

REGIONE CAMPANIA
Provincia di Avellino
COMUNI DI Andretta (AV) – Bisaccia (AV)

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

ERG Wind 4



PROGETTISTA:



GOLDER
Via Sante Bargellini, 4
00157 - Roma (RM)



OGGETTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	07/2019	/	1 di 16	A4	BIS	ENG	REL	0005	00

NOME FILE: BIS.ENG.REL.0005.00_Relazione sui possibili incidenti.doc

ERG Wind 4 2 S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	2
BIS	ENG	REL	0005	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	07/2019	PRIMA EMISSIONE	MGL	LSP	VBR

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	3
BIS	ENG	REL	0005	00		

INDICE

1. PREMESSA	4
2. CENNI SUL FUNZIONAMENTO DI UN AEROGENERATORE	6
3. CLASSI DI INCIDENTI.....	9
3.1. ROTTURA/DEFORMAZIONE DELLA TORRE E SUO SCALZAMENTO.....	9
3.2. EVENTI INCIDENTALI DA LANCIO DI GHIACCIO.....	10
3.3. FULMINAZIONE E FUOCO.....	10
3.4. INCIDENTI PER COLLISIONI CON CORPI ESTRANEI	11
3.5. INCIDENTI STRADALI PER PRESENZA FISICA DELL'AEROGENERATORE.....	11
3.6. INCIDENTI PER COLLISIONI CON AVIFAUNA	11
3.7. INCIDENTI MECCANICI.....	12
3.7.1. ROTTURA DELLA PALA	12
4. PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	16
5. MITIGAZIONE DEGLI INCIDENTI.....	17

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	4
BIS	ENG	REL	0005	00		

1. PREMESSA

La società Golder è stata incaricata di redigere il progetto relativo al potenziamento di un impianto eolico esistente con aerogeneratori ubicati nei comuni di Andretta (AV) e di Bisaccia (AV) in Regione Campania, con relative opere di connessione che si sviluppano nei suddetti comuni.

Attualmente l'impianto è connesso all'esistente stazione elettrica di trasformazione 150/20 kV "Bisaccia", ubicata nel Comune di Bisaccia (AV). Tuttavia, visto l'incremento di potenza atteso al termine degli interventi di repowering (circa 33 MW di differenza tra l'impianto esistente in dismissione e la wind farm di progetto) il nuovo impianto si collegherà presso una sottostazione elettrica di nuova realizzazione, ubicata sempre Comune di Bisaccia (AV), ma nelle immediate vicinanze dell'esistente sottostazione 380/150 kV Terna.

L'impianto esistente in dismissione è di proprietà della società del Gruppo ERG Wind 4 Srl.

Nello specifico, l'impianto di Andretta - Bisaccia è composto da 47 aerogeneratori tripala modello Vestas V-47, con torre tralicciata, di cui n.30 con potenza nominale pari a 0,66 MW e n.17 con potenza nominale pari a 0,60 MW, per una potenza complessiva di 30 MW.

L'impianto, attualmente in esercizio, è collegato tramite cavidotti interrati all'esistente stazione elettrica di Bisaccia.

Il presente progetto consisterà dunque in:

- dismissione dei 47 aerogeneratori esistenti dell'impianto di Andretta - Bisaccia (potenza in dismissione pari a 30 MW) e delle relative opere accessorie, oltre che nella rimozione dei cavidotti attualmente in esercizio;
- realizzazione nelle stesse aree di un nuovo impianto eolico costituito da 14 aerogeneratori e relative opere accessorie per una potenza complessiva di 63 MW. In particolare, l'impianto sarà costituito da aerogeneratori della potenza unitaria di 4,5 MW, diametro del rotore massimo di 150 m ed altezza massima complessiva di 180 m;
- sostituzione dei cavidotti esistenti con cavi adatti alla nuova potenza. Il tracciato di progetto, completamente interrato, seguirà per la maggior parte il percorso esistente ad eccezione di:
 - piccoli tratti realizzati ex-novo al fine di ottimizzare il percorso dei cavidotti;
 - il nuovo tracciato necessario per il collegamento delle WTG denominate R-BS11, R-BS12 e R-BS13 alla SSE utente di nuova realizzazione nel Comune di Bisaccia, che seguirà un percorso diverso rispetto all'esistente per ridurre la lunghezza e conseguentemente le perdite elettriche in fase di esercizio;

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	5
BIS	ENG	REL	0005	00		

- La costruzione di una nuova sottostazione elettrica utente per la connessione alla RTN. La SSE di progetto rappresenterà il punto di arrivo dei cavi MT e di partenza del cavo di collegamento AT verso la sottostazione Terna esistente.

L'installazione di pochi ma più moderni aerogeneratori in sostituzione di diverse turbine di vecchissima concezione comporterà non solo un incremento dei rendimenti energetici degli impianti, ma anche un considerevole miglioramento degli impatti ambientali connessi a questo tipo di installazioni.

Inoltre, l'incremento di efficienza delle turbine previste rispetto a quelle in esercizio porterà ad un ampliamento del tempo di generazione ed un aumento della produzione unitaria media.

La presente relazione ha come oggetto la descrizione dei rischi potenziali legati all'esistenza ed al funzionamento dell'impianto eolico e la valutazione delle relative probabilità di accadimento in fase di realizzazione e soprattutto di esercizio dell'impianto, di incidenti di natura umana, meccanica e naturale.

La presenza di corpi pesanti in movimento e la vicinanza di linee elettriche in media tensione rappresentano i principali rischi potenziali studiati nel seguito della presente relazione.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	6
BIS	ENG	REL	0005	00		

2. CENNI SUL FUNZIONAMENTO DI UN AEROGENERATORE

L'aerogeneratore è una macchina rotante che trasforma l'energia cinetica del vento in energia elettrica, essenzialmente costituito da una torre, dalla navicella e dal rotore.

Nel dettaglio, le pale sono fissate su un mozzo e costituiscono nel loro insieme il rotore.

Il mozzo, a sua volta, è collegato alla trasmissione attraverso un supporto in acciaio con cuscinetti a rulli a lubrificazione continua. La trasmissione è collegata al generatore elettrico con l'interposizione di un freno di arresto.

Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione del rotore e del mozzo, sono ubicati all'interno di una cabina, detta navicella, realizzata in carpenteria metallica di ghisa-acciaio e ricoperta in vetroresina. Questa, a sua volta, è sistemata su un supporto-cuscinetto in modo da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento. Un sistema di controllo, inoltre, permette di variare la potenza prodotta ruotando le pale intorno al proprio asse principale ed orientando la navicella, mediante il controllo dell'imbardata, che permette l'allineamento della macchina rispetto alla direzione principale del vento.

Il rotore tripala a passo variabile è realizzato in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro, con mozzo rigido in acciaio.

La torre di forma tubolare tronco-conica è in acciaio. La struttura internamente è rivestita in materiale plastico ed è provvista di scala a pioli in alluminio per garantire l'accessibilità in fase di manutenzione.

Le indicazioni tecniche dell'aerogeneratore descritto sono generiche e non riferite ad una specifica tipologia di prodotto in commercio.

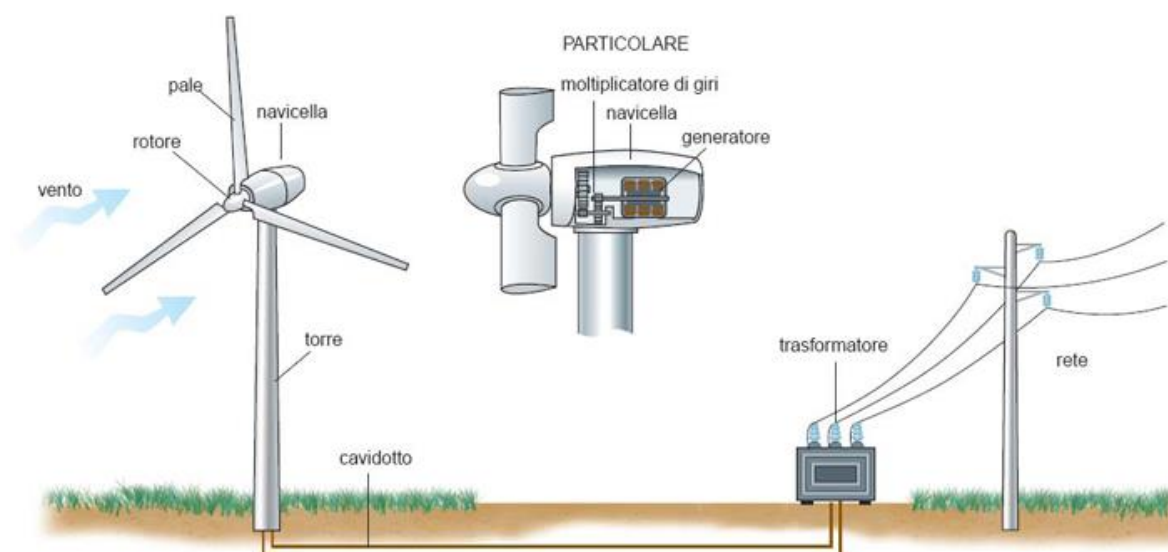


Figura 1 – Elementi tipici di un aerogeneratore.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	7
BIS	ENG	REL	0005	00		

Per le valutazioni contenute all'interno della presente relazione è stato considerato un modello di aerogeneratore con le caratteristiche geometriche riportate nella tabella seguente.

In fase esecutiva verrà individuato un modello di macchina tra quelli commercialmente disponibili, con caratteristiche geometriche conformi ai valori considerati.

Tabella 1 – Specifiche tecniche delle macchine virtuali

Parametri macchine virtuali					
Sito	Diametro [m]	Area spazzata [m ²]	Velocità rotazione [rpm]	N°pale	Altezza hub [m]
Andretta	150	17671	12,3	3	105
Bisaccia	150	17671	12,3	3	105

La figura seguente evidenzia in maniera esemplificativa il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento.

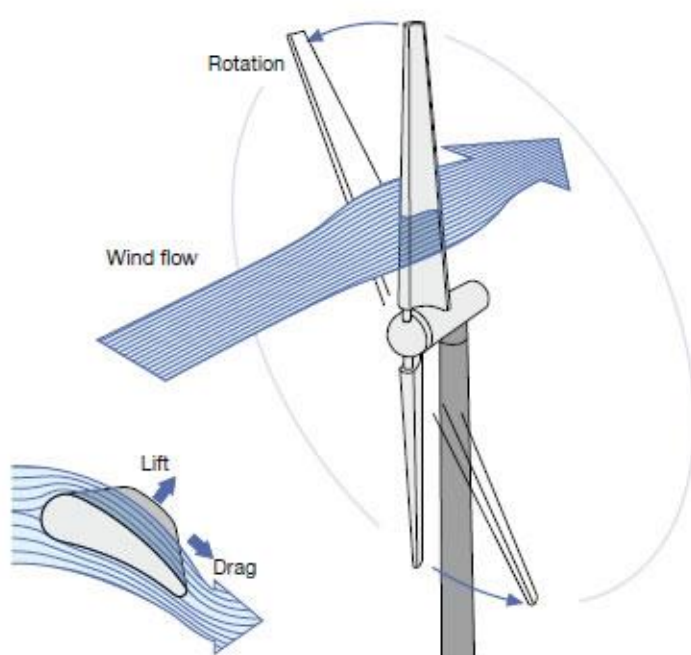


Figura 2- Relazione tra direzione del vento e rotazione delle pale

Questa considerazione permetterà di definire in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto alla direzione del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano.

La composizione di tali componenti di moto permette di ottenere la traiettoria complessiva e di conseguenza la direzione del moto del corpo che si distacca dall'aerogeneratore. La correlazione

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	8
BIS	ENG	REL	0005	00		

tra la traiettoria così calcolata e la corografia dell'area circostante evidenzia il grado di rischio per la strada e/o altri edifici posti in prossimità della torre eolica di progetto.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	9
BIS	ENG	REL	0005	00		

3. CLASSI DI INCIDENTI

Gli incidenti che influiscono negativamente sulla costruzione ed il funzionamento degli aerogeneratori sono provocati per la maggior parte da cause naturali (eccesso di vento, formazione di ghiaccio, ecc). Tuttavia, azioni umane inconsulte ed impreviste (indicate genericamente come errore umano) non possono essere completamente escluse dal novero delle cause di fenomeni spiacevoli, dannosi per le cose e pericolosi per la vita umana.

In termini temporali, benché eventi negativi possano verificarsi nelle fasi di avvio e di dismissione dell'impianto eolico, la maggior frequenza di incidenti si concentrerà nella fase di funzionamento, caratterizzata da un'estensione temporale molto più ampia (di decine di anni) e da una maggiore combinazione di azioni, in grado di influenzare il comportamento strutturale e funzionale dell'aerogeneratore.

Per questo motivo, nel seguito del presente capitolo si procederà ad una descrizione delle diverse tipologie di incidenti secondo una rigorosa classificazione.

3.1. ROTTURA/DEFORMAZIONE DELLA TORRE E SUO SCALZAMENTO

La distruzione della pala o di suoi frammenti può determinare lo sviluppo di un moto regolare fino al contatto con il piano campagna oppure, in alcuni casi, portare all'interazione dell'elemento rotante con altre porzioni della torre eolica.

L'urto anelastico che ne consegue può:

- provocare una lesione locale con deformazione della sezione strutturale ed eventuale ripercussione sulla stabilità della navicella, che a sua volta potrebbe essere catapultata a terra (*rovesciamento della navicella*);
- incidere più profondamente sulla struttura dell'aerogeneratore sino a determinare un'inflessione della torre, che essendo caratterizzata da una relativa snellezza (a causa dello sviluppo in altezza) potrebbe subire l'abbattimento della sua parte superiore.

Tuttavia, mentre nel primo caso il crollo a terra della navicella è possibile ma non certo, nel secondo sicuramente la parte superiore della torre (compresa la navicella) crollerà. L'insieme delle forze statiche e dinamiche (azione del vento, vibrazioni comunicate dai carichi a quote superiori, come navicella, rotore e pale, che risulteranno fuori controllo ecc) possono infatti portare a rottura e/o crollo della torre. La mitigazione del rischio legato a tale incidente, attraverso la modifica dei parametri progettuali, tuttavia, comporta incrementi nei pesi delle strutture (per maggiori spessori, scelta di sezioni staticamente più performanti, inserimento di irrigidimenti, ecc) e maggiorazioni dei costi di realizzazione tali da ritenere più conveniente, nell'analisi costi/benefici, l'accettazione del rischio durante la fase di funzionamento dell'impianto.

Più radicale e grave risulta, invece, la distruzione dell'aerogeneratore a seguito del ribaltamento

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	10
BIS	ENG	REL	0005	00		

completo dell'insieme turbina-fondazione. In tal caso, il momento flettente generato alla base della torre eolica dal carico di vento distribuito lungo il corpo del generatore risulterà non adeguatamente contrastato dall'azione anti-ribaltante del blocco di fondazione, evidentemente sottodimensionato per i carichi in gioco.

Parallelamente ai carichi generati dall'azione del vento, il blocco di fondazione è chiamato a sopportare anche le sollecitazioni dovute ad eventi sismici, che possono essere di varia natura: forze verticali lungo l'asse della torre nel caso di terremoto sussultorio; forze orizzontali qualora il terremoto sia di tipo ondulatorio; infine momenti flettenti nell'eventualità che l'aerogeneratore sia soggetto all'azione combinata di un terremoto ondulatorio-sussultorio.

Il rischio legato ad incidenti di questo tipo può essere adeguatamente mitigato grazie al corretto dimensionamento della struttura di fondazione, in accordo con le indicazioni normative vigenti, valutando in maniera adeguata i carichi (anche eccezionali) in gioco e le proprietà chimico-fisiche dei terreni interessati dall'opera. Ad una corretta progettazione dell'opera si affianca anche un'esecuzione a regola d'arte della struttura in fase di costruzione.

3.2. EVENTI INCIDENTALI DA LANCIO DI GHIACCIO

L'ubicazione dell'impianto eolico di progetto in un'area appenninica a quota superiore a 600 m s.l.m. caratterizzata da stagioni invernali particolarmente fredde, seppur non molto durature, porta a non escludere il rischio legato alla formazione di ghiaccio lungo le pale, né l'eventualità di cadute o lanci di frammenti ghiacciati dagli aerogeneratori.

Le distanze raggiungibili dal corpo estraneo dipendono da diversi fattori quali: dimensioni, conformazione e consistenza della massa ghiacciata, forza centrifuga raggiunta dalle pale (funzione della velocità di rotazione delle stesse), altezza della torre, punto dell'area spazzata dal rotore in cui avviene il distacco della massa, ecc. Le caratteristiche dell'area circostante la turbina (presenza di elementi da preservare, frequentazione umana ecc) ha un ruolo fondamentale nella valutazione del rischio di lesioni. Nel caso in oggetto, infatti, benché le caratteristiche climatiche portino ad ipotizzare la probabilità di formazione di ghiaccio sulle pale nei periodi invernali, l'assenza di elementi sensibili e/o aree ad elevata frequentazione umana permettono di considerare accettabile il rischio legato ad eventuali fenomeni di distacco delle masse ghiacciate.

3.3. FULMINAZIONE E FUOCO

Nel caso di incidente prodotto dalla caduta di un fulmine sulla turbina eolica, non potendo neutralizzare le cause naturali, sarà necessario analizzare e studiare provvedimenti volti ad attenuare gli effetti dell'incidente stesso.

Conseguenza della caduta potrebbe essere una rottura (ad esempio di una pala) oppure l'innesco

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	11
BIS	ENG	REL	0005	00		

di un incendio per la presenza di sostanze infiammabili (come il materiale delle pale, l'olio per raffreddamento contenuto nella navicella, vapori combustibili, ecc.) presenti nell'aerogeneratore. Spesso, ad incendio divampato il rotore continua a funzionare per il danneggiamento del sistema di controllo della turbina e le pale continuano a ruotare, fintanto che le fiamme non le disintegrano completamente.

In tali situazioni pezzi di varie dimensioni, incendiati e/o roventi, sono lanciati a distanza dalla base della struttura. Non potendo, per l'altezza della torre, provvedere all'estinzione del fuoco, l'operato delle Autorità (vigili del fuoco, polizia ecc.) si limiterà a circoscrivere l'area interessata dalla possibile caduta di frammenti fino al completo esaurimento dell'incendio, in modo da preservare persone e cose da eventuali danneggiamenti.

Le misure di mitigazione del rischio legato a questa tipologia di incendio sono ancora una volta ottenute attraverso la scelta dell'ubicazione degli aerogeneratori ad adeguata distanza da fabbricati e/o strade ad alta frequentazione caratterizzate da presenza di "recettori" sensibili.

3.4. INCIDENTI PER COLLISIONI CON CORPI ESTRANEI

L'aerogeneratore rappresenta nel paesaggio in cui viene ad inserirsi, un ostacolo, mobile e sottile, di quasi 200 m di altezza su cui corpi aerei estranei (come droni, alianti, ecc) potrebbero collidere. La probabilità di accadimento di un simile incidente, tuttavia, risulta piuttosto ridotta, tanto più che trattandosi di un progetto di repowering di impianti eolici esistenti, la presenza di ostacoli nell'area di interesse è ormai consolidata da decenni e non rappresenta un elemento di novità del paesaggio. L'installazione di segnali luminosi sulla navicella dell'aerogeneratore e la coloritura a bande rosse delle estremità delle pale, inoltre, garantiscono l'adeguata segnalazione della torre sia in condizioni diurne che notturne, riducendo ulteriormente il rischio di collisione.

3.5. INCIDENTI STRADALI PER PRESENZA FISICA DELL'AEROGENERATORE

La presenza fisica della torre eolica nelle vicinanze della viabilità esistente potrebbe essere un elemento di disturbo per i guidatori, sviandone l'attenzione dalla guida e rappresentando una causa indiretta di incidenti stradali e/o fuori strada. Tuttavia, anche in questo caso, trattandosi di repowering di un impianto esistente la presenza degli aerogeneratori si può considerare come un elemento consolidato del paesaggio esistente, ormai riconosciuto dalla popolazione locale e tale da non rappresentare più un elemento di disturbo all'attenzione dei guidatori.

3.6. INCIDENTI PER COLLISIONI CON AVIFAUNA

L'interazione dell'impianto eolico di progetto con l'avifauna stanziale o di passaggio rappresenta

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	12
BIS	ENG	REL	0005	00		

uno degli aspetti principali di impatto dell'opera da realizzarsi con la componente faunistica esistente.

In particolare, sia per le specie locali, che per le migratorie, transitanti nell'area di studio solo in alcuni periodi dell'anno, le torri eoliche rappresentano ostacoli al volo e causa di possibili collisioni. Per tale motivo la società proponente prevede l'esecuzione di campagne di monitoraggio ad hoc, sia prima che nel corso della vita utile dell'impianto, al fine di valutare l'impatto che la costruzione dell'impianto determinerà sull'avifauna presente.

Rimandando all'elaborato "*BIS.ENG.REL.0022 - Valutazione di Incidenza VINCA*" per gli elementi specifici di analisi del caso in oggetto, si sottolinea che la natura di repowering del presente progetto riduce sicuramente l'impatto prodotto dagli aerogeneratori di progetto, tanto più che la sostituzione delle macchine attuali con altre di taglia maggiore, portando a velocità di rotazione decrescenti delle pale, determinerà un miglioramento della visibilità dell'ostacolo da parte dei volatili, portando ad una riduzione dei decessi.

3.7. INCIDENTI MECCANICI

Gli eventi incidentali di natura meccanica rappresentano sicuramente la classe di incidenti più ampia che possa interessare un impianto eolico. Essenzialmente legati al carattere mobile degli elementi meccanici costituenti l'aerogeneratore possono essere classificati come segue:

- separazione della pala dal rotore e/o rottura della stessa;
- deformazione di pala non separatasi dal mozzo;
- rottura e caduta di navicella e di torre;
- rovesciamento o abbattimento di turbina;
- lancio di ghiaccio, depositatosi sulle pale;
- collisione con corpi estranei.

3.7.1. Rottura della pala

Le modalità con cui può verificarsi la rottura di una pala possono essere molto diverse tra loro. Si tratta infatti di un organo in rotazione soggetto ad una forza centripeta, che viene ad essere equilibrata dall'azione stabilizzante della struttura portante della torre eolica. Per minimizzare l'entità di tale forza, si procede all'alleggerimento della pala stessa costruendola con materiali compositi con caratteristiche meccaniche tali da far fronte ai carichi aerodinamici imposti.

Si possono distinguere due diversi modalità di rottura:

1. Rottura della pala alla radice
2. Rottura di un frammento di pala

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	13
BIS	ENG	REL	0005	00		

Rottura della pala alla radice

La rottura della pala alla radice è uno degli eventi di rottura storicamente più frequente per il carattere di "criticità" strutturale della sezione di attacco.

Le cause della rottura sono essenzialmente di due tipi:

- La discontinuità strutturale in corrispondenza della sezione di attacco con il passaggio da un carico distribuito sulle fibre alla flangia di attacco, con inevitabili concentrazioni tensionali e conseguente affaticamento strutturale fino alla rottura in condizioni di lungo termine. I costruttori conoscono pienamente tale problema e negli ultimi anni diversi accorgimenti tecnici sono stati introdotti per migliorare le prestazioni strutturali.
- La rottura della giunzione bullonata fra pala e mozzo. Il longherone è infatti dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni serrati opportunamente durante la fase di installazione della turbina. Il precarico conferito ai bulloni durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza fornita dai bulloni stessi ai carichi di fatica e, per questo motivo, è previsto un controllo della forza di serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

Nel caso in cui tali interventi periodici siano compiuti in maniera errata, la riduzione di precarico dei bulloni potrebbe portare alla rottura per fatica degli stessi con conseguente distacco della pala.

Per le ipotesi di base, le formule e la stima della gittata massima dell'intera pala si rimanda all'elaborato "*BIS.ENG.REL.0009 - Relazione gittata massima elementi rotanti*" incluso nel presente progetto.

Frammento di pala

La rottura di un frammento consistente di pala risulta meno frequente. Inoltre, per le caratteristiche del materiale strutturale, tende a presentarsi come una rottura progressiva, con una prima flessione della struttura e conseguente urto contro la torre (posta sottovento nella quasi totalità delle WTG)

La successiva rottura dà luogo a traiettorie varie che non calcolabili in maniera deterministica.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	14
BIS	ENG	REL	0005	00		



Figure 3 - Esempio di rottura di pala senza distacco

Nella maggior parte dei casi il distacco di piccoli frammenti di pala si verifica in concomitanza con fulminazioni di natura atmosferica.

Tale fenomeno ha portato i costruttori di aerogeneratori a dotare le macchine di un sistema di convogliamento della corrente di fulminazione formato da recettori metallici posti lungo la pala, da un cavo di collegamento degli stessi recettori con la radice della pala e da un sistema di messa a terra. In questo modo parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche vengono dissipate senza danneggiare le pale.

Nel caso in cui la corrente di fulmine superi i limiti progettuali (fissati dalle norme internazionali) si può verificare il danneggiamento dell'estremità della pala che si apre per la separazione dei due gusci, ma senza distaccarsi dal corpo della pala stessa.

È possibile che frammenti di guscio si stacchino in queste situazioni, ma si tratta comunque di elementi molto leggeri per i quali non risulta possibile effettuare calcoli di gittata analoghi a quelli effettuati per il corpo di pala. Un'idea dell'ordine di grandezza della distanza raggiunta dai frammenti di pala, si può fare riferimento allo studio "Recommendations of Risk assessment of ice throw and Blade Failure in Ontario – Canadian Wind Energy Association – MP Leblanc – Garrad Hassan". Secondo tale studio, la probabilità che un frammento staccatosi dalla pala vada oltre i 50 m dalla base della torre è dell'ordine di $2 \cdot 10^{-5}$.

In generale, inoltre, nell'ultimo decennio, si è verificato anche una diminuzione del tasso di incidentalità a seguito dell'evoluzione tecnologica e del miglioramento delle macchine eoliche, nonostante l'aumento medio delle loro dimensioni.

Uno studio danese condotto nell'arco di 18 mesi, tra il 1998 ed il 1999, ha effettuato un'analisi su pale, navicelle e torri di 2130 rotor, per una produzione complessiva di 540 MW. Su 3195 anni

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	15
BIS	ENG	REL	0005	00		

cumulati di funzionamento, solo 7 incidenti hanno comportato la distruzione di pale, con un tasso di incidenti di 1 ogni 457 anni-macchina (considerando anche che in Danimarca aumenta il rischio di guasti e sospensioni alla produzione per la presenza di brina e ghiaccio sulle pale). Un altro studio, sempre danese, considerando i dati registrati su 120 mesi tra il 1993 ed il 2003 in un parco di 1912 impianti evidenzia una probabilità di distruzione di 0.00083 impianti per anno. Considerando pertanto la correlazione, in ambito rurale, tra questa statistica e la probabilità di occupazione di un m² di terreno da parte di una persona è evidente che la probabilità globale di danneggiare vite umane a causa del lancio di un frammento risulta molto bassa.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	16
BIS	ENG	REL	0005	00		

4. PROBABILITA' DI ACCADIMENTO

La limitazione dei danni potenziali legati alla realizzazione ed al funzionamento degli aerogeneratori dovrebbe derivare dalla formulazione di criteri, stabiliti da prescrizioni o normative specifiche di settore. L'obiettivo generale è quello di ridurre i possibili danni, derivanti dalle installazioni, ad un rischio residuale tecnico non eliminabile o comunque accettabile.

In mancanza di tali prescrizioni è prassi riferirsi ad una probabilità di rottura di 1006 eventi all'anno, inteso come un limite di soglia da raggiungere o da applicare.

Tale valore è stato per molto tempo applicato agli impianti nucleari, che prima di tutti hanno fatto della sicurezza il paradigma essenziale della loro esistenza nel panorama industriale dei paesi occidentali. È naturale che se in un dato periodo di tempo, tarato generalmente in un anno, non si riconoscono eventi incidentali del tipo considerato, la relativa probabilità di rottura assumerà il valore limite di 1006 eventi/anno.

È ovvio che la probabilità reale di rottura della torre risulta singolarmente superiore. Considerato che tale processo rappresenta il risultato di una catena di eventi, la probabilità totale spettante a tale evento sarà la combinazione delle probabilità spettanti ai meccanismi intermedi, attraverso cui si perviene all'evento finale. Ogni evento individuale della catena è caratterizzato da una probabilità di occasione da cui deriva la relativa probabilità di danno. Questo valore può essere messo in relazione con il valore di soglia, che dipende dall'oggetto individuale da proteggere.

La relazione, che traduce il concetto ora esposto, si basa sulla seguente disuguaglianza:

$$P_{50} > P_1 P_2 P_3 P_4$$

Nella quale per le singole quantità valgono le indicazioni precedenti e precisamente:

- P_{50} è il valore di soglia, che è relativo all'oggetto da difendere e che in linea generale potrebbe essere corrispondente al dato, già discusso in precedenza di 1006 eventi/anno o maggiore
- P_1 è la probabilità di occasione dell'evento incidentale accaduto alla turbina eolica;
- P_2 è la probabilità di occasione dell'urto tra l'oggetto da proteggere e la pala;
- P_3 è la probabilità di occasione della condizione di vento sfavorevole o dei condizionamenti ambientali;
- P_4 è la probabilità di occasione relativa ad altre cause, come tolleranze di costruzione, etc.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE SULL'ANALISI DI POSSIBILI INCIDENTI (DM 10-09-10)	17
BIS	ENG	REL	0005	00		

5. MITIGAZIONE DEGLI INCIDENTI

L'analisi della gittata massima di un frammento distaccatosi o di parte della pala (calcolato nell'elaborato "*BIS.ENG.REL.0009 - Relazione gittata massima elementi rotanti*" a cui si rimanda per gli elementi di dettaglio) dimostra come l'area di possibile impatto risulta costituita da un cerchio con qualche centinaio di metri di raggio e centro nella posizione occupata dalla turbina incidentata.

La mitigazione del rischio legato a possibili incidenti quindi è principalmente legato alla scelta dell'ubicazione di progetto dell'aerogeneratore, lontano da zone frequentate e/o abitate, oppure da altri elementi sensibili di danneggiamento.

D'altro canto, l'allontanamento delle turbine da recettori ha un'importanza fondamentale anche nella mitigazione dell'impatto sonoro e del fenomeno di shadow flickering (anche in questo caso per la descrizione di dettaglio si rimanda alle relazioni specialistiche "*BIS.ENG.REL.0007 - Studio di Impatto Acustico*" e "*BIS.ENG.REL.0008 - Studio di Evoluzione delle ombre*" parti integranti del presente progetto)

La definizione del layout di progetto in accordo con le misure di mitigazione previste dalle Linee Guida Nazionali garantisce la minimizzazione degli impatti e la drastica riduzione dei rischi legati ai possibili incidenti descritti nella presente relazione.