

Spett.le Commissione tecnica di verifica dell'impatto
ambientale VIA e VAS
ctva@pec.minambiente.it

Ministero dell'Ambiente e della
Tutela del Territorio e del Mare
Direzione generale per le valutazioni e autorizzazioni ambientali
Divisione II - Sistemi di Valutazione Ambientale
Via Cristoforo Colombo, 44
00147 Roma
Fax 06/57225994
DGSalvanguardia.Ambientale@PEC.minambiente.it

E p.c. Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo
Direzione Generale Archeologia Belle Arti e Paesaggio
mbac-dg-abap@mailcert.beniculturali.it

Invio mezzo PEC

Mezzano (RA), 18 aprile 2018
Prot. n. 104/18/TGREEN/MF-sdp

OGGETTO: [ID_VIP 3689] Procedura di valutazione di impatto ambientale ai sensi dell'art.23 del D.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii., relativa al progetto del parco eolico denominato "EOLICO BRINDISI SANTA TERESA" sito nel territorio comunale di Brindisi (BR) della potenza complessiva pari a 34,5 MW –
Proponente Tozzi Green S.p.A.

- Trasmissione controdeduzioni al parere della Provincia di Brindisi Servizio Ambiente ed Ecologia prot. n.9321 del 20/03/2018 ed alle osservazioni del Comune di Brindisi prot.n.3949 del 15/01/2018

La scrivente Società Tozzi Green S.p.A. (di seguito Tozzi Green), con sede legale in Mezzano (RA), Via Brigata Ebraica 50, codice fiscale e partita IVA n. 02132890399, iscritta al Registro delle Imprese della Camera di commercio di Ravenna R.E.A. n. RA-174504, nella persona del suo Legale Rappresentante Sig. Andrea Tozzi, premessò che:

- La scrivente, con nota prot. n. 168/17/TGreen del 02/08/2017 acquisita al prot. 18582/DVA del 07/08/2017, ha richiesto allo Spett.le Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), l'avvio della procedura in oggetto, ai sensi del D.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii;

- In data 30/08/2017 il progetto definitivo, lo studio di impatto ambientale e la sintesi non tecnica del progetto in esame sono stati pubblicati sul citato sito dando così avvio alla fase di consultazione pubblica, ai sensi dell'art. 24 del D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii.;
- In data 29/10/2017 sono scaduti i termini di presentazione delle osservazioni del pubblico, ovvero i 60 giorni entro i quali chiunque può prendere visione della documentazione progettuale e presentare in forma scritta proprie osservazioni, fornendo nuovi o ulteriori elementi conoscitivi e valutativi;
- Con nota prot.n. 26021 del 10/11/2017 la DVA - Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali del MATTM ha chiesto alla Tozzi Green di volere provvedere a presentare le proprie controdeduzioni alle osservazioni e pareri pervenuti nell'ambito della VIA nonché di fornire la documentazione integrativa richiesta tra gli altri, da
 - o Provincia di Brindisi Servizio Ambiente con nota prot.n.33764 del 31/10/2017;
 - o Comune di Brindisi Ufficio Urbanistica e Assetto del Territorio con nota prot. n. 93888 del 20/10/2017.
- La Commissione Tecnica, con parere n.2557 del 24/11/2017, si è espressa favorevolmente circa la compatibilità ambientale del progetto in oggetto e relativo Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti ex art.24 comma 3 del DPR n.120/2017, indicando la necessità di ottemperare a prescrizioni elencate nel parere stesso;
- Con nota prot. ns. rif. 256/17/TGREEN/MF-ab del 29/11/2017 la Tozzi Green ha provveduto a riscontrare la citata nota prot. 26021 del 10/11/2017 della DVA, trasmettendo le controdeduzioni alle osservazioni e pareri pervenuti nel procedimento di VIA nonché tutta la documentazione integrativa richiesta dagli Enti, tra i quali la Provincia di Brindisi ed il Comune di Brindisi;
- Il Comune di Brindisi Servizio Ecologia ed Ambiente con nota prot.n.3943 del 15/01/2018 ha presentato delle osservazioni al progetto in esame.
- La Provincia di Brindisi Servizio Ambiente ed Ecologia con nota prot. n.9321 del 20/03/2018 ha espresso parere non favorevole alla realizzazione del parco eolico di cui in oggetto.

considerato che

- Alla luce di quanto finora illustrato le osservazioni del Comune di Brindisi ed il parere della Provincia di Brindisi rappresentano un contributo inequivocabilmente tardivo alla procedura in oggetto e, in quanto tali, prive di valore per le valutazioni dell'Autorità competente. Le osservazioni del Comune di Brindisi giungono, infatti, ben oltre 150 giorni dal termine della fase di consultazione ed il parere della Provincia di Brindisi è stato reso quasi 120 giorni dopo la trasmissione degli elaborati integrativi richiesti dagli Enti e della stessa Provincia.

- Pur considerando questi pareri non meritevoli di considerazioni specifiche, in quanto tardivi, non condividendone i contenuti ed al fine di dissipare ogni possibile dubbio, la Tozzi Green ha provveduto a controdedurre puntualmente le affermazioni contenute nei due atti amministrativi in esame.
- Ad oggi, benchè ampiamente decorsi i termini previsti per legge, in quanto sono trascorsi circa 180 giorni dal termine della fase di consultazione del pubblico di cui all'art.24 del Dlgs 152/2006 e oltre 150 giorni dalla ricezione da parte del MATTM delle integrazioni documentali non ritenute necessarie dalla Commissione Tecnica, si è ancora in attesa della predisposizione dello schema del provvedimento di VIA.

Tutto ciò premesso e considerato, la Società Tozzi Green SpA, nello spirito di collaborazione e trasparenza che da sempre caratterizza i rapporti tra la Tozzi Green e le Amministrazioni,

trasmette

alla Spettabile Commissione tecnica di verifica dell'impatto ambientale VIA e VAS, le proprie controdeduzioni alle al parere della Provincia di Brindisi Servizio Ambiente ed Ecologia prot. n.9321 del 20/03/2018 ed alle osservazioni del Comune di Brindisi prot.n.3949 del 15/01/2018;

chiede

alla Spettabile Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali del MATTM di adottare senza indugio il provvedimento di VIA per il progetto in esame, evitando di gravare ulteriormente il procedimento in oggetto.

Distinti saluti.

Tozzi Green S.p.A
Legale Rappresentante
Andrea Tozzi



Allegati csd.

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA
POTENZA NOMINALE 34,5 MW**

**REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di BRINDISI
COMUNE di BRINDISI
Località: Santa Teresa, Specchione, Pozzella, Scolpito**

**PROGETTO DEFINITIVO
Id AU 8G4G710**

| | |
|---------------|---|
| Tav.: | Titolo: |
| Oss.02 | ID_VIP:3689 PROCEDURA DI VIA ex art. 23 D.lgs 152/2006 e s.m.i. CONTRODEDUZIONI DEL PROPONENTE AL PARERE DELLA PROVINCIA DI BRINDISI - SERVIZIO AMBIENTE (prot. n. 9321 del 20.03.2018) E ALLE OSSERVAZIONI DEL COMUNE DI BRINDISI (prot. n. 3949 del 15.01.2018) |

| | | |
|---------------|------------------------|---|
| Scala: | Formato Stampa: | Codice Identificatore Elaborato |
| n.a. | A4 | 8G4G710_DocumentazioneSpecialistica_Oss_02 |

| | |
|---|---|
| Progettazione: | Committente: |
| STC S.r.l.  Via V. M. STAMPACCHIA, 48 - 73100 Lecce Tel. +39 0832 1798355 studiocalcarella@gmail.com - fabio.calcarella@gmail.com Direttore Tecnico: Dott. Ing. Fabio CALCARELLA |  Via Brigata Ebraica, 50 - 48123 Mezzano (RA) Tel. +39 0544 525311 - Fax +39 0544 525319 pec: tozzi.re@legalmail.it - www.tozziholding.com |
|  | |

| Data | Motivo della revisione: | Redatto: | Controllato: | Approvato: |
|----------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| 18 aprile 2018 | Prima emissione | STC - Tozzi Green | FC | TOZZI GREEN S.p.a. |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Il presente documento è redatto in riscontro al parere della Provincia di Brindisi Servizio Ambiente ed Ecologia prot. n.9321 del 20/03/2018 ed alle osservazioni del Comune di Brindisi prot.n.3949 del 15/01/2018 nell'ambito del procedimento di VIA del parco eolico sito nel comune di Brindisi (BR) denominato "Brindisi Santa Teresa" e relative opere di connessione alla rete elettrica, proponente Tozzi Green SpA.

Preme sottolineare che

- il parere della Provincia di Brindisi è stato reso quasi 120 giorni dopo la trasmissione, in data 29/11/2017, degli elaborati integrativi richiesti dagli Enti e della stessa Provincia durante l'iter di VIA;
- le osservazioni del Comune di Brindisi giungono ben oltre 150 giorni dal 29/10/2017, termine della fase di consultazione del pubblico.

Pertanto, i due atti succitati rappresentano contributi inequivocabilmente tardivi alla procedura in oggetto ed, in quanto tali, privi di valore per le valutazioni dell'Autorità competente.

Pur considerandoli non meritevoli di considerazioni specifiche, in quanto tardivi, non condividendone i contenuti ed al fine di dissipare ogni possibile dubbio, si provvede di seguito a controdedurre puntualmente le affermazioni contenute nei due documenti in esame.

Sulle produzioni agricole di pregio

Come ampiamente documentato con foto e cartografie, nello Studio di Impatto ambientale e nelle Reazione specialistiche allegate al progetto le aree interessate dall'installazione degli aerogeneratori e degli altri componenti di impianto ovvero sottostazione elettrica e torre anemometrica, strade e piazzole, non sono interessate da colture quali vigneti, uliveti, e carciofeti, ovvero dalle colture agricole di pregio tipiche dell'area. Il solo accesso all'aerogeneratore 8 di progetto rende necessario il momentaneo espianto e reimpianto nella stessa posizione a fine cantiere di due ulivi. Gli ulivi in questione non hanno caratteristiche di monumentalità ai sensi della L.R.04.06.2007; le attività di espianto e reimpianto saranno effettuate seguendo le migliori e ormai consolidate tecniche e pratiche agronomiche, in conformità alle normative di riferimento. Inoltre come, peraltro rilevato nella stessa nota prot. n. 9321 della Provincia di Brindisi, il Parco Eolico in progetto ricade in un contesto agrario tipico di tutta l'Area Brindisina, caratterizzato da una pressoché totale antropizzazione del territorio e dalla trama di vigneti ed oliveti che si alternano alle zone a seminativo, senza presentare caratteristiche differenti dal resto della Campagna Brindisina. Si rammenta inoltre che l'occupazione territoriale di un impianto eolico è sempre poco significativa,

soprattutto se rapportata con la quantità di energia prodotta. L'impianto eolico (plinti aerogeneratori, strade, piazzole, SSE) interessa esclusivamente aree a seminativo ed in fase di esercizio tutte le aree non direttamente interessate dall'installazione dell'impianto si potranno utilizzare per l'attività agricola.

Sulla presenza di Aree SIC limitrofe all'area di progetto

Come riportato nello Studio di Impatto Ambientale e nella Relazione Botanico – vegetazionale a firma del dott. Biol. Leonardo Beccarisi si ribadisce che *“per quanto concerne la componente botanico-vegetazionale, dati 1) l'utilizzo della viabilità esistente, 2) la bassa occupazione territoriale degli aerogeneratori (pari a 1500 m2 ciascuno), 3) le soluzioni progettuali fornite per la conservazione degli elementi di naturalità esistente e della rete ecologica locale, si assume che l'interferenza del progetto con il sistema di aree protette più prossimo all'area di studio sia trascurabile. Si osserva inoltre che, date le caratteristiche del progetto, esso non pregiudichi possibili futuri interventi di riqualificazione della rete ecologica locale”*.

Come riportato nello Studio di Impatto Ambientale e nella Relazione Faunistica a firma del dott. Biol. Giacomo Marzano ribadiamo che *“allo stato attuale delle conoscenze, che derivano da esperienza personale e da dati raccolti per il presente studio, non si ritiene esistano interazioni tra la costruzione del parco eolico e la fauna presente nei SIC circostanti. Ciò poiché la fauna presente nei suddetti SIC non comprende specie particolarmente soggette ad impatto con aereogeneratori, trattandosi per lo più di passeriformi”*. Inoltre la distanza, di almeno un paio di chilometri, è tale da scongiurare qualsiasi tipo di interferenza tra i SIC circostanti e l'area del parco eolico in progetto.

Sull'Impatto su fauna e avifauna

Sempre con riferimento allo Studio di Impatto Ambientale e alla Relazione Faunistica osserviamo che le caratteristiche dell'area di progetto sono simili a quelle di tutto l'entroterra brindisino e, pertanto, gran parte delle specie di uccelli stanziali e migratori richiamati nella nota della Provincia di Brindisi hanno a disposizione un'area ben più ampia di quella interessata dal parco eolico. Trattasi, infatti, di area con caratteristiche prettamente agricole del tutto comuni (seminativi, oliveti e vigneti). Tutte le specie stanziali tra cui i rapaci notturni elencati nella nota della Provincia di Brindisi sono distribuiti sull'intero territorio e, in quanto stanziali, compiono brevissimi spostamenti; pertanto, sono le specie meno soggette ad impatto potenziale. Fra l'altro il gufo è legato ad ambienti boschivi e quindi non nel sito di progetto. Dal momento che nell'area non sono di fatto presenti uliveti secolari e i fabbricati abbandonati sono numericamente non rilevanti, la presenza dell'upupa potrà essere al più riferita a poche coppie di esemplari, comunque anche questa

specie è presente in tutto il territorio salentino. La calandrella come giustamente rilevato nella stessa nota della Provincia di Brindisi nidifica di fatto in diversi ambienti ampiamente diffusi nel Salento. L'Averla Capirossa e l'Averla Cenerina sono legati ad ambienti di pascolo con presenze arboree rade, ambiente non presente nell'area di progetto. Per quanto concerne i Chiroteri, sulla base delle nostre indagini, non sono presenti specie di rilevanza conservazionistica nell'area.

Si ribadisce che la modificazione e perdita di habitat conseguente alla realizzazione di un impianto eolico è rilevante

- in quelle aree con caratteristiche peculiari molto precise, differenti da quelle delle zone circostanti;
- laddove siano presenti concentrazioni di specie stanziali o laddove si aggregano un numero elevato di migratori per la nidificazione, il dormitorio o l'alimentazione.

Il sito di progetto, ubicato non in prossimità della costa, pianeggiante ed interamente destinato a colture agricole, non ha caratteristiche distintive e peculiari tali da costituire habitat significativo per le specie su elencate. Pertanto, per quanto finora illustrato, è possibile affermare che l'introduzione del parco eolico nell'area prevista da progetto non arrecherà danni alle specie che popolano l'area né tantomeno essere causa della scomparsa delle stesse dall'intera zona.

Sull'Effetto Barriera

Per quanto concerne il presunto effetto barriera che la realizzazione degli aerogeneratori 1, 2, 3, 4 di progetto comporterebbe sul limitrofo Bosco di Curtipitrizzi, si osserva che:

- a. Il bosco non costituisce area di interesse per l'avifauna migratoria, e comunque la direttrice di migrazione è SO-NE (dal Nord Africa ai Balcani), mentre l'allineamento del parco eolico in progetto con il Bosco di Curtipitrizzi e NNO-SE;
- b. Le caratteristiche dell'area individuata per il parco eolico e quella del Bosco di Curtipitrizzi sono completamente differenti e pertanto non è pensabile uno spostamento numericamente significativo di specie avifaunistiche tra queste due zone.
- c. L'interdistanza (di almeno 430 m) tra gli aerogeneratori è tale che da non generare comunque un effetto barriera.
- d. Ribadiamo che, comunque, la distanza (di 2,5 km) tra il Bosco e l'Area di progetto è sufficiente a scongiurare qualsiasi tipo di interferenza tra il SIC in questione e l'area del parco eolico in progetto.

In estrema sintesi con riferimento al potenziale disturbo provocato sulla avifauna stanziale e migratoria si può affermare che, se pur eventualmente presente, non è significativo né in termini quantitativi, per il numero di esemplari su cui si arrecherebbe disturbo, né qualitativi, in quanto il

sito di progetto presenta caratteristiche del tutto simili a quelle dell'intera Piana Brindisina. Pertanto, contrariamente a quanto sostenuto dalla Provincia di Brindisi la realizzazione del Parco Eolico non avrà un impatto negativo nè diretto nè indiretto sull'avifauna stanziale e migratoria.

Sul calcolo della gittata del frammento di pala

L'evento di distacco di un frammento di pala di dimensioni significative è praticamente impossibile, in quanto, come sostenuto dalla stessa Vestas nel documento "*Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento*", "*l'effetto di distacco di una porzione della pala è escluso, considerate le caratteristiche meccaniche della pala, ovvero, una struttura monolitica della trave di sostegno che rimane vincolata al mozzo attraverso un collegamento bullonato*". Tale affermazione è peraltro avvalorata dalla statistica: su un campione di 15.679 unità di aerogeneratori di grande taglia del tipo di quelli in progetto tale evento non si è mai verificato.

Ciò nonostante, per completezza di trattazione si è provveduto a calcolare la gittata nel caso di distacco accidentale di frammenti di pala di dimensioni pari a 10 m, 5 m, 2 m.

Il calcolo è stato effettuato modellizzando, con opportune semplificazioni, il moto della pala o di un frammento di pala nell'aria considerando l'attrito viscoso o, se si preferisce, l'attrito dell'aria prodotto su di esso durante la caduta. Si sottolinea fin d'ora che tutte le approssimazioni e semplificazioni proposte sono a vantaggio della sicurezza, ovvero producono risultati con approssimazione in eccesso della gittata massima in caso di rottura di elementi rotanti, poiché il calcolo sarà fondato su un modello puramente balistico.

La determinazione dell'equazione del moto nel caso di un distacco di un corpo dal rotore in movimento è molto complesso. E' evidente però che si tratta di un moto rotazionale complesso in quanto il corpo, quando inizierà il suo moto libero, continuerà anche a ruotare per l'ineluttabile legge fisica di conservazione della quantità del moto. Quindi nel moto libero (dopo il distacco) una parte dell'energia cinetica posseduta dal corpo verrà dissipata nel moto rotazionale che finirà per generare turbolenze. Di queste dissipazioni non si terrà conto nel calcolo che pertanto sarà prudentiale.

Una volta che il corpo si sarà distaccato le forze inerziali agenti saranno la forza di gravità e le forze viscosive dovute alla resistenza prodotta dall'aria.

La velocità di rotazione al momento del distacco, presa in considerazione per il calcolo, è quella massima indicata dal costruttore. E' evidente che i sofisticati sistemi di controllo non permetterebbero al rotore dell'aerogeneratore di ruotare ad una velocità maggiore di quelle indicate nelle specifiche tecniche.

Si rimanda per la trattazione completa ed approfondita del calcolo della gittata al documento dedicato qui allegato.

Sulle emissioni sonore generate dal Parco Eolico

Il monitoraggio acustico eseguito (cfr scheda fonometrica riportata nelle pagine successive) fotografa in modo appropriato il clima sonoro della generalità dei ricettori presenti nel territorio agricolo interessato dal progetto del parco eolico.

Dalle definizioni di classe acustica, di cui alla tabella A del DPCM 14 novembre 1997, *Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*, il territorio interessato dal progetto del parco eolico risulta in gran parte di classe III, in quanto trattasi di “aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici”. Tuttavia troviamo anche delle aree (nell'immediato intorno dei principali reticoli fluviali) che il piano di zonizzazione acustica del Comune di Brindisi ha inserito in Classe II con limiti di emissione ed immissione più ristretti.

All'interno delle aree attigue ai generatori eolici, ovvero racchiuse in un raggio di 600 m da questi, si è provveduto ad analizzare attentamente gli edifici per i quali si è verificato un potenziale superamento dei limiti acustici, il tutto per identificarli o meno come ricettori sensibili secondo la normativa vigente. In particolare quasi tutti gli edifici abitati o abitabili individuati come ricettori sensibili ricadono in aree in classe di destinazione III, tranne gli edifici individuati dalle lettere E, H, I, O negli elaborati grafici di progetto che ricadono in aree di Classe II.

L'impatto acustico generato dagli aerogeneratori, sarà tale da rispettare i limiti imposti dalla normativa, per il periodo diurno e notturno, sia per i livelli di emissione sia per quelli di immissione. Nell'unica condizione in cui i calcoli eseguiti hanno mostrato un minimo superamento del limite di emissione, 0,6 dB (ricettore E a 4 m di altezza), è stato accertato che l'edificio interessato possiede il solo piano terra, e alla quota di 1,5 m di altezza il livello di emissione è ampiamente verificato.

Relativamente al criterio differenziale, le immissioni di rumore, che saranno generate dagli aerogeneratori in progetto, ricadono, per i ricettori considerati, nella non applicabilità del criterio (art. 4, comma 2 del DPCM 14/11/97);

Relativamente alle fasi di cantiere, in accordo al comma 4, dell'art 17, della L.R. 3/02, è necessario, prima dell'inizio della realizzazione della connessione, richiedere autorizzazione in deroga, ai comuni interessati, per il superamento del limite dei 70 dB(A) in facciata ad eventuali edifici. Il traffico indotto dalla fase di cantiere, e ancor meno da quella di esercizio, non risulta tale da determinare incrementi di rumorosità sul clima sonoro attualmente presente.

Per quanto emerso dai calcoli eseguiti con il modello di simulazione e dalle considerazioni sopra esposte, l'impatto acustico che sarà determinato dalla presenza del Parco Eolico è tale da rispettare i limiti di emissione, i limiti assoluti di immissione e quelli differenziali previsti dalla normativa sia per la fase transitoria (DPCM 1/3/91) sia per edifici ubicati in aree di Classe II, sia per quelli ubicati

in Aree di Classe III ai sensi del DPCM 14 novembre 1997.

Il traffico indotto dalla fase di cantiere, e ancor meno da quella di esercizio, non risulta tale da determinare incrementi di rumorosità sul clima sonoro attuale.

Sulle Masserie e sul valore storico culturale dell'area

Come già rappresentato, l'area su cui è previsto l'intervento, tipicamente agricola, è in generale fortemente antropizzata con i caratteri distintivi tipici della Campagna Brindisina; si tratta di un territorio sub-pianeggiante caratterizzato da ampie visuali a seminativo con terra rossastra, che si alterna soprattutto a vigneti, ad aree olivetate (con sesto regolare), ed in misura minore a frutteti. Le vaste colture a seminativo sono talvolta contornate da filari di ulivi (soprattutto nella zona più a nord). Le numerose strade secondarie e i numerosi corsi d'acqua, creati dall'uomo per la bonifica dell'area avvenuta tra gli anni trenta e gli anni cinquanta del secolo scorso tagliano l'area in direzione sud ovest – nord est e nella direzione ortogonale (sud est – nord ovest), ed oltre a costituire i limiti delle suddivisioni creano una sorta di matrice che finisce per caratterizzare l'area. All'interno di questa scacchiera gli allineamenti sono interrotti dai corsi d'acqua naturali evidenziati da una vegetazione ripariale, non molto fitta o che diviene rada proprio in prossimità delle posizioni degli aerogeneratori di progetto.

Non ci sono, nell'intorno dell'impianto, singolarità paesaggistiche, il paesaggio si presenta sostanzialmente uniforme e ripetitivo tanto che possiamo sicuramente affermare che l'impianto eolico in progetto non costituisce elemento di frattura di una unità storica o paesaggistica. Questa affermazione di ordine qualitativo è confermata dal sistema delle tutele introdotto, peraltro di recente, dal Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR).

Il PPTR individua, in conformità a quanto previsto dal Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs. 42/2004), le aree sottoposte a tutela paesaggistica e gli ulteriori contesti che il Piano intende sottoporre a tutela paesaggistica. Le aree sottoposte a tutela dal PPTR si dividono pertanto in:

- beni paesaggistici, ai sensi dell'art.134 del Codice, distinti in immobili ed aree di notevole interesse pubblico (ex art. 136) ed aree tutelate per legge (ex art. 142)
- ulteriori contesti paesaggistici ai sensi dell'art. 143 comma 1 lett. e) del Codice.

L'insieme dei beni paesaggistici e degli ulteriori contesti paesaggistici è organizzato in tre strutture (idrogeomorfologica, ecosistemica-ambientale, antropica e storico-culturale), a loro volta articolate in componenti.

Dalla verifica puntuale delle tutele previste emerge quanto segue.

- 1) ***Struttura idrogeomorfologica.*** Con riferimento ai contesti paesaggistici individuati come *Componenti geomorfologiche* e *Componenti Idrologiche* dal PPTR, l'area di impianto e delle opere connesse non ricade in zone identificate nel sistema di tutela paesaggistica.

- 2) **Struttura eco sistemica-ambientale.** Con riferimento ai beni ed agli ulteriori contesti paesaggistici individuati come *Componenti botanico-vegetazionali* e *Componenti delle aree protette e dei siti naturalistici* dal PPTR, l'area di impianto e delle opere connesse non ricade in zone identificate nel sistema di tutela paesaggistica.
- 3) **Struttura antropica e storico culturale.** Con riferimento ai beni ed agli ulteriori contesti paesaggistici individuati come *Componenti culturali e insediative* dal PPTR, l'area di impianto e delle opere connesse non ricade in zone identificate nel sistema di tutela paesaggistica. Il vincolo architettonico più vicino è la Chiesa di Santa Maria dei Fiori o del Giardino nel centro abitato di Tutturano (3 km dal Parco Eolico in progetto). Il vincolo archeologico più vicino Masseria Montecillo (area del tempietto di San Miserino) a 2,3 km, mentre Muro Maurizio è ubicato a circa 3,5 km dall'aerogeneratore più vicino. Le Masserie più prossime agli aerogeneratori, tra cui le più vicine Masseria Uggio (a 730 m), Masseria Angelini (a 580 m), Masseria Esperti Nuovi (620 m), Masseria Camardella (a 1.100 m), sono tutte Segnalazione Architettoniche, nessuna ha il Vincolo Architettonico.
- 4) **Componenti dei valori percettivi.** Con riferimento ai beni ed agli ulteriori contesti paesaggistici individuati come Componenti dei valori percettivi dal PPTR, l'area di impianto e delle opere connesse non ricade in zone identificate nel sistema di tutela paesaggistica. La SP San Donaci- Mesagne (strada a valenza paesaggistica) perimetra l'area di impianto passando a circa 400 m dall'aerogeneratore 1.

Dall'analisi del PPTR non emerge, pertanto, un contesto storico culturale dell'area di elevato valore come sostenuto nella Nota della Provincia di Brindisi. Anche un documento del PUG di Brindisi (non ancora approvato, ma comunque consultabile sul sito web del Comune) ed ancor prima il R.R. 24/2010 perimetrano e definiscono le aree dell'impianto eolico in progetto come prive da criticità di vincolo e specifiche per l'installazione di impianti FER.

Nel SIA è stato specificatamente valutato l'impatto visivo potenzialmente prodotto dalla realizzazione del Parco Eolico sulla componente storico culturale ovvero in corrispondenza di Vincoli e Segnalazioni archeologici ed architettonici. In tabella si riportano i valori degli indici di sintesi calcolati nella Relazione di Impatto visivo, con riferimento a tali componenti

| Descrizione Vincolo | Denominazione | Comune | VP | VI | VPn | Vin | I |
|---|--|------------------|----|------|-----|-----|-----------|
| Vincolo Archeologico-Vincolo Architettonico | S. Pietro a Crepacore-Chiesa S.Pietro delle Torri | Torre S. Susanna | 19 | 13,0 | 6 | 2 | <u>12</u> |
| Vincolo Archeologico-Vincolo Architettonico | Masseria Monticello-Chiesa di S.Miserino o Minervino | San Donaci | 19 | 17,0 | 6 | 3 | <u>18</u> |
| Vincolo architettonico | Masseria Lamia | San Pancrazio S. | 16 | 12,9 | 5 | 2 | <u>10</u> |
| Vincolo architettonico | Cripta di S.Leonardo e S.Giovanni Battista | Torre S. Susanna | 16 | 10,1 | 5 | 2 | <u>10</u> |
| Segnalazione architettonica | Masseria Uggio | Brindisi | 13 | 16,0 | 4 | 3 | <u>12</u> |

| Descrizione Vincolo | Denominazione | Comune | VP | VI | VPn | Vin | I |
|-----------------------------|--------------------------|------------------|----|------|-----|-----|-----------|
| Segnalazione architettonica | Masseria Angelini | Brindisi | 13 | 16,0 | 4 | 3 | <u>12</u> |
| Segnalazione architettonica | Masseria Camardella | Brindisi | 14 | 15,0 | 4 | 3 | <u>12</u> |
| Segnalazione architettonica | Masseria Esperti Nuovi | Cellino S.Marco | 14 | 16,0 | 4 | 3 | <u>12</u> |
| Vincolo Archeologico | Li Castelli | San Pancrazio S. | 19 | 15,0 | 6 | 3 | <u>18</u> |
| Vincolo Archeologico | Masseria Buffi | Brindisi | 18 | 8,4 | 6 | 1 | <u>6</u> |
| Vincolo Archeologico | San Giorgio Mass. Masina | Brindisi | 18 | 15 | 6 | 3 | <u>18</u> |
| Vincolo Archeologico | Malvindi Campofreddo | Mesagne | 19 | 8 | 6 | 1 | <u>6</u> |
| Vincolo Archeologico | Muro Maurizio Mass. Muro | Mesagne | 22 | 16 | 7 | 3 | <u>21</u> |
| Vincolo Archeologico | Muro Tenente | Mesagne | 22 | 12 | 7 | 2 | <u>14</u> |
| Vincolo Archeologico | Valesio | Torchiarolo | 21 | 8 | 6 | 1 | <u>6</u> |
| Vincolo Archeologico | Masseria Marmorelle | Brindisi | 23 | 9,2 | 7 | 1 | <u>7</u> |

Dove

Vp è l'indice rappresentativo del valore paesaggistico del punto di osservazione considerato, può variare nell'intervallo 0-30

Vi è l'indice rappresentativo della visibilità dell'impianto eolico dal punto di osservazione considerato, può variare nell'intervallo 0-30

Vpn è l'indice del valore paesaggistico normalizzato, può variare nell'intervallo 0-8

Vpi è l'indice di visibilità normalizzato, può variare anch'esso nell'intervallo 0-8

I è il valore dell'impatto visivo è può variare nell'intervallo 0-64

E' evidente che l'indice di Impatto Visivo (I) si mantiene medio basso per tutti i punti di osservazione analizzati. In particolare per le Masserie più vicine con Segnalazione Architettonica (Masseria Angelini, Masseria Camardella, Masseria Esperti Nuovi, Masseria Uggio), l'indice di Impatto Visivo pari a 12 è da considerarsi basso.

Rammentiamo per facilità di lettura che la metodologia proposta per il calcolo dell'Impatto Visivo (I) nel SIA, è data da:

$$I = V_p \times V_i$$

Dove

- Vp è un indice rappresentativo del valore del paesaggio
- Vi è un indice rappresentativo della visibilità dell'impianto

VP in un dato ambito territoriale, scaturisce dalla quantificazione di elementi quali:

- la naturalità del paesaggio (N);
- la qualità attuale dell'ambiente percettibile (Q);
- la presenza di zone soggette a vincolo (V).

$$V_p = N + Q + V$$

Vi in un dato ambito territoriale, scaturisce dalla quantificazione di elementi quali:

- la percettibilità dell'impianto, P
- l'indice di bersaglio, B (è una misura della dimensione percepita da parte dell'osservatore di un elemento inserito nel paesaggio)
- la fruizione del paesaggio o frequentazione, F

$$Vi = Px(B+F)$$

Infine giova ricordare che, sostanzialmente nella stessa area dell'impianto in progetto e di recente, con Determina Dirigenziale Regione Puglia n. 158 del 29 ottobre 2017 è stata rilasciata Valutazione di Impatto Ambientale positiva, ad un progetto di parco eolico costituito da 4 aerogeneratori di proprietà della società Siemens Gamesa Renewables EnergyItaly S.p.a. Pertanto, a nostro parere appare difficile affermare che l'area presenti caratteristiche storico – culturali di particolare pregio o interesse.

Sull'impatto cumulativo con altro impianto eolico nella stessa area

I potenziali impatti cumulativi sono stati già ampiamente valutati nei seguenti elaborati, a disposizione della Provincia e di tutte le Amministrazioni interessate dal procedimento di VIA, ai quali si rimanda per i necessari approfondimenti:

- R40a Impatti cumulativi – Relazione di impatto acustico previsionale cumulativo
- R40b Impatti cumulativi – Relazione di impatto visivo cumulativo
- R40c Impatti Cumulativi - Relazione impatti cumulativi sul suolo
- R38d Relazione sugli impatti cumulativi.

Come appena affermato con Determina Dirigenziale Regione Puglia n. 158 del 29 ottobre 2017 è stata rilasciata Valutazione di Impatto Ambientale positiva, ad un progetto di parco eolico costituito da 4 aerogeneratori di proprietà della società Siemens Gamesa Renewables EnergyItaly S.p.a. Si vuole sottolineare che, comunque, non è certo che i due parchi saranno realizzati entrambi.

Dall'Analisi di Impatto Cumulativo allegato al SIA emerge in sintesi quanto segue

- 1) *Impatto acustico.* Il clima acustico generato dalla contemporanea presenza dei due impianti, in base alle simulazioni effettuate, sarà tale da rispettare il limiti assoluti di emissione ed immissione e i limiti differenziali imposti dalla normativa su tutti i ricettori individuati (edifici abitati).
- 2) *Impatto visivo potenziale.* L'eventuale realizzazione dei due parchi eolici in esame implica un maggior numero teorico di aerogeneratori visibili da un punto in genere e dai punti sensibili in particolare; la presenza su aree contermini di 10+4 aerogeneratori aumenta la

densità di torri all'interno del bacino visivo. Occorre evidenziare che le turbine si inseriscono correttamente nel territorio in esame in quanto, come desumibile dalla fotosimulazioni contenute nell'elaborato "*R40b Impatti cumulativi – Relazione di impatto visivo cumulativo*"

- In considerazione dell'andamento piano altimetrico pianeggiante in un ampio intorno (almeno 10 km) dell'area di progetto, sono pochi i punti di vista da cui è possibile percepire tutti e 14 gli aerogeneratori contemporaneamente;
- la presenza di ostacoli naturali e/o antropici di fatto inibiscono la vista di alcune turbine;
- gli aerogeneratori visibili riprendono le linee verticali degli alberi e dei pali esistenti, risultando complessivamente coerenti con la morfologia naturale ed artificiale dei luoghi.

3) *Effetto selva*. La distanza di almeno 520 m e la disposizione a cluster su più file degli aerogeneratori del progetto in esame (Tozzigreen) e del progetto Gamesa porta ad escludere che la loro installazione, seppure su aree limitrofe, possa determinare il cosiddetto "effetto selva".

4) *Natura e biodiversità*. L'ipotetico incremento di disturbo su fauna e avifauna sarebbe dovuto essenzialmente all'estensione dell'area di *disturbo* prodotta sempre dai due impianti in progetto (Tozzigreen e Gamesa). Come già suddetto nei paragrafi "*Sulla presenza di Aree SIC limitrofe all'area di progetto*" e "*Sull'Impatto su fauna e avifauna*", l'area è sostanzialmente agricola, caratterizzata da vigneti, uliveti, e seminativi, con interazioni di fatto assenti con i SIC più vicini (boschi) che hanno caratteristiche del tutto differenti. Il sito in esame, ubicato non in prossimità della costa, pianeggiante ed interamente destinato a colture agricole, non ha caratteristiche distintive e peculiari tali da costituire habitat significativo per le specie su elencate. Pertanto, per quanto finora illustrato, è possibile affermare che l'introduzione dei due parchi nell'area prevista da progetto non arrecherà danni alle specie che popolano l'area né tantomeno essere causa della scomparsa delle stesse dall'intera zona. L'effetto barriera sull'avifauna è limitato (se non del tutto scongiurato) dalla notevole inter - distanza tra gli aerogeneratori dei due progetti (oltre 500 m) e dalla mancanza di alta concentrazioni di specie stanziali, dalla mancanza di specificità che determinino la presenza di un elevato numero di migratori per la nidificazione, il dormitorio o l'alimentazione.

5) *Patrimonio culturale ed identitario*. E' evidente che la realizzazione dei due impianti, benché gli aerogeneratori siano ben disposti genera un aumento del grado di antropizzazione del territorio agricolo – rurale. Come già detto, l'area viene definita dal PPTR (Elaborato

3.2.7.b – Scheda Campagna Brindisina), area a bassa o nulla valenza dei paesaggi agrari. La distanza esistente tra gli aerogeneratori più vicini e le Masserie con Segnalazione architettonica fa sì che non ne venga compromesso l'utilizzo anche in termini agrituristici.

Infine si vuole ricordare che tutti gli impianti eolici di grande taglia sono autorizzati all'esercizio per un periodo di 20 anni; successivamente sono destinati alla dismissione che prevede in sintesi: smontaggio degli aerogeneratori, recupero dei cavi interrati, ripristino delle aree utilizzate per strade e piazzole, demolizione del plinto di fondazione sino ad una profondità di un metro dal piano campagna. Il ripristino delle condizioni ex ante, a fine vita utile dell'impianto, è coperto da polizza fidejussoria, rilasciata dalla società proponente a favore del Comune, prima dell'inizio della costruzione dell'impianto. E' evidente pertanto che qualunque impatto potenzialmente prodotto è di fatto completamente reversibile.

**CALCOLO DELLA GITTATA
IN CASO DI ROTTURA ACCIDENTALI DI
ELEMENTI ROTANTI
MOTO ROTAZIONALE COMPLESSO IN FLUIDO VISCOSO**

1. PREMESSA

La presente relazione è riferita al calcolo della gittata massima di elementi rotanti in caso di rottura accidentale ad integrazione della Relazione R30 facente parte della documentazione di progetto che la società Tozzigreen S.p.a. ha elaborato per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico di potenza pari a 34,5 MW, costituito da 10 aerogeneratori in località Santa Teresa nel Comune di Brindisi. A tal riguardo si precisa che, nell'elaborato appena citato, il calcolo della gittata massima nel caso di rottura dell'intera pala aveva restituito il valore di 265 m con angolo pari a $\Theta = 21^\circ$. Come sottolineato nello stesso documento, tale valore teorico è altamente conservativo poiché non tiene conto delle forze di attrito viscoso e della complessità del moto rotazionale, ovvero della rotazione della pala durante il moto di caduta, condizioni reali che attenuano il valore della gittata. Ciascun aerogeneratore sarà tripala ad asse orizzontale costituito da una torre tubolare metallica a tronco di cono alta 117 m e con un diametro di base di circa 4,5 m. In cima alla torre troverà alloggio la navicella cui è collegato il rotore di diametro pari a 126 m, per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 180 m (TIP). La velocità del rotore sarà variabile e compresa nel range 5,9-16,3 giri/minuto.

In questa sede sarà effettuato il calcolo della gittata modellizzando, con opportune semplificazioni, il moto della pala o di un frammento di pala nell'aria considerando l'attrito viscoso o se si preferisce l'attrito dell'aria prodotto su di esso durante la caduta.

Anche in questo caso, si sottolinea fin d'ora che tutte le approssimazioni e semplificazioni proposte sono a vantaggio della sicurezza, ovvero producono risultati con approssimazione in eccesso della gittata massima in caso di rottura di elementi rotanti, poiché il calcolo sarà fondato su un modello puramente balistico.

La determinazione dell'equazione del moto nel caso di un distacco di un corpo dal rotore in movimento è molto complesso. E' evidente però che si tratta di un moto rotazionale complesso in quanto il corpo, quando inizierà il suo moto libero, continuerà anche a ruotare per l'ineluttabile legge fisica di conservazione della quantità del moto. Quindi nel moto libero (dopo il distacco) una parte dell'energia cinetica posseduta dal corpo verrà dissipata nel moto rotazionale che finirà per generare turbolenze. Di queste dissipazioni non si terrà conto nel calcolo che pertanto sarà prudenziale.

Una volta che il corpo si sarà distaccato le forze inerziali agenti saranno la forza di gravità e le forze viscoso dovute alla resistenza prodotta dall'aria.

La velocità di rotazione al momento del distacco, presa in considerazione per il calcolo, è quella massima indicata dal costruttore. E' evidente che i sofisticati sistemi di controllo non permetterebbero al rotore dell'aerogeneratore di ruotare ad una velocità maggiore di quelle indicate nelle specifiche tecniche.

2. STUDIO VESTAS

Il costruttore degli aerogeneratori Vestas Wind Systems A/S ha prodotto un documento denominato “*Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento*”, nel quale sono riportati i risultati dei calcoli della distanza che una pala di una aerogeneratore raggiunge nel caso di distacco dal mozzo mentre la macchina è in funzione. Il calcolo è stato eseguito per otto modelli di aerogeneratori diversi tra cui quello previsto nel presente progetto ovvero l’aerogeneratore V126, per il quale è prevista **una gittata massima di circa 150 m**, valore considerato peraltro ampiamente conservativo tanto che nelle conclusioni dello stesso Studio viene decrementato del 20% e portato a 120 m circa.

Nel richiamato documento “Vestas”, che per completezza alleghiamo alla presente relazione, in realtà non sono chiarite le condizioni al contorno considerate nell’esecuzione dei calcoli ed in particolare non è definita l’altezza della torre tubolare di sostegno degli aerogeneratori, parametro non trascurabile nel calcolo della gittata. Pertanto si è ritenuto opportuno eseguire nuovamente i calcoli indicando chiaramente tutte le ipotesi iniziali e utilizzando le equazioni del moto in un fluido viscoso (aria). Tuttavia riteniamo di condividere pienamente alcune affermazioni osservazioni del documento di Vestas, in particolare:

- 1) Su una flotta operativa di 15.679 unità, nel caso di distacco di una pala il moto è stato di tipo “*rotazionale complesso*” e le distanze raggiunte sono state inferiori a quelle calcolate nello stesso Report;
- 2) Eventi di distacco di una sezione della pala non si sono verificati a tutt’oggi sui modelli considerati nel Report (e quindi su 15.679 unità). Danni all’estremità delle pale si sono spesso manifestati a causa di fulminazione atmosferica. Infatti benché le pale siano dotate di un sistema di protezione dalle scariche atmosferiche che dovrebbe drenare a terra la corrente di fulmine, talvolta si è verificato un danneggiamento all’estremità della pala che si apre per la separazione dei gusci che la compongono ***ma che non ha mai provocato distacchi di frammenti di dimensioni e peso significativi***. Il tipico danno per fulminazione atmosferica diretta di una pala è quello riportato nella foto qui sotto.



Estremità della pala danneggiata da fulminazione atmosferica

Come affermato nel documento di Vestas che qui si allega, *“ha senso effettuare un calcolo di gittata della pala intera in quanto esiste un punto di discontinuità, l’attacco bullonato che unisce la pala al mozzo, ed esiste un’ipotesi, seppur remota, sulla possibilità di cedimento di tale attacco. Mentre l’effetto di distacco di una porzione della pala è escluso, considerate le caratteristiche meccaniche della pala, ovvero, una struttura monolitica della trave di sostegno che rimane vincolata al mozzo attraverso una collegamento bullonato”*.

Ad ogni modo nei paragrafi seguenti pur ritendo l’evento di distacco di un frammento di pala di dimensioni significative praticamente impossibile per completezza di trattazione si riporta il calcolo della gittata nel caso di distacco accidentale di frammenti di pala di dimensioni pari a 10 m, 5 m, 2 m.

3. GITTATA-ANALISI TEORICA E MODELLO MATEMATICO

Sarà preso in considerazione il calcolo della gittata modellizzando, con opportune semplificazioni, il moto della pala o di un frammento di pala (in seguito indicato genericamente come “corpo”) nell’aria considerando l’attrito viscoso o se si preferisce l’attrito dell’aria prodotto su di esso durante la caduta.

Sottolineiamo fin d’ora che tutte le approssimazioni e semplificazioni proposte sono a vantaggio della sicurezza, ovvero producono risultati con approssimazione in eccesso della gittata massima

in caso di rottura di elementi rotanti, poiché il calcolo sarà fondato su un modello puramente balistico.

La determinazione dell'equazione del moto nel caso di un distacco di un corpo dal rotore in movimento è molto complesso. E' evidente però che si tratta di un moto rotazionale complesso in quanto il corpo, quando inizierà il suo moto libero, continuerà anche a ruotare per l'ineluttabile legge fisica di conservazione della quantità del moto. Quindi nel moto libero (dopo il distacco) una parte dell'energia cinetica posseduta dal corpo verrà dissipata nel moto rotazionale che finirà per generare turbolenze. Di queste dissipazioni non si terrà conto nel calcolo che pertanto sarà prudenziale.

Una volta che il corpo si sarà distaccato le forze inerziali agenti saranno la forza di gravità e le forze viscosse dovute alla resistenza prodotta dall'aria.

La velocità di rotazione al momento del distacco, presa in considerazione per il calcolo, è quella massima indicata dal costruttore. E' evidente che i sofisticati sistemi di controllo non permetterebbero al rotore dell'aerogeneratore di ruotare ad una velocità maggiore di quelle indicate nelle specifiche tecniche.

Le assunzioni del modello sono:

- 1) Si fa riferimento al baricentro del corpo (sulla base di forma e dimensione opportunamente ipotizzate) e si applicano ad esso le equazioni del moto.
- 2) Si assume come velocità iniziale V_0 il vettore applicato nel baricentro di cui al punto precedente al momento del distacco, avente come modulo la velocità tangenziale corrispondente alla massima velocità angolare di esercizio per un raggio pari alla distanza del baricentro dal centro di rotazione e come direzione quella della tangente nello stesso baricentro al moto circolare da esso mantenuto fino al momento del distacco.
- 3) Si determina l'angolo α_0 per il quale la gittata è massima. La definizione di questo valore avviene per tentativi successivi, e dipende essenzialmente dalla geometria del sistema (altezza torre tubolare, diametro rotore, dimensioni della pala o del frammento) e dalla velocità di rotazione al momento del distacco.
- 4) Si tiene conto, nel volo e nella traiettoria del corpo, della spinta generata dal vento in direzione ortogonale al piano del rotore che per convenzione porremo come il piano XZ e che tenderà a spostare il corpo stesso dal piano di rotazione XZ del rotore. La velocità di spinta del vento considerata è quella massima a cui funziona l'aerogeneratore (cut off).
- 5) Si ipotizza la temperatura ambientale di 40°C, che minimizza alle condizioni d'esercizio la densità atmosferica e quindi l'attrito viscoso.
- 6) Il modulo della forza di attrito agente sulla pala (o sul frammento) in moto libero dopo il distacco è dato dalla formula.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{aria} \times C_d \times A \times V_{xz}^2$$

Dove:

- ρ_{aria} è la densità dell'aria che cambia in relazione alla quota altimetrica del sito di installazione degli aerogeneratori ma anche in base alle dimensioni e quindi massime altezze raggiunte dal sistema torre tubolare + rotore
- C_d è il coefficiente di attrito ampiamente dipendente dalle caratteristiche geometriche della pala. Sulla base di dati riportati in letteratura tale valore è stato assunto pari a 1
- A è la superficie efficace che la pala oppone alla resistenza generata dall'aria
- V_{xz} è il modulo della proiezione del vettore velocità del corpo sul piano XZ misurata con riferimento al baricentro del corpo

7) Il moto libero di un corpo di massa nota M sotto l'azione delle forze inerziali di gravità e di resistenza dell'aria è descritto, quindi, dalle seguenti equazioni:

$$a_x = d^2x/dt^2 = -1/M \times F_D \times \cos\alpha$$
$$a_y = d^2y/dt^2 = 1/2 \rho_{\text{aria}} \times C_d \times A \times (w - V_y)^2 / M$$
$$a_z = d^2z/dt^2 = -1/M \times (F_D \times \sin\alpha + M \times g)$$
$$F_D = 1/2 \rho_{\text{aria}} \times C_d \times A \times V_{xz}^2$$

Dove:

- α rappresenta l'arcotangente del rapporto V_z / V_x e cambia da istante a istante durante il moto libero di caduta;
- w è il modulo della velocità del vento, supposta ortogonale al piano XZ e costante per tutta la durata del moto;
- V_y è il modulo della componente della velocità del corpo avente la stessa direzione del vento;
- g è l'accelerazione di gravità.

Le condizioni al contorno indipendenti sono:

- temperatura ambiente e velocità del vento, impostate nei valori estremi di esercizio come precedentemente esposto;
- altezza della torre, quota s.l.m. delle sue fondazioni ed eventuale dislivello del territorio circostante;
- massa M , area efficace A , lunghezza L e posizione del baricentro del corpo distaccato (posta a $1/3$ della lunghezza nel caso dell'intera pala e a $1/2$ nel caso di un frammento);
- α_0 viene inizializzato al valore arbitrario di 20° , prossimo a valori descritti in letteratura per analoghi esperimenti;

- si pongono ascissa e ordinata del baricentro del corpo al momento del distacco $X_0=0$ e $Y_0=0$ (fissando l'origine del sistema di riferimento cartesiano come oltre precisato);
- si pone la componente iniziale del vettore velocità in direzione del vento $V_{y0}=0$, in quanto tale vettore, nel momento del distacco, è determinato dal solo movimento del rotore che è supposto ortogonale al vento stesso;

Dalle precedenti dipendono le seguenti ulteriori condizioni:

- quota di distacco Z_0 ;
- densità atmosferica ρ_{aria} iniziale;
- componenti iniziali V_{x0} e V_{z0} del vettore velocità e tutte le componenti del vettore accelerazione;

La soluzione del sistema di equazioni viene determinata con il metodo di Eulero che è un metodo iterativo per la risoluzione di equazioni differenziali partendo dalle condizioni al contorno. Tale soluzione ci permetterà di definire il moto del corpo distaccato nello spazio tridimensionale rappresentato in un sistema cartesiano ortogonale XYZ, in cui:

- il piano XY rappresenta il piano orizzontale, corrispondente al livello del mare;
- il piano XZ viene fatto coincidere con il piano su cui giace il rotore (ortogonale alla direzione del vento);
- il piano YZ viene fissato, ortogonalmente agli altri due piani coordinati, facendo coincidere l'origine del sistema con la proiezione sul piano XY del baricentro del corpo nell'istante del distacco.

Con questa rappresentazione geometrica è evidente che al momento della definizione della gittata massima si dovrà tenere in conto della lunghezza del corpo in caduta, ma anche della geometria del modello. Ora, poiché la gittata è calcolata a partire dal centro torre, dovrà essere calcolata la distanza tra centro torre e punto di caduta del baricentro del corpo distaccato.

Nel punto di caduta si dovrà tenere poi in conto della lunghezza del frammento o della pala. Pertanto in definitiva la gittata massima, sarà uguale a:

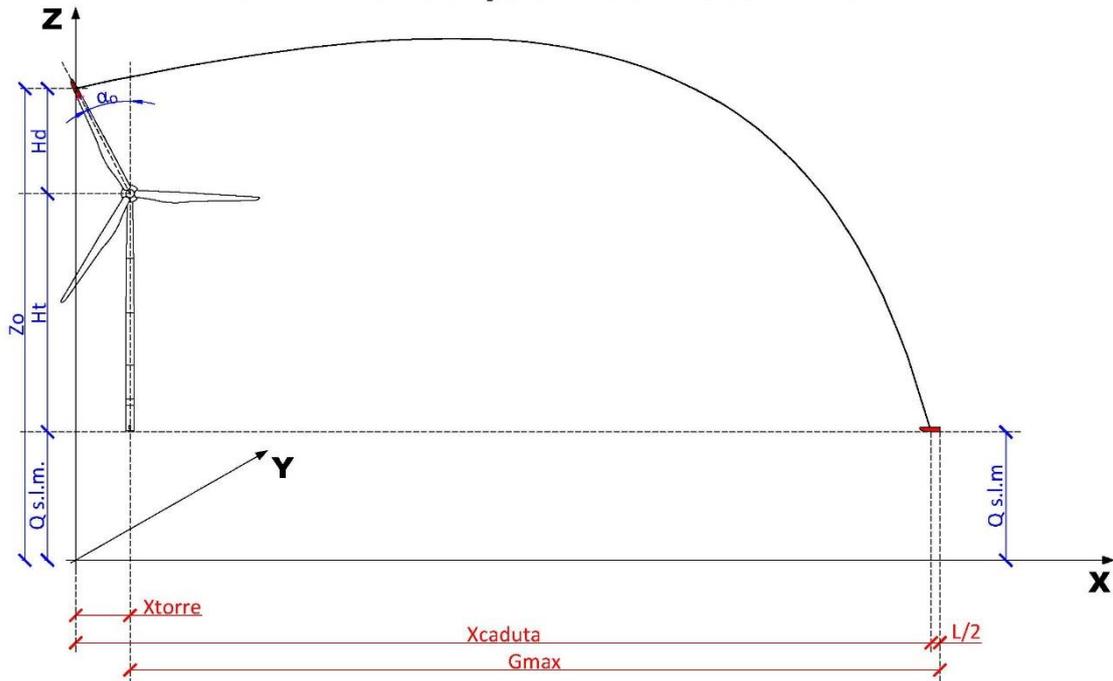
$$G_{Max} = \text{distanza}(\text{centro torre, punto di caduta}) + L/2 \text{ (nel caso del frammento di lunghezza } L)$$

$$G_{Max} = \text{distanza}(\text{centro torre, punto di caduta}) + 2/3L \text{ (nel caso di pala intera di lunghezza } L)$$

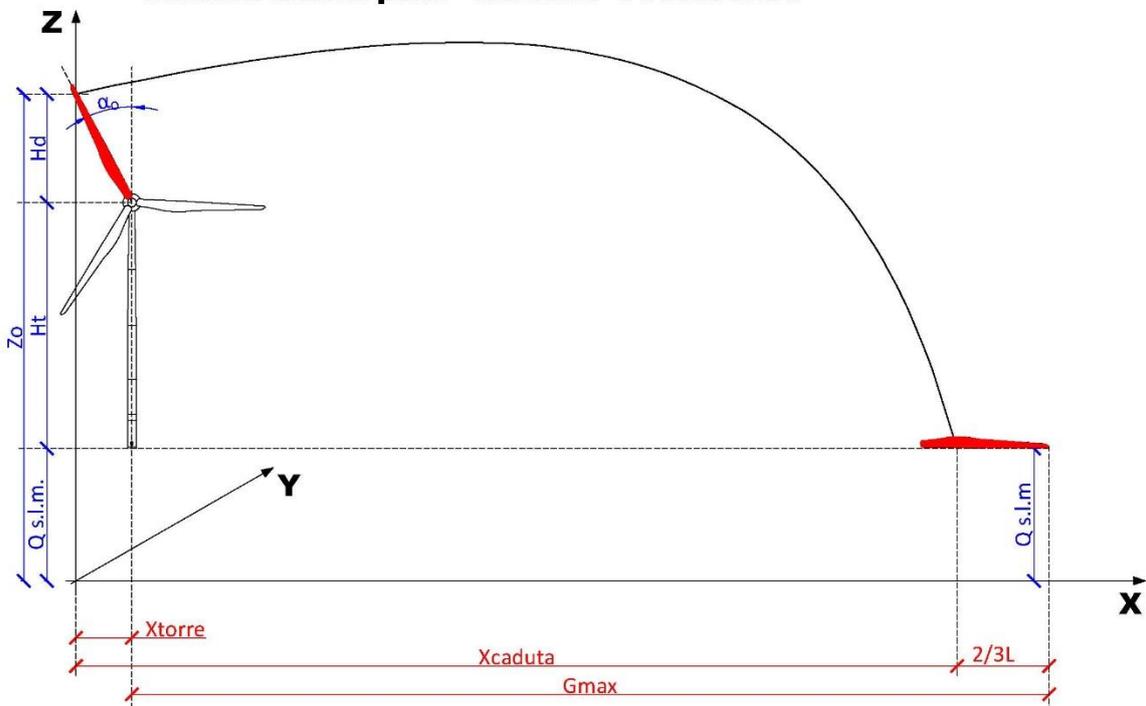
Una volta impostato e risolto il modello con riferimento al valore di inizializzazione di α_0 si è proceduto per tentativi, provando a variare α_0 , di un grado per volta, nella direzione in cui G_{Max} risultava aumentare e fino a che non si registrava un decremento, individuando in tal modo il valore di α_0 che massimizza G_{Max} .

In figura la geometria del sistema, nel caso di distacco del frammento di pala o della pala intera.

Rottura frammento di pala Modello Geometrico



Rottura intera pala - Modello Geometrico



4. CALCOLO DELLA GITTATA – DISTACCO PALA INTERA

Come detto il moto libero di un corpo di massa nota M sotto l'azione delle forze inerziali di gravità e di resistenza dell'aria è descritto, dalle seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}a_x &= d^2x/dt^2 = -1/M \times F_D \times \cos\alpha \\a_y &= d^2y/dt^2 = 1/2 \rho_{aria} \times C_d \times A \times (w - V_y)^2 / M \\a_z &= d^2z/dt^2 = -1/M \times (F_D \times \sin\alpha + M \times g) \\F_D &= 1/2 \rho_{aria} \times C_d \times A \times V_{xz}^2\end{aligned}$$

L'equazione differenziale è risolta con il metodo iterativo di Eulero, rispetto alle variabili x , y e z . Nell'istante in cui z assume il valore pari al livello previsto per l'impatto (che nel caso in esame corrisponde a 63 m, ovvero la quota della base torre s.l.m.), il punto di caduta del baricentro della pala è calcolato (teorema di Pitagora) dai corrispondenti valori di x e y nello stesso istante. La Gittata massima sarà poi ottenuta in base alle caratteristiche geometriche del frammento e dell'intero sistema, ovvero l'estensione massima del frammento rispetto al baricentro e la distanza del centro torre dall'asse z del sistema di riferimento. In pratica:

$$G_{Max} = X_{caduta} - X_{torre} + 2/3L \text{ (pala intera di lunghezza } L\text{)}$$

Nel caso di distacco dell'intera pala i parametri assumeranno i seguenti valori:

- $M = 14.200$ kg dato del costruttore Vestas relativo al peso dell'intera pala
- Altezza mozzo $Q_t = 117$ m, diametro rotore 63 m, lunghezza pala 61,6 m, velocità di rotazione 16,3 g/min, che è la velocità massima consentita così come da specifiche del costruttore
- La posizione del baricentro della pala a 1/3 della lunghezza della pala, quindi più vicina al centro di rotazione.
- $C_d = 1$, sulla base di dati riportati in letteratura
- A superficie efficace che la pala oppone alla resistenza generata dall'aria, si assume pari a 110 mq sulla base delle caratteristiche geometriche della pala (lunghezza 61.6 m, larghezza massima 4.00 m, altezza massima 3.00 m), si è supposto che su una lunghezza di 61,6 m si abbia un'altezza media di 1,8 m.
- Si è proceduto per tentativi al fine di definire l'angolo α_0 a cui avviene il distacco. Nel caso in esame il risultato è stato $\alpha_0 = 19^\circ$.
- In considerazione del fatto che il terreno nell'intorno degli aerogeneratori di progetto è pressoché pianeggiante si è fatta l'ulteriore ipotesi che la $Q_{s.l.m.}$ (Quota sul livello del mare) del punto di caduta sia la stessa della base della torre. $Q_{s.l.m.} = 63$ m, sulla base dei valori rilevati in sito.
- Si è considerata la velocità massima del vento di 22,5 m/s a cui funziona l'aerogeneratore. Oltre questa velocità le pale vanno in stallo e non ruotano. La velocità del vento determina una componente del moto che è perpendicolare al piano di rotazione del rotore.

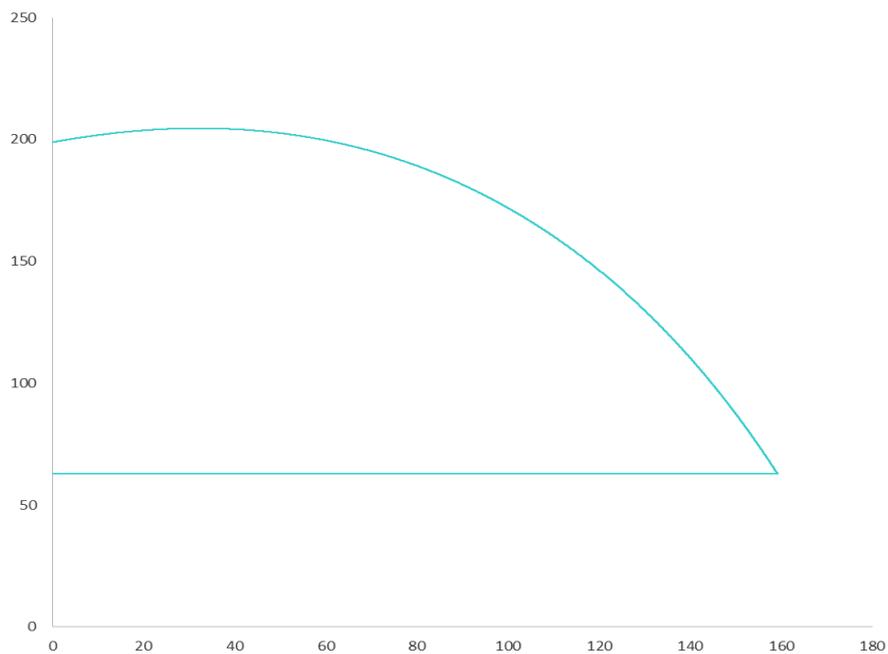
- Densità dell'aria $\rho = 0,898$, pari alla densità dell'aria con temperatura di 40°C alla quota di 200 m s.l.m. (valori limite che determinano le condizioni più sfavorevoli nel calcolo).

Il valore della gittata massima ottenuto dal calcolo è

$$G_{Max} = 198,05 \text{ m}$$

Con tempo di permanenza in volo di 7 secondi circa. Nel grafico la traiettoria del moto che, ricordiamo, avviene nello spazio XYZ.

Traiettoria con gittata massima



5. CALCOLO DELLA GITTATA – DISTACCO FRAMMENTO 10 m

Benché, come detto, il distacco di un frammento di pala è da considerarsi un evento pressoché impossibile di seguito si riporta il valore della gittata massima come soluzione dell'equazione differenziale più volte richiamata, nel caso di un frammento di lunghezza pari a 10 m.

I parametri fisici e geometrici che si assumeranno saranno i seguenti:

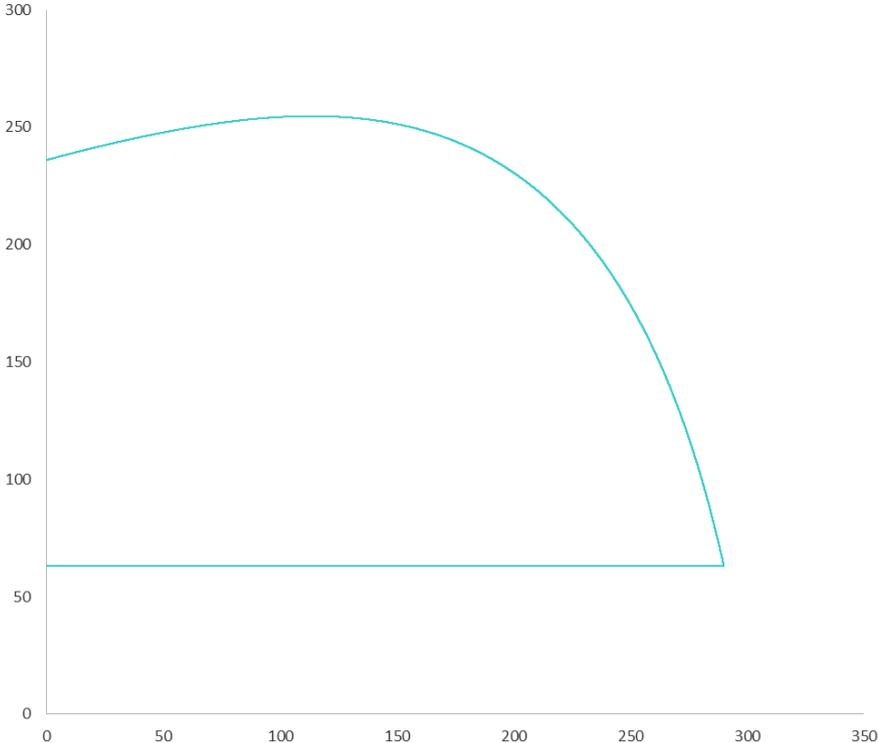
- $M = 1.100$ kg in relazioni alle caratteristiche geometriche della pala, come frazione del suo peso complessivo
- Altezza mozzo $Q_t = 117$ m, diametro rotore 63 m, lunghezza pala 61,6 m, lunghezza frammento 10 m, velocità di rotazione 16,3 g/min (velocità massima consentita per il tipo di aerogeneratore).
- La posizione del baricentro della pala a 1/2 della lunghezza del frammento.
- $C_d = 1$, sulla base di dati riportati in letteratura
- A superficie efficace che la pala oppone alla resistenza generata dall'aria, si assume pari a 15 mq sulla base delle caratteristiche geometriche della pala e del frammento, si è supposto che su una lunghezza di 10 m si abbia una larghezza media di 1,5 m.
- Si è proceduto per tentativi al fine di definire l'angolo α_0 a cui avviene il distacco. Nel caso in esame il risultato è stato $\alpha_0 = 15^\circ$.
- In considerazione del fatto che il terreno nell'intorno degli aerogeneratori di progetto è pressoché pianeggiante si è fatta l'ulteriore ipotesi che la $Q_{s.l.m.}$ (Quota sul livello del mare del punto di caduta sia la stessa della base della torre). $Q_{s.l.m.} = 63$ m, sulla base dei valori rilevati in sito.
- Si è considerata la velocità massima del vento di 22,5 m/s a cui funziona l'aerogeneratore. Oltre questa velocità le pale vanno in stallo e non ruotano. La velocità del vento determina una componente del moto che è perpendicolare al piano di rotazione del rotore.
- Densità dell'aria $\rho = 0,898$, pari alla densità dell'aria con temperatura di 40°C alla quota di 200 m s.l.m. (valori limite che determina la condizione più sfavorevole nel calcolo).

Il valore della gittata massima ottenuto dal calcolo è

$$G_{Max} = 289,79 \text{ m}$$

Con tempo di permanenza in volo di 9,7 secondi circa. Nel grafico la traiettoria del moto che, ricordiamo, avviene nello spazio XYZ.

Traiettoria con gittata massima - frammento L=10m



6. CALCOLO DELLA GITTATA – DISTACCO FRAMMENTO 5 m

Nel caso in cui il frammento di pala che subisce il distacco sia di lunghezza pari a 5 m, i parametri fisici e geometrici che si assumeranno saranno i seguenti:

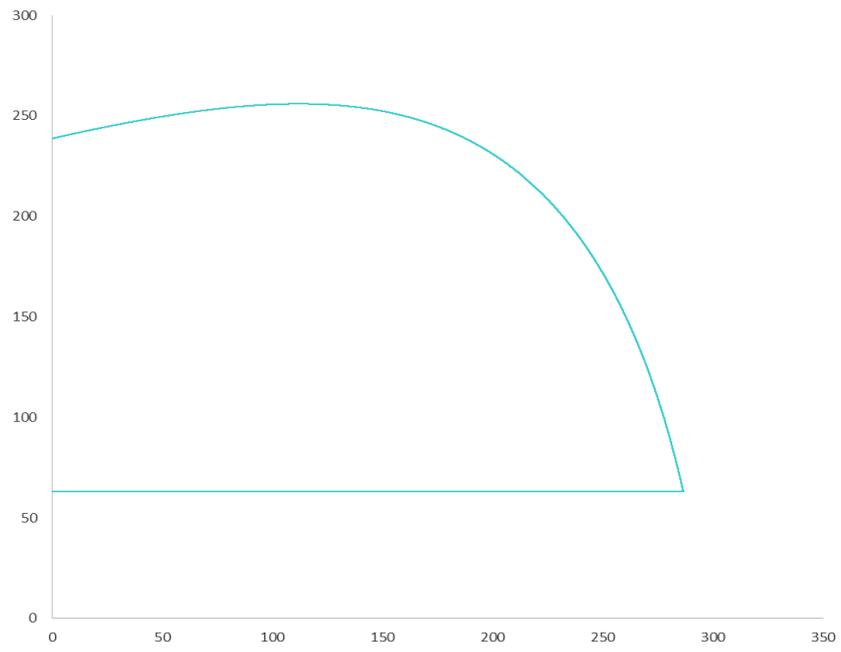
- $M = 450$ kg in relazioni alle caratteristiche geometriche della pala, come frazione del suo peso complessivo
- Altezza mozzo $Q_t = 117$ m, diametro rotore 63 m, lunghezza pala 61,6 m, lunghezza frammento 5 m, velocità di rotazione 16,3 g/min (velocità massima consentita per il tipo di aerogeneratore).
- La posizione del baricentro a 1/2 della lunghezza del frammento.
- $C_d = 1$, sulla base di dati riportati in letteratura
- A superficie efficace che la pala oppone alla resistenza generata dall'aria, si assume pari a 6,5 mq sulla base delle caratteristiche geometriche della pala e del frammento, si è supposto che su una lunghezza di 5 m si abbia una larghezza media di 1,3 m.
- Si è proceduto per tentativi al fine di definire l'angolo α_0 a cui avviene il distacco. Nel caso in esame il risultato è stato $\alpha_0 = 14^\circ$.
- In considerazione del fatto che il terreno nell'intorno degli aerogeneratori di progetto è pressoché pianeggiante si è fatta l'ulteriore ipotesi che la $Q_{s.l.m.}$ (Quota sul livello del mare del punto di caduta sia la stessa della base della torre). $Q_{s.l.m.} = 63$ m, sulla base dei valori rilevati in sito.
- Si è considerata la velocità massima del vento di 22,5 m/s a cui funziona l'aerogeneratore.
- Densità dell'aria $\rho = 0,898$, pari alla densità dell'aria con temperatura di 40°C alla quota di 200 m s.l.m. (valori limite che determinano le condizioni più sfavorevoli nel calcolo).

Il valore della gittata massima ottenuto dal calcolo è

$$G_{Max} = 284,82 \text{ m (Frammento } L=5 \text{ m)}$$

Con tempo di permanenza in volo di 9,8 secondi circa. Nel grafico la traiettoria del moto che, ricordiamo, avviene nello spazio XYZ.

Traiettoria con gittata massima - Frammento L=5 m



7. CALCOLO DELLA GITTATA – DISTACCO FRAMMENTO 2 m

Nel caso in cui il frammento di pala che subisce il distacco sia di lunghezza pari a 2 m, i parametri fisici e geometrici che sia assumeranno saranno i seguenti:

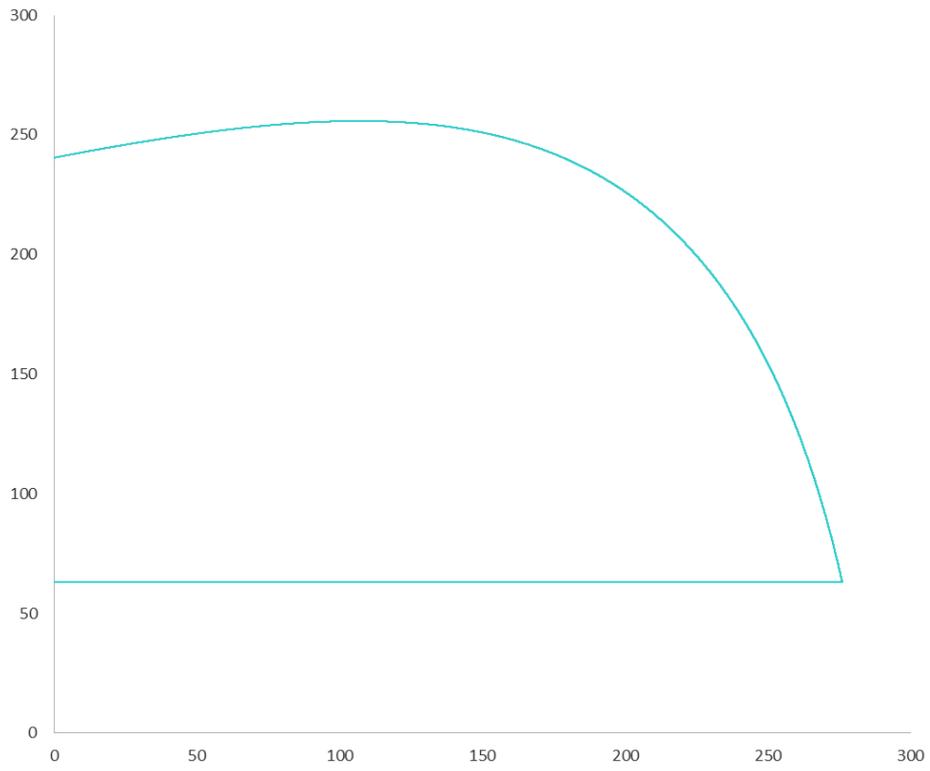
- $M = 160$ kg in relazioni alle caratteristiche geometriche della pala, come frazione del suo peso complessivo
- Altezza mozzo $Q_t = 117$ m, diametro rotore 63 m, lunghezza pala 61,6 m, lunghezza frammento 2 m, velocità di rotazione 16,3 g/min (velocità massima consentita per il tipo di aerogeneratore).
- La posizione del baricentro a 1/2 della lunghezza del frammento.
- $C_d = 1$, sulla base di dati riportati in letteratura
- A superficie efficace che la pala oppone alla resistenza generata dall'aria, si assume pari a 2,5 mq sulla base delle caratteristiche geometriche della pala e del frammento, si è supposto che su una lunghezza di 2 m si abbia una larghezza media di 1,2 m.
- Si è proceduto per tentativi al fine di definire l'angolo α_0 a cui avviene il distacco. Nel caso in esame il risultato è stato $\alpha_0 = 13^\circ$.
- In considerazione del fatto che il terreno nell'intorno degli aerogeneratori di progetto è pressoché pianeggiante si è fatta l'ulteriore ipotesi che la $Q_{s.l.m.}$ (Quota sul livello del mare del punto di caduta sia la stessa della base della torre). $Q_{s.l.m.} = 63$ m, sulla base dei valori rilevati in sito.
- Si è considerata la velocità massima del vento di 22,5 m/s a cui funziona l'aerogeneratore.
- Densità dell'aria $\rho = 0,898$, pari alla densità dell'aria con temperatura di 40°C alla quota di 200 m s.l.m. (valori limite che determinano le condizioni più sfavorevoli nel calcolo).

Il valore della gittata massima ottenuto dal calcolo è

$$G_{Max} = 275,09 \text{ m (frammento } L=2 \text{ m)}$$

Con tempo di permanenza in volo di 9,8 secondi circa. Nel grafico la traiettoria del moto che, ricordiamo, avviene nello spazio XYZ.

Traiettoria con gittata massima _ Frammento L=2m



8. CONCLUSIONI

La definizione del moto di una pala di un aerogeneratore o di un frammento di pala è un problema alquanto complesso. E' certo d'altra parte sulla base dell'esperienza e di semplici considerazioni fisiche (conservazione della quantità di moto) che trattasi di un moto rotazionale complesso in un fluido viscoso (aria).

Il moto libero di un corpo di massa nota M sotto l'azione delle forze inerziali di gravità e di resistenza dell'aria è descritto, dalle seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}a_x &= d^2x/dt^2 = -1/M \times F_D \times \cos\alpha \\a_y &= d^2y/dt^2 = \frac{1}{2} \rho_{aria} \times C_d \times A \times (w - V_y)^2 / M \\a_z &= d^2z/dt^2 = -1/M \times (F_D \times \sin\alpha + M \times g) \\F_D &= \frac{1}{2} \rho_{aria} \times C_d \times A \times V_{xz}^2\end{aligned}$$

In particolare F_D è la forza di attrito dovuta alla resistenza dell'aria sul corpo in movimento che è direttamente proporzionale al quadrato della velocità ma, dipende dalla densità dell'aria ρ_{aria} , da forma e superficie dell'elemento in movimento (A , C_D). Attribuendo opportuni valori ai vari coefficienti si sono risolte le equazioni differenziale, con il metodo iterativo di Eulero, rispetto alle variabili x , y e z . Da queste poi è stata calcolata la gittata sulla base di considerazioni geometriche. Dal momento che sono stati considerati per ciascun parametro valori ampiamente conservativi e mettendosi nelle condizioni di esercizio più gravose (massima velocità di rotazione, massima velocità del vento) il valore della gittata calcolato si può considerare ampiamente conservativo, pertanto da considerarsi quale Gittata Massima. Il valore calcolato per la Gittata massima dell'intera pala nel caso di rottura accidentale è il seguente:

$$\mathbf{G_{Max}= 198,05 m (pala intera)}$$

Il calcolo è stato poi eseguito risolvendo le stesse equazioni nel caso in cui il distacco fosse riferito a frammenti di pala, benché tale evento è da considerarsi pressoché impossibile, con i seguenti risultati:

$$\mathbf{G_{Max}= 289,79 m (Frammento L=10 m)}$$

$$\mathbf{G_{Max}= 284,82 m (Frammento L=5 m)}$$

$$\mathbf{G_{Max}= 275,09 m (frammento L=2 m)}$$

Dai risultati è evidente che:

- 1) Nel caso dell'intera pala il notevole peso (14.200 kg), incide notevolmente sulla lunghezza della traiettoria, oltre che sul tempo di volo.
- 2) I frammenti quanto più piccoli (e quindi leggeri) sono, tanto minore è il valore della gittata

- 3) I valori della gittata sono tutti dipendenti dall'angolo α_0 a cui avviene il distacco. In tutti i casi il valore dell'angolo massimo per cui si ha il valore massimo della gittata è stato definito per tentativi.
- 4) Anche nel caso peggiore la gittata si mantiene al di sotto dei 300 m.

E' importante infine rimarcare che il costruttore degli aerogeneratori di progetto (Vestas) dichiara (si veda documento allegato) che la rottura di un frammento di pala è da escludere in considerazione delle caratteristiche costruttive delle pale stesse. Tale affermazione è peraltro avvalorata dalla statistica, su un campione di 15.679 unità di aerogeneratori di grande taglia del tipo di quelli in progetto tale evento non si è mai verificato. Il distacco dell'intera pala è invece potenzialmente possibile, e sempre secondo il costruttore, dovuto ad una cattiva manutenzione (verifica del corretto serraggio dei *prigionieri* che incardinano la pala al centro del rotore).

Nello stesso documento sono dati i risultati dei calcoli della gittata per diversi tipi di aerogeneratori di grossa taglia. In particolare per l'aerogeneratore V126 è indicata una gittata massima di circa 150 m (peraltro decrementabile del 20%), senza che però nello stesso documento siano indicate le altezze delle torri tubolari di sostegno degli aerogeneratori.

Lecce, 18 aprile 2018

Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento

Indice

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introduzione..... | 2 |
| 2 | Risultati..... | 3 |
| 3 | Metodologia e ipotesi..... | 4 |
| 4 | Velocità di rotazione..... | 5 |
| 5 | Forze agenti sulla traiettoria pala | 6 |
| 6 | Caratteristiche della pala..... | 7 |
| 7 | Casi di studio | 8 |
| 7.1 | Caso 1: Moto irrotazionale..... | 8 |
| 7.2 | Caso 2: Moto irrotazionale..... | 8 |
| 7.3 | Caso 3: Moto rotazionale complesso..... | 8 |
| 8 | Esperienze e note statistiche | 10 |
| 8.1 | Distacco di una delle pale dal rotore..... | 10 |
| 8.2 | Rottura (apertura) dell'estremità di pala..... | 12 |
| 9 | Conclusioni..... | 14 |
| 10 | Riferimenti..... | 15 |
| 11 | Appendice | 16 |

1 Introduzione

L'obiettivo di questo lavoro è determinare la distanza che una pala di un aerogeneratore raggiunge nel caso di distacco dal mozzo mentre la macchina è in funzione. Il calcolo è stato eseguito su otto aerogeneratori VESTAS:

- V80-2,0MW con una pala di lunghezza pari a 39 m e una velocità di rotazione massima a regime di 20 RPM posto su una torre di altezza pari a 80 m;
- V90-1,8/2,0MW con una pala di lunghezza pari a 44 m e una velocità di rotazione massima a regime di 17 RPM posto su una torre di altezza pari a 95 m;
- V90-3,0MW con una pala di lunghezza pari a 44 m e una velocità di rotazione massima a regime di 18,4 RPM posto su una torre di altezza pari a 105 m;
- V100-1,8/2,0MW con una pala di lunghezza pari a 49 m e una velocità di rotazione massima a regime di 16,6 RPM posto su una torre di altezza pari a 95 m;
- V100-2,0MW con una pala di lunghezza pari a 49 m e una velocità di rotazione massima a regime di 14,9 RPM posto su una torre di altezza pari a 95 m;
- V100-2,6MW con una pala di lunghezza pari a 49 m e una velocità di rotazione massima a regime di 13,38 RPM posto su una torre di altezza pari a 100 m;
- V110-2,0MW con una pala di lunghezza pari a 54 m e una velocità di rotazione massima a regime di 14,9 RPM posto su una torre di altezza pari a 95 m (125 m);
- V112-3,0/3,3MW con una pala di lunghezza pari a 54,6 m e una velocità di rotazione massima a regime di 17,7 RPM posto su una torre di altezza pari a 94 m (119 m).
- V117-3,3MW con una pala di lunghezza pari a 57,15 m e una velocità di rotazione massima a regime di 17,7 RPM posto su una torre di altezza pari a 91.5 m (116.5 m).
- V126-3,3MW con una pala di lunghezza pari a 61,66 m e una velocità di rotazione massima a regime di 16,5 RPM posto su una torre di altezza pari a 117 m (137 m).

Per la pala della V80-2,0MW si è fatto uno studio completo ipotizzando tre condizioni: la prima, più conservativa, include solo le forze d'inerzia ed esclude le forze viscosi; la seconda include le forze viscosi; la terza considera il moto della pala completo. 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%.

Per la pala V90-1,8/2,0MW, V90-3,0MW, V100-1,8/2,0MW, V100-2,0MW, V100-2.6MW, V110-2,0MW, V112-3,0/3,3MW, V117-3.3MW e V126-3.3MW si è fatto uno studio considerando la condizione più conservativa e cioè considerando le sole forze inerziali ed escludendo l'attrito, per cui i risultati ottenuti e mostrati di seguito nel paragrafo 2 sono da considerare del 20% maggiori di quelli reali.

2 Risultati

I risultati dell'analisi indicano che con lo studio più complesso (caso 3 riportato in seguito in questo documento) la gittata della pala per la V80-2,0MW (nel caso peggiore, ma non reale (caso 1) è 125 m) è di poco inferiore ai 100m.

La gittata della pala per la V90-1,8/2,0MW è di ca. 90 m, per la V90-3,0MW è di ca. 105 m, per la V100-1,8/2,0MW è di ca. 100 m, per la V100-2,0MW è di circa 85 m, per la V100-2,6MW è di circa 75 m, per la V110-2,0MW è di circa 95 m (100 m), per la V112-3,0/3,3MW è di ca. 120 m (135 m) e per la V117-3,3MW è di ca. 135 m (145 m) e infine per la V126-3,3MW è di ca. 140 m (150 m). Per le macchine appena menzionate l'unico caso studiato è quello conservativo, per cui il risultato è maggiore del 20% rispetto al reale.

3 Metodologia e ipotesi

Da un punto di vista teorico, se non si considerano le forze aerodinamiche la massima gittata si ottiene quando la pala si distacca dal rotore con un angolo di 45° (135° in posizione azimutale). Le forze di resistenza che agiscono sulla pala in realtà rendono minore il tempo di volo e quindi la gittata. Il moto reale è molto più complesso, in quanto dipende dalle caratteristiche aerodinamiche e dalle condizioni iniziali (rollio, imbardata e beccheggio della pala).

4 Velocità di rotazione

Si è ipotizzato che il distacco della pala dal rotore avvenga alla velocità di rotazione massima del “Dynamic Operation Range” della macchina.

Pertanto, la velocità di rotazione del rotore considerata al momento della rottura della pala sono le seguenti:

- V80-2,0MW è pari a 20 RPM;
- V90-1,8/2,0MW è pari a 17 RPM;
- V90-3,0MW è pari a 18,4 RPM;
- V100-1,8/2,0MW è pari a 16,6 RPM;
- V100-2,0MW è pari a 14,9 RPM;
- V100-2,6MW è pari a 13,38 RPM;
- V110-2,0MW è pari a 14,9 RPM;
- V112-3,0/3,3MW è pari a 17,7 RPM.
- V117-3,3MW è pari a 17,7 RPM.
- V126-3,3MW è pari a 16,5 RPM.

5 Forze agenti sulla traiettoria pala

Le ipotesi fatte in questo studio considerano il caso peggiore, esso avviene quando la pala si distacca dal rotore con un angolo di 45° sul piano verticale (cioè 135° azimut). La determinazione delle forze e dei momenti agenti sulla pala a causa di una rottura istantanea durante il moto rotazionale è molto complessa. La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dalle forze generalizzate inerziali agenti sulla pala. Queste includono anche, per esempio, oltre all'impulso anche i momenti di flapwise, edgewise e pitchwise agenti al momento del distacco. La pala, quindi, quando inizierà il suo moto continuerà a ruotare (conservazione della quantità di moto). L'unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità. La durata del volo considerato è determinata considerando la velocità verticale iniziale applicata al centro di gravità. Il tempo risultante è usato per calcolare la distanza orizzontale (gittata) nel piano e fuori dal piano. La gittata è determinata dalla velocità orizzontale al momento del distacco. Le forze inerziali sono modellate considerando un flusso irrotazionale e stazionario.

6 Caratteristiche della pala

Le caratteristiche delle pale, input della simulazione, sono riportate in tabella.

| WTG type | (Outboard) Section of blade | Plan area Plane XY m ² | Plan area Plane XZ m ² | Plan area Plane YZ m ² | Mass kg |
|----------------|--------------------------------|---|---|---|------------|
| V80-2,0MW | 39 | 81,46 | 22,8 | 2,38 | 6300 |
| V90-1,8/2,0MW | 44 | 87,84 | 25,69 | 2,37 | 6700 |
| V90-3,0MW | 44 | 87,84 | 25,69 | 2,37 | 6700 |
| V100-1,8/2,0MW | 49 | - | - | - | 7700 |
| V100-2,0MW | 49 | - | - | - | - |
| V100-2,6MW | 49 | - | - | - | 7700 |
| V110-2,0MW | 54 | - | - | - | - |
| V112-3,0/3,3MW | 54,6 | - | - | - | 12300 |
| V117-3,3MW | 57,15 | - | - | - | - |
| V126-3,3MW | 61,66 | - | - | - | - |

7 Casi di studio

Tutte le condizioni di rottura sono state assunte avvenire quando il rotore è in posizione upwind e con una velocità del vento pari a 25m/s. Questa condizione è anch'essa conservativa in quanto dà la massima gittata fuori dal piano. Sono state calcolate tre traiettorie nelle seguenti ipotesi:

7.1 CASO 1: MOTO IRROTAZIONALE

Assenza di moti intorno agli assi XX, YY e ZZ. L'asse XX è allineato con la traiettoria. L'asse YY giace sul piano verticale. Questa ulteriore assunzione fa sì che questo caso sia il peggiore ipotizzabile, in quanto definisce la condizione ideale di massima gittata. Quindi:

- Nessuna forza di portanza agisce nella direzione in-plane;
- La massima resistenza è generata nella direzione out-of-plane;
- La resistenza nel piano agisce sulla sezione nel piano XZ.

7.2 CASO 2: MOTO IRROTAZIONALE

L'asse XX è allineato con la traiettoria. L'asse YY giace sul piano orizzontale. Quando la pala ha raggiunto questa posizione non ci sono ulteriori moti intorno agli assi XX, YY e ZZ.. In questo caso la traiettoria risultante è del tipo "a giavellotto". Questa ulteriore assunzione fa sì che questo caso sia il caso teorico peggiore ipotizzabile, in quanto definisce la condizione ideale di massima gittata. Quindi:

- La traiettoria in alto è aumentata dalla forza di portanza generata dalla pala, per cui la gittata è maggiore che in assenza di portanza.

Tre casi sono stati modellati:

- Caso 2a. L'effetto della portanza sul tempo di volo è zero. La soluzione (approssimata) per questo è data dal caso 1 solo nella direzione in-plane.
- Caso 2b. L'effetto della portanza sul tempo di volo è aumentato del 5%.
- Caso 2c. L'effetto della portanza sul tempo di volo è aumentato del 5%, in questo caso si ottiene il maggior tempo di volo.

7.3 CASO 3: MOTO ROTAZIONALE COMPLESSO

In questo caso si studia il moto della pala al distacco del rotore nel suo complesso considerando anche i moti di rotazione intorno agli assi XX, YY e ZZ. Questo caso è il caso più reale della traiettoria di una pala. La rotazione della pala intorno all'asse ZZ è causata dalla conservazione del momento della quantità di moto. L'incidenza del vento out-of-plane sulla pala genera un momento intorno all'asse YY (centro di massa e centro aerodinamico della pala non sono coincidenti). Il vento incidente out-of-plane sulla pala genera ancora un momento intorno all'asse XX (centro di massa della sezione di pala lungo la corda non coincide con il centro aerodinamico). La resistenza della pala sia in-plane che out-of-plane è generata dalla rotazione intorno agli assi XX e YY. Per semplificare lo studio si è assunta l'area della pala pari alla stessa in direzione XY

moltiplicata per il quadrato del coseno di 45° . La portanza in-plane è generata dalla rotazione intorno al piano XX. In questo caso si è assunto un aumento del 10% del tempo di volo dovuto alla portanza.

Tre casi sono stati modellati per tener conto dell'effettivo valore della resistenza:

- Caso 3a. C_d (in-plane e out-of-plane) = 0,5
- Caso 3b. C_d (in-plane e out-of-plane) = 1,0
- Caso 3c. C_d (in-plane e out-of-plane) = 1,5

8 Esperienze e note statistiche

E' necessario enfatizzare che dal punto di vista progettuale la combinazione di coefficienti di sicurezza per i carichi, i materiali utilizzati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura rispettano quanto prescritto dalla norma IEC61400-1. In accordo a tale norma le pale degli aerogeneratori sono considerate "fail safe".

Questo paragrafo è stato redatto al fine di presentare alcuni degli elementi fondamentali per valutare la reale possibilità del distacco di una pala dagli aerogeneratori Vestas.

L'esperienza pratica su tutta la flotta operativa (relativa alle sole turbine considerate nel presente report) di 15679 unità ha mostrato che in caso di distacco di pala il moto è stato di tipo "rotazionale complesso" e le distanze raggiunte sono normalmente state inferiori a quelle stimate con i calcoli semplificati qui riportati.

Eventi di distacco di una sezione di pala non si sono verificati a tutt'oggi sulle turbine installate per i modelli considerati nel presente report.

Tralasciando gli incidenti dovuti a cause eccezionali (uragani, tifoni), nei successivi paragrafi sono descritti alcuni eventi e la valutazione tecnica alla base dell'analisi dei rischi sviluppata per eliminare la possibilità di reiterazione dell'incidente.

8.1 DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE

Questo tipo d'incidente, che comporta il distacco di una pala completa dal rotore dell'aerogeneratore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala e il mozzo.

In occasione di tali tipi di evento, la pala ha raggiunto il terreno a una distanza inferiore ai cento metri.

Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posta all'interno della pala e da una parte esterna (gusci) che ha sostanzialmente la funzione di forma del profilo. Le tre parti, il longherone e i due gusci, sono unite fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.

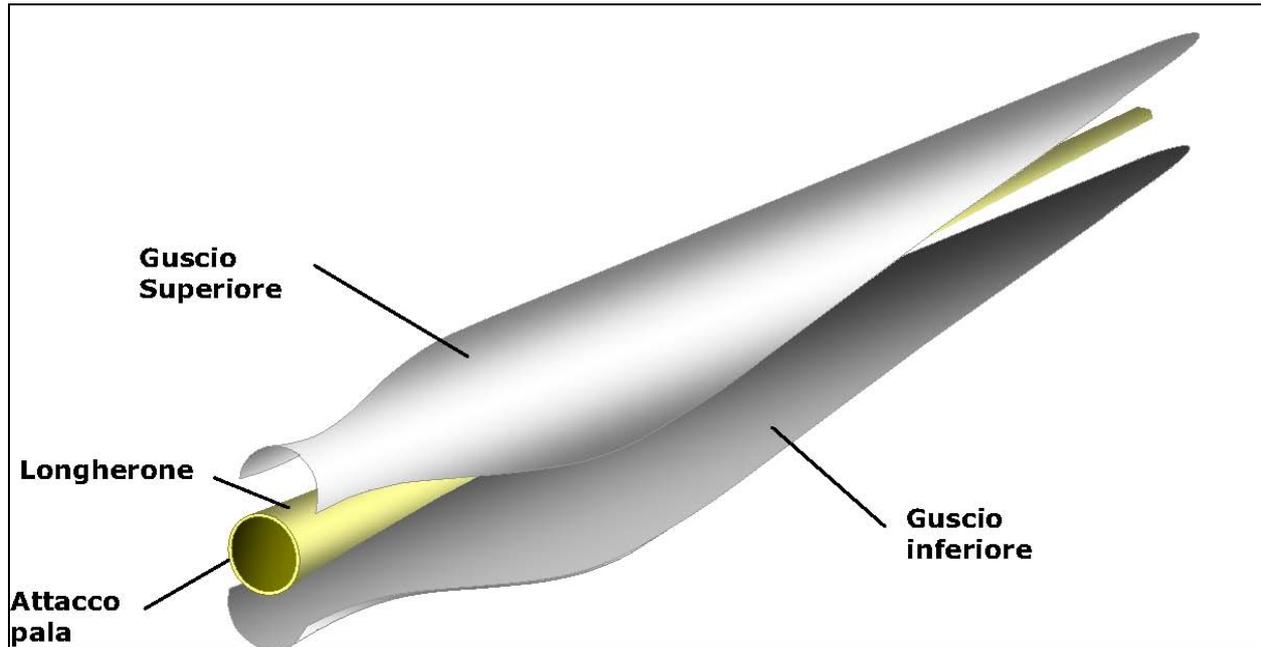


Figura 1: Schema strutturale di una pala eolica

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l'installazione della turbina. Il precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica e, per questo motivo, è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

L'evento si è manifestato a causa di incorretti interventi di manutenzione programmata cui l'aerogeneratore va sottoposto così come riportato nel manuale del costruttore: l'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono aver determinato la rottura per fatica dei prigionieri ed al distacco della pala.

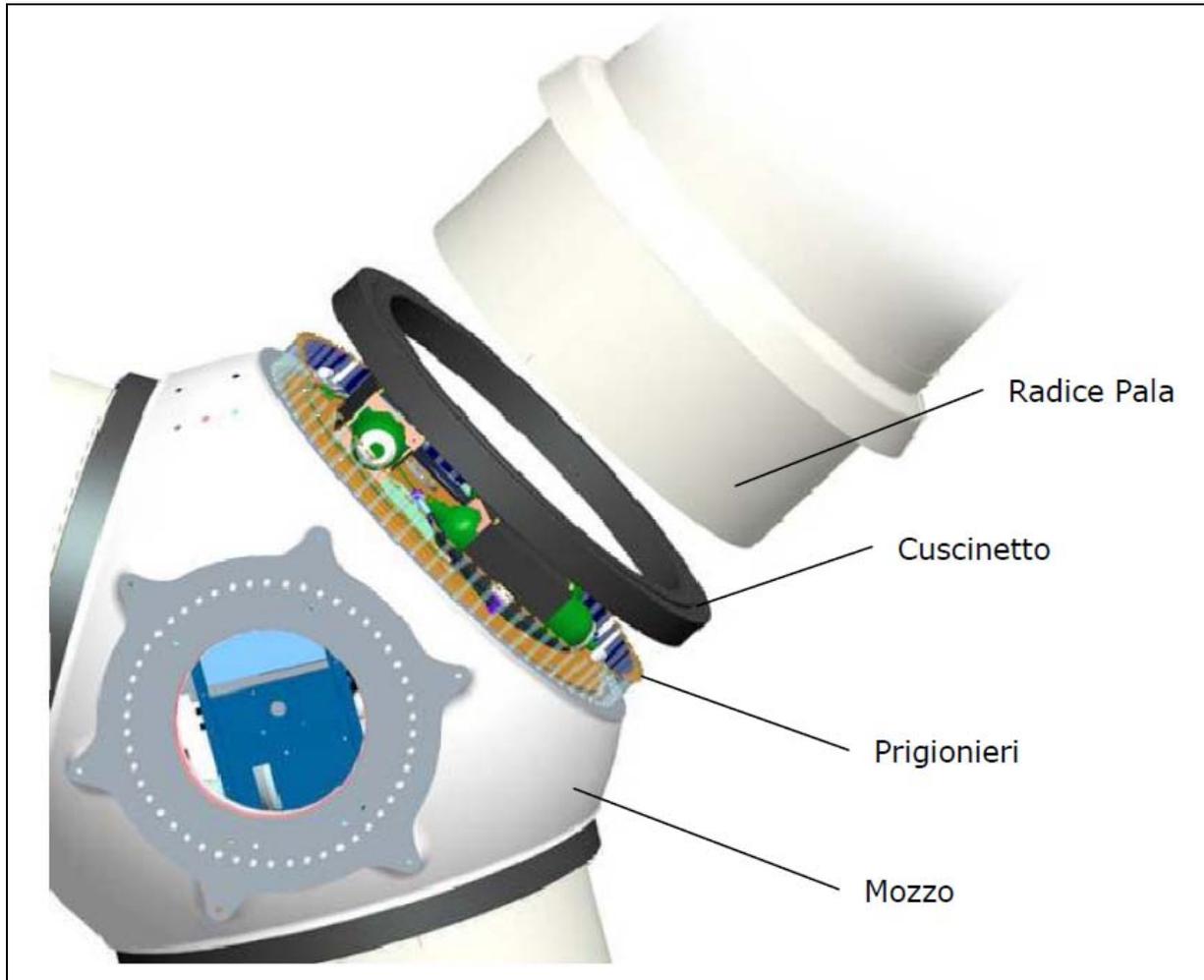


Figura 2: Dettagli dell'attacco di una pala al mozzo.

8.2 ROTTURA (APERTURA) DELL'ESTREMITÀ DI PALA

Questo tipo d'incidente si è spesso manifestato in concomitanza di fulminazioni di natura atmosferica.

Tutte le pale prodotte dalla Vestas sono dotate di un sistema di drenaggio della corrente di fulmine costituito da recettori metallici posti all'estremità di pala e lungo l'apertura della pala, da un cavo che collega i recettori alla radice pala e da un sistema di messa a terra. In questo modo si riesce a drenare una buona parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche senza danni alle pale.

In qualche caso, in cui la corrente di fulmine ha presumibilmente ecceduto i limiti progettuali (fissati dalle norme internazionali) si può manifestare un danneggiamento all'estremità di pala che si apre per la separazione dei due gusci, ma che, normalmente, non si distacca dal corpo della pala.

Eventuali residui o frammenti di guscio dovuti a un evento ceraunico hanno dimensioni e pesi così esigui da non permettere valutazioni circa eventuali traiettorie e gittate. Queste sono comunque determinate quasi esclusivamente dal trasporto degli stessi ad opera del vento.

Vestas Italia S.r.l.

Via Tirso 14, 00198 Roma, Italy
Tel: +39 099 4606 111, Fax: +39 099 4606 333, vestas-italia@vestas.com, www.vestas.com
Capital share: EUR 3,000,000.00 i.v., Company Reg. No.: 02170340737 presso il Registro Imprese di Roma N., REA 1192488
C.F./P.IVA 02170340737, Company Reg. Name: Vestas Italia S.r.l.
Società a socio unico soggetta a direzione e coordinamento di Vestas Wind Systems A/S ex c.c. artt. 2497 ss
Company with a sole quota holder subject to direction & coordination of Vestas Wind Systems A/S per Article 2497 ff. of the Italian Civil Code



Figura 3: Estremità di pala danneggiata da fulminazione atmosferica.

9 Conclusioni

I Casi 1, 2a, 2b e 2c dimostrano che, se la traiettoria di volo è ‘irrotazionale’, allora la distanza raggiunta dalla pala da 39 m (V80-2,0MW) sarà di ca. 125 m, dalla pala da 44m (V90-1,8/2,0MW) sarà di ca. 90 m, dalla pala da 44 m (V90-3,0MW) sarà di ca. 105 m, dalla pala da 49m (V100-1,8/2,0MW) sarà di ca.100 m, dalla pala da 49m (V100-2,0MW) sarà di ca.85 m, dalla pala da 49 m (V100-2,6MW) sarà di ca. 75 m, dalla pala da 54m (V110-2,0MW) sarà di ca.95 m (100 m), dalla pala da 54.6m (V112 3,0/3,3 MW) sarà di ca. 120 m (135 m), dalla pala da 57,15m (V117-3,0MW) sarà di ca. 135 m (145 m) mentre dalla pala da 61,66 m (V126-3,3 MW) sarà ca. 140 m (150 m) . Il caso peggiore per la gittata è il caso 1 (2a) per il tempo invece è il 2c. Il Caso 3 mostra che, quando il flusso è rotazionale, la distanza raggiunta dalla pala sarà di ca. 99.6m per la V80-2,0MW.

Il caso reale da considerare è il caso 3 per cui si può concludere che la gittata di una pala di una V80-2,0MW (39 m di lunghezza) è di ca. 99.6m, di una V90-1.8/2.0MW (44 m di lunghezza) sarà di ca. 75 m, di una V90-3,0MW (44 m di lunghezza) sarà di ca. 85 m, di una V100-1,8/2,0MW (49 m di lunghezza) sarà di ca. 80 m, di una V100-2,0MW (49 m di lunghezza) sarà di ca. 70 m, di una V100-2.6MW (49 m di lunghezza) sarà di ca. 60, di una V110-2,0MW (54 m di lunghezza) sarà di ca. 75 m (80 m), di una V112-3,0/3,3MW (54,6 m di lunghezza) sarà di ca. 95 m (110m) e di una V117-3,3MW (57,15 m di lunghezza) sarà di ca. 110 m (115 m) e di una V126-3,3MW (61,66 m di lunghezza) sarà di ca. 115m (120 m) (20% in meno della gittata nel caso ideale, caso 1).

Dalle note operative espone si può concludere che ha senso effettuare un calcolo di gittata della pala intera in quanto esiste un punto di discontinuità, l’attacco bullonato che unisce la pala al mozzo, ed esiste un’ipotesi, seppur remota, sulla possibilità di cedimento di tale attacco. Mentre l’effetto di distacco di una porzione della pala è escluso, considerate le caratteristiche meccaniche della pala, ovvero, una struttura monolitica della trave di sostegno che rimane vincolata al mozzo attraverso una collegamento bullonato.

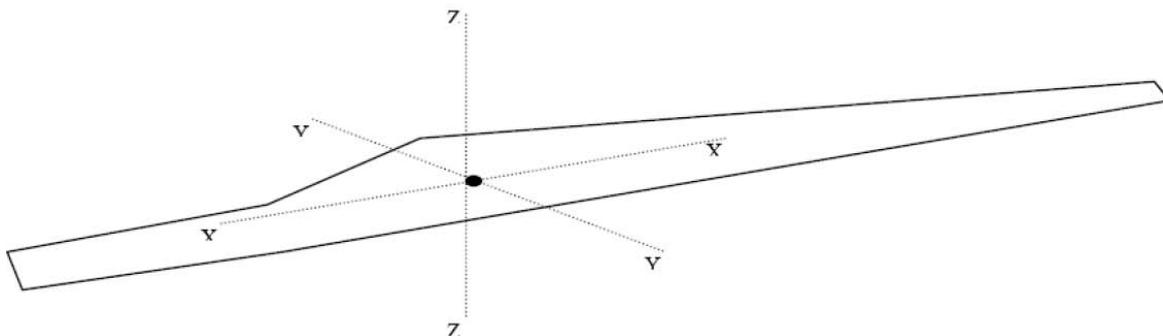


Figura 4: Sistema di coordinate usato per la pala
(YY – Flapwise; XX – Pitchwise; ZZ – Edgewise)

10 Riferimenti

“Blade throw calculation under normal operating conditions” VESTAS AS Denmark July 2001

Vestas Italia S.r.l.

Via Tirso 14, 00198 Roma, Italy
Tel: +39 099 4606 111, Fax: +39 099 4606 333, vestas-italia@vestas.com, www.vestas.com
Capital share: EUR 3,000,000.00 i.v., Company Reg. No.: 02170340737 presso il Registro Imprese di Roma N., REA 1192488
C.F./P.IVA 02170340737, Company Reg. Name: Vestas Italia S.r.l.
Società a socio unico soggetta a direzione e coordinamento di Vestas Wind Systems A/S ex c.c. artt. 2497 ss
Company with a sole quota holder subject to direction & coordination of Vestas Wind Systems A/S per Article 2497 ff. of the Italian Civil Code

11 Appendice

| Caso 3 | Pala V80 2,0MW | Pala V90 1,8/2,0MW | Pala V90 3,0MW | Pala V100 1,8/2,0MW | Pala V100 2,0MW | Pala V100 2,6MW | Pala V110 2,0MW HH95 | Pala V110 2,0MW HH125 |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Velocità di rotazione | 20 | 17 | 18,4 | 16,6 | 14,9 | 13,4 | 14,9 | 14,9 |
| Tempo di volo | 7,6 | 7 | 7.5 | 7 | 6,5 | 7 | 6,5 | 7 |
| Distanza Vettoriale | 99,6 | 75 | 85 | 80 | 70 | 60 | 75 | 80 |

| Caso 3 | Pala V112 3,0/3,3MW HH94 | Pala V112 3,0/3,3MW HH119 | Pala V117 3,3MW HH91.5 | Pala V117 3,3MW HH116,5 | Pala V126 3,3MW HH117 | Pala V126 3,3MW HH137 |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Velocità di rotazione | 17,7 | 17,7 | 17,7 | 17,7 | 16,5 | 16,5 |
| Tempo di volo | 7 | 8 | 7,5 | 7,5 | 7,6 | 8,0 |
| Distanza Vettoriale | 95 | 110 | 110 | 115 | 115 | 120 |

Gli altri casi sono stati studiati solo per la V80-2,0MW quindi non sono rilevanti per il caso in questione.