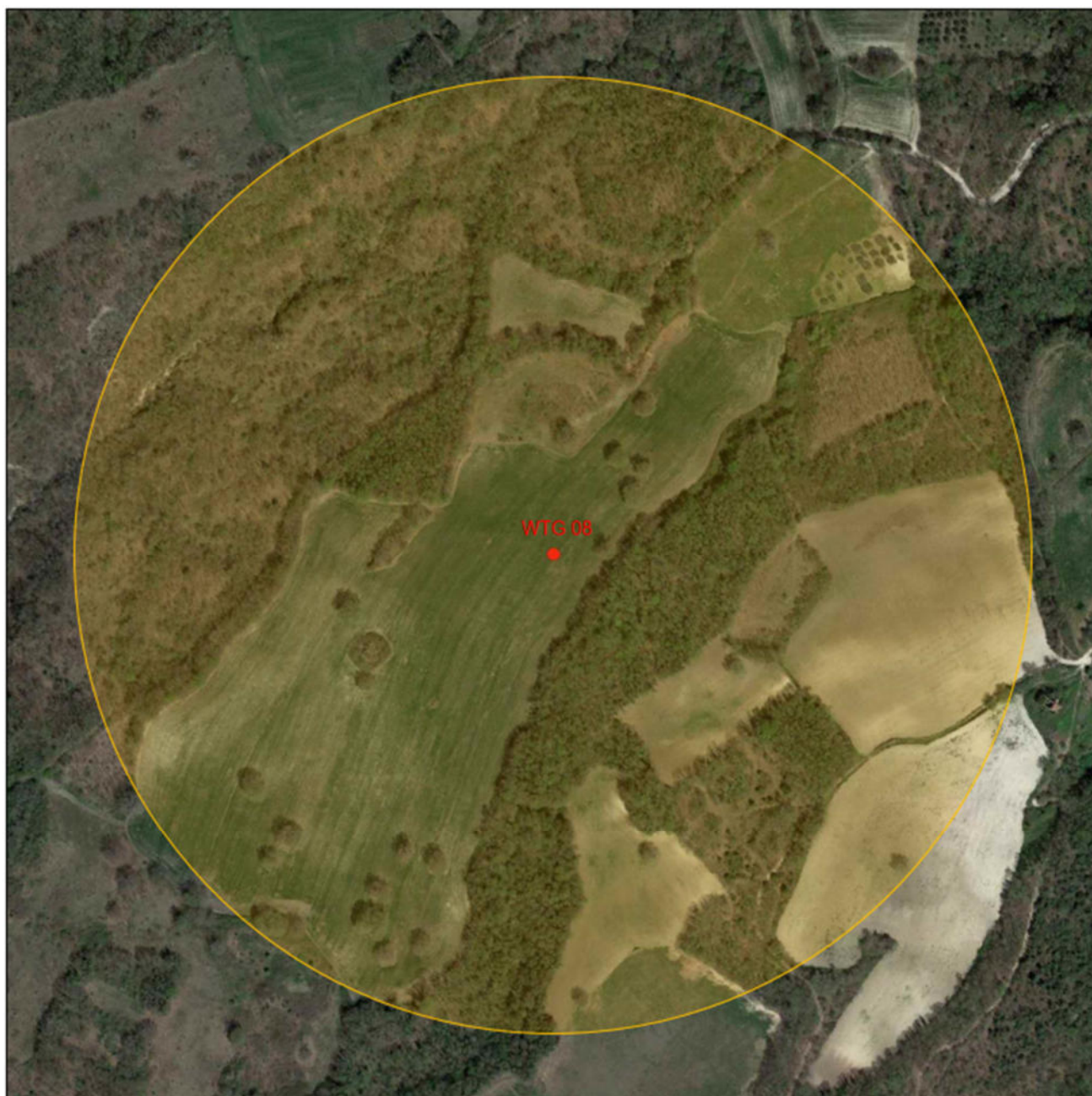
| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 07

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 08

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 09

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO ADIBITO ALLA PERMANENZA DI PERSONE)***

| Codice Progetto | Oggetto | Codice Elaborato |
|-----------------|---|------------------|
| ITW2AC | IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW | R.29 |



WTG 09

***Stralcio ortofotografico con sovrapposizione buffer di sicurezza determinato mediante gittata massima
(NON È PRESENTE ALCUN EDIFICIO)***