



Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da **fonte eolica**, ai sensi del Dlgs. n.387 del 2003, composto da n°10 aerogeneratori, per una potenza di 60 MW, sito nel comune di **Cellere(VT)**



REGIONE
LAZIO

PROPONENTE



COMUNE DI
CELLERE

Cogein
energy

Cogein Energy S.r.l.

Via Diocleziano, 107 - 80125 Napoli

Tel. 081.19566613 - Fax. 081.7618640

www.newgreen.it

compinvestimenti@libero.it

cogeinenergy@pec.it



COMUNE DI
PIANSANO

ELABORATO

ELAB.26

RELAZIONE SULL'ANALISI DEI
POSSIBILI INCIDENTI



COMUNE DI
ARLENA DI
CASTRO

SCALA

REVISIONE

0

DATA

03/2022

PROGETTAZIONE

Arch. Raimondo Cascone

REDATTO

Ing. Roberto Lasala
Ing. Maria Grazia Puocci

VERIFICATO

Ing. Federica Mallozzi

APPROVATO

Arch. Raimondo Cascone



COMUNE DI
TUSCANIA

Sommario

1.	Premessa	2
2.	Cenni sul funzionamento di un aerogeneratore	2
3.	Aerogeneratore tipo di riferimento	4
4.	Classi di incidenti	7
4.1	<i>Distacco di pala intera o frammentata.....</i>	8
4.2	<i>Rottura della pala alla radice</i>	9
4.3	<i>Gittata di un corpo rotante.....</i>	10
4.4	<i>Probabilità di accadimento</i>	11
5.	Rottura e/o deformazione della torre e suo scalzamento.....	16
6.	Eventi accidentali da lancio di ghiaccio	17
7.	Eventi incidentali da trasporti	18
8.	Eventi incidentali di varia natura	18
9.	Fulminazioni e fuoco	19
10.	Incidenti con influenza sull'ambiente	20
11.	Incidenti per presenza fisica dell'aerogeneratore	20
12.	Danni per l'avifauna	20
13.	Danni conseguenti ad oggetti esterni	21

1. Premessa

La società Cogein Energy S.r.L. intende, presso la Provincia di Viterbo, inoltrare iter di autorizzazione alla costruzione ed all'esercizio di un parco eolico costituito da 10 aerogeneratori del tipo Vetas V162 di 6 MW per una potenza nominale totale di 60 MW da localizzare nel comune di Cellere (VT).

Il fine ultimo della presente relazione è quello di valutare l'esistenza o meno di rischi potenziali alle persone, cose e animali che si muovono nell'area di pertinenza del parco eolico.

I rischi potenziali sono dovuti alla presenza di componenti pesanti in movimento e alla vicinanza di linee elettriche in media tensione. L'analisi condotta consiste nell'evidenziare quali siano i rischi e le relative probabilità di accadimento di incidenti nell'ambito della realizzazione e soprattutto nella fase di esercizio del parco eolico, tenendo in considerazione incidenti di natura umana, meccanica e naturale.

2. Cenni sul funzionamento di un aerogeneratore

Fermo restando lo sviluppo frenetico delle macchine odierne, l'impostazione generale degli aerogeneratori è rimasto sostanzialmente inalterato nel tempo. Lo sviluppo è infatti principalmente incentrato sull'ottimizzazione degli elementi di base che costituiscono l'aerogeneratore. Una conoscenza di base delle macchine eoliche e delle sue parti principali, nonché la conoscenza del modo di funzionamento dei singoli componenti, risultano essere indispensabili per chiunque si interessi di energie rinnovabili, per coloro che intendono sviluppare progetti per lo sfruttamento dell'energia eolica ed in particolare per poter sviluppare in maniera compiuta la presente relazione. Il principio di base per lo sfruttamento dell'energia eolica è apparentemente semplice: la forza del vento mette in movimento una serie di pale opportunamente sagomate, queste pale sono calettate ad un perno centrale (mozzo) che le costringe a compiere un moto rotatorio attorno all'asse del perno, al mozzo sono collegati una serie di dispositivi (freni, moltiplicatori, ecc.) che trasmettono il moto ad un generatore elettrico. La corrente elettrica così generata viene prima trattata in una serie di dispositivi che la rendono compatibile con la rete di trasporto a cui, con un cavidotto apposito, verrà

collegato l'aerogeneratore. Di seguito si riportano gli elementi principali di un aerogeneratore:

- Navicella: la parte principale della macchina, in essa sono contenuti il generatore, i moltiplicatori di giri, i freni, gli attuatori del “pitch control” e del “yaw control”;
- Rotore: è l'insieme formato dal gruppo pale, il mozzo, l'albero lento e il meccanismo del “pitch control”;
- Torre di sostegno: oltre a tenere in posizione e sostenere la macchina, ha il compito di assorbire le vibrazioni provenienti dalla navicella evitando che le stesse vadano ad inficiare il sistema fondale;
- Sistemi di misura: i sistemi di misura (anemometri e indicatori di direzione del vento) sono generalmente montati sulla sommità della navicella, servono a configurare correttamente la macchina a seconda della direzione e dell'intensità del vento;
- Sistemi di controllo: monitorando continuamente una serie di parametri della macchina, sovrintendono al corretto funzionamento e permettono una rapida messa in sicurezza in caso di avaria;
- Sistemi accessori: sistemi opzionali che permettono un uso migliore della macchina (sistemi di telecontrollo, montacarichi e ascensori per il personale di manutenzione, ecc.. Si riporta di seguito una figura esplicativa che mostra i componenti contenuti nella navicella;

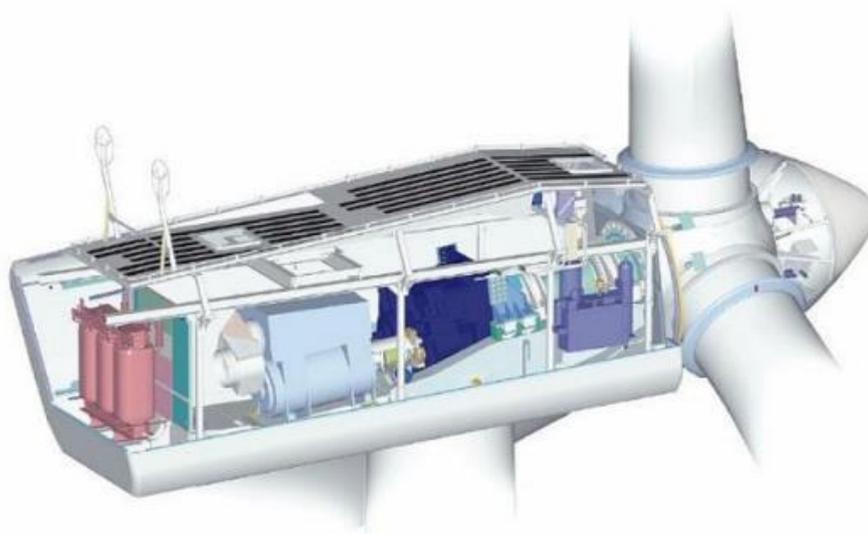


Figura 1- Spaccato della navicella

3. Aerogeneratore tipo di riferimento

Di seguito si riportano le principali caratteristiche dell'aerogeneratore preso a riferimento per la redazione della presente relazione:

3.1 Rotor

The wind turbine is equipped with a rotor consisting of three blades and a hub. The blades are controlled by the microprocessor pitch control system OptiTip®. Based on the prevailing wind conditions, the blades are continuously positioned to optimise the pitch angle.

Rotor	V150	V162
Diameter	150 m	162 m
Swept Area	17671 m ²	20611 m ²
Speed, Dynamic Operation Range	4.9 - 12.6 rpm	4.3 - 12.1 rpm
Rotational Direction	Clockwise (front view)	
Orientation	Upwind	
Tilt	6°	
Hub Coning	6°	
No. of Blades	3	
Aerodynamic Brakes	Full feathering	

Table 3-1: Rotor data

3.2 Blades

The blades are made of carbon and fibreglass and consist of two airfoil shells with embedded structure.

Blades	V150	V162
Blade Length	73.65 m	79.35 m
Maximum Chord	4.2 m	4.3 m
Chord at 90% blade radius	1.4 m	1.57 m
Type Description	Structural airfoil shell	
Material	Fibreglass reinforced epoxy, carbon fibres and Solid Metal Tip (SMT)	
Blade Connection	Steel roots inserted	
Airfoils	High-lift profile	

Table 3-2: Blades data

Transformer	
Type description	Eco-design liquid immersed transformer.
Basic layout	3 phase, 2 winding transformer
Applied standards	IEC 60076-1, IEC 60076-16, IEC 61936-1 Commission Regulation No 548/2014
Cooling method	KF/WF
Rated power	7000 kVA
Rated voltage, turbine side	
U _m 1.1kV	0.720 kV
Rated voltage, grid side	
U _m 24.0kV	19.1-22.0 kV
U _m 36.0kV	22.1-33.0 kV
U _m 40.5kV	33.1-36.0 kV
Insulation level AC / LI / LIC	
U _m 1.1kV	3 / - / - kV

Transformer	
U _m 24.0kV	50 / 125 / 138 kV
U _m 36.0kV	70 / 170 / 187 kV
U _m 40.5kV	80 / 200 / 220 kV
Off-circuit tap changer	None
Frequency	50 Hz / 60 Hz
Vector group	Dyn11
No-load reactive power	~35 kVAr ¹
Full load reactive power	~700 kVAr ¹
No-load current	~ 0.5 % ¹
Positive sequence short-circuit impedance @ rated power, 75°C	9.9 % ^{1,2}
Positive sequence short-circuit resistance@ rated power, 75°C	~1.0 % ¹
Zero sequence short-circuit impedance@ rated power, 75°C	~9.0 % ¹
Zero sequence short-circuit resistance@ rated power, 75°C	~1.0 % ¹
Inrush peak current	5-8 x I _n ¹
Half crest time	~ 0.6 s ¹
Sound power level	≤ 80 dB(A) ¹
Average winding temperature rise	Class 120 (E) ≤75 K ¹ Class 130 (B) ≤85 K ¹
Max altitude	2000 m ¹
Insulation system	Hybrid insulation system. Winding insulation: 120 (E), Thermally Upgrader Paper 130 (B), High temperature insulation Other materials can have different class.
Insulation liquid, Type/Fire point	Synthetic ester, biodegradable/ K-class (>300°C)
Insulation liquid, Amount	≤ 3000 kg ¹
Corrosion class	C3 ¹
Weight	≤11000 kg ¹
Overvoltage protection	Plug-in surge arresters on HV bushings ¹
High voltage bushings	Outer cone, interface C1 ¹

In particolare, è importante specificare che gli aerogeneratori sono provvisti di un sistema di controllo aerodinamico, che permette il controllo della potenza ruotando le pale intorno al loro asse principale, così modificando l'orientamento rispetto alla direzione del vento, per offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo, indipendentemente dalla direzione del vento, un verso orario di rotazione.

Si riporta di seguito una figura esemplificativa che evidenzia il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento.

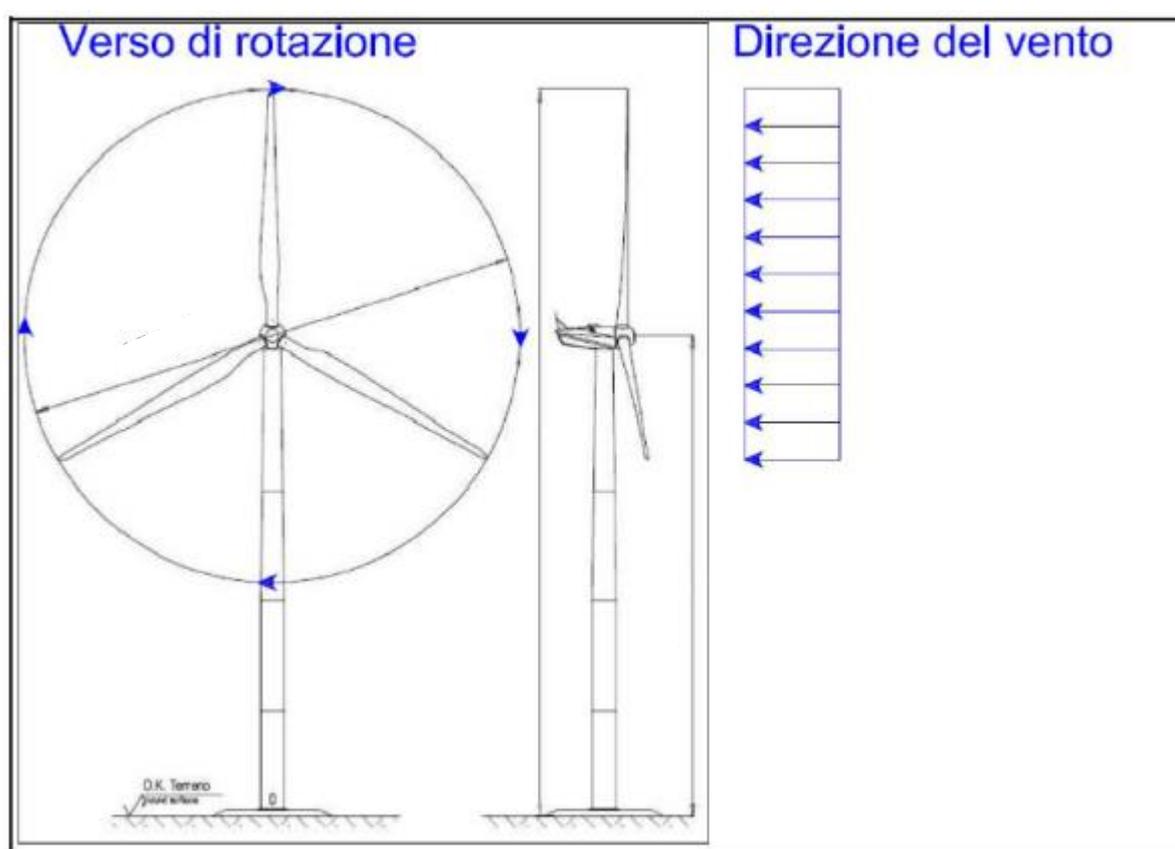


Figura 2 - Relazione tra direzione del vento e rotazione delle pale

Questa considerazione servirà per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale e a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano. Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva che individua la direzione del moto del corpo che eventualmente si distacca. Mettendo in relazione tale traiettoria con la corografia del luogo si capisce se la pala nella percorrenza della sua traiettoria può rappresentare un elemento di

pericolo per la strada e/o altro edificio interessato.

4. Classi di incidenti

Gli eventi che possono incidere sulla causa di un incidente legato agli aerogeneratori possono derivare in maniera prevalente da causa naturali; tuttavia, non è possibile escludere fattori derivanti da azioni umane. Per la collocazione temporale di eventuali danni e loro cause, ci si riferisce in maniera preponderante alla fase di esercizio del parco eolico ma non sono da escludere le fasi che precedono la messa in esercizio, quindi le fasi di costruzione e di commissioning.

Limitando l'osservazione alla categoria degli incidenti, che sono collegati con il comportamento dei sistemi più che a quelli dovuti ad errori umani o ad intervento di personale operativo o addirittura estraneo all'ambiente di lavoro, l'insieme degli eventi deve necessariamente venir ricomposto e riportato entro serie di ben chiara composizione. La drastica ricomposizione delle categorie incidentali è indispensabile non soltanto per un ordine espositivo quanto per rispondere alla esigenza di una rigorosa classificazione. Ed è tanto più utile all'esposizione quanto più precisa ne sarà la collocazione nello spettro degli incidenti accaduti.

Come già si è osservato, non si può dar luogo ad una analisi incidentale esaustiva secondo l'impostazione classica di tale processo, in cui il numero degli eventi e la completezza della descrizione incidentale di ognuno sono decisivi per confermare la sua corretta esecuzione. Si vuole, invece, in via pregiudiziale individuare le principali categorie di eventi incidentali e procedere ad una prima escussione, da cui trarre conferma o meno della rispettiva pericolosità (o probabilità di occasione) e della loro rilevanza per la sicurezza dell'impianto e/o del personale.

Su questo piano di interventi sono da contrarre gli accadimenti nelle seguenti classi incidentali, che riguardano:

incidenti di natura meccanica:

- distacco di pala intera e/o frammentata;
- lancio/caduta di ghiaccio;
- rottura/deformazione torre e atterramento navicella;
- rovesciamento completo di torre e/o fondazione;
- eventi coinvolgenti trasporti e/o sollevamenti;
- collisioni con corpi aerei/terrestri;

incidenti provocati da incendi:

- da sorgenti interne;
- da fulminazione;
- da altre azioni esterne naturali o umane;

incidenti a personale lavorativo (con interruzione del processo per cause diverse, ferimenti, danni permanenti o, al limite, decessi, etc.)

incidenti a persone esterne da incidenti di natura meccanica e/o da incidenti di natura termica (incendi, fuochi, etc.);

4.1 Distacco di pala intera o frammentata

La prima causa, cui riferirsi, è la rottura di una pala, che dovrebbe presupporre una certa debolezza del sistema. Può colpire in diversa misura i vari componenti responsabili della risposta non adeguata alle sollecitazioni esterne, siano essi di volta in volta, o parti strutturali, o apparecchiature di controllo, o dispositivi di sicurezza, o programmi di regolazione, o processi di costruzione, o altro. Un caso classico è la rottura di una pala per ragioni interne all'aerogeneratore. Il mancato o difettoso intervento del controllo di velocità, le rotture sul sistema di freno o sul moltiplicatore possono essere una causa comune di tale situazione. Il meccanismo di freno è previsto, sia per arrestare il rotore, sia per tenerlo fermo, quando il vento soffi ad una velocità eccessiva (20-25 m/s) tale per cui la macchina deve essere tenuta f.s. per ragioni di sicurezza. Il sistema ad ingranaggi (gearbox) serve per moltiplicare i giri dell'albero lento in entrata in modo che l'albero veloce in uscita dall'apparecchio consenta al generatore elettrico di produrre l'elettricità attesa. Se entrambi dovessero andare in avaria, la macchina si direbbe che "va in fuga". Il rotore tende ad accelerare il suo regime di rotazione e raggiunge parecchie volte il suo valore a funzionamento normale. Così si producono carichi sulle pale in notevole eccesso rispetto a quelli di progetto. Alla punta delle pale la velocità può toccare valori parossistici in tali condizioni particolari (300/500 km/h ed anche molto oltre rispetto a quelle normali di 60/70 m/s). La rottura può verificarsi alla radice della pala, dove si innesta nel mozzo o in altra sezione. Le porzioni della pala, che prima di altre possono essere divelte, sono le parti estreme. Possono essere strappate dal resto e lanciate con una quantità di moto assai alta. La traiettoria dipende dall'energia cinetica iniziale al momento del rilascio, dalle condizioni anemologiche, dalle proprietà aerodinamiche del pezzo e dal punto della circonferenza di rotazione da cui si stacca, oltre dall'altezza della torre e dalla potenza della macchina eolica.

Le modalità di rottura della pala possono essere assai diverse. Essendo un organo in rotazione è soggetto alla forza centripeta che va equilibrata con l'azione della struttura della torre stessa. Per minimizzare tale forza, la pala è costruita in materiale leggero; normalmente si utilizzano materiali compositi che sfruttano le caratteristiche meccaniche così da far fronte ai carichi aerodinamici imposti.

Tuttavia, la modalità di rottura della pala alla radice rappresenta il caso più gravoso, e pertanto, da verificare con il calcolo della gittata.

Per i valori esplicativi della gittata massima si rimanda all'elaborato tecnico Elab.5.

4.2 Rottura della pala alla radice

La rottura della pala alla radice è un evento che storicamente è risultato frequente (rispetto al numero di rotture totali) in quanto la sezione di attacco risulta assai "critica" dal punto di vista strutturale.

Le cause sono sostanzialmente due:

1. La discontinuità della struttura che passa da un carico distribuito sulle fibre alla flangia di attacco crea inevitabili concentrazioni tensionali che con l'andar del tempo può creare problemi di affaticamento con conseguente rottura. C'è da dire che i costruttori hanno ben chiaro il problema e che negli ultimi anni si sono introdotti diversi accorgimenti che hanno migliorato di molto le prestazioni escludendo del tutto tale eventualità.
2. La rottura della giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo. Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni serrati opportunamente durante l'installazione della turbina.

Il precarico conferito ai bulloni durante il serraggio ha un'influenza determinante sulla resistenza dei bulloni 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 manifesta a causa di non corretti interventi di manutenzione programmata cui l'aerogeneratore va sottoposto così come riportato nel manuale del costruttore. Per cui l'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono determinare la rottura per fatica dei bulloni ed al distacco della pala.

Per la stima della gittata massima dell'intera pala si impongono alcune ipotesi semplificative:

- distacco netto ed istantaneo di una intera pala alla sua radice;

- baricentro posizionato ad $1/3$ della lunghezza della pala;
- assenza di attriti viscosi durante il volo: questa ipotesi risulta conservativa considerando che in letteratura si registra, a causa degli effetti di attrito, una diminuzione del tempo di volo anche del 20%;
- distacco in corrispondenza di un angolo di 315° rispetto alla verticale, che dal punto di vista teorico garantisce la massima gittata (moto in senso orario);
- distacco alla rotazione di funzionamento massima;
- vento presente durante tutto il volo della pala con velocità corrispondente alla velocità massima di funzionamento;
- assenza di effetti di “portanza” del profilo alare.

Un esempio classico è la rottura di una pala per ragioni interne all’aerogeneratore. Il mancato o difettoso intervento del controllo di velocità, le rotture sul sistema di freno o sul moltiplicatore possono essere una causa comune di tale situazione. Il meccanismo di freno è previsto, sia per arrestare il rotore, sia per tenerlo fermo, quando il vento soffia ad una velocità eccessiva (20/25 m/s) tale per cui la macchina deve essere tenuta in pausa per ragioni di sicurezza. Il sistema ad ingranaggi (gearbox) serve per moltiplicare i giri dell’albero lento in entrata in modo che l’albero veloce in uscita dall’apparecchio consenta al generatore elettrico di produrre l’elettricità attesa. Se entrambi dovessero andare in avaria, si dice che la macchina “vada in fuga”. Il rotore tende ad accelerare il suo regime di rotazione e raggiunge parecchie volte il suo valore a funzionamento normale. In questo modo si creano dei carichi sulle pale in notevole eccesso rispetto a quelli di progetto. Le porzioni della pala che prima possono essere divelte, sono le parti estreme. Possono essere strappate dal resto e lanciate con una quantità di moto assai alta.

4.3 Gittata di un corpo rotante

L’analisi per la combinazione dei carichi, per i materiali usati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura si fa riferimento alla norma CEI EN61400-1.

L’analisi è stata condotta per i seguenti casi:

- una pala eolica che si stacca;
- un pezzo di ghiaccio che potrebbe crearsi in inverno e che parte dall’estremità di una pala.
- In qualsiasi caso, la gittata massima e la velocità all’impatto sono dei fattori determinanti per la stima del rischio.

La gittata massima dipende dal prodotto “raggio della pala x velocità di rotazione”. Il calcolo presenta comunque alcune complessità in quanto le variabili in gioco sono numerose ed il risultato può essere soltanto di tipo probabilistico in quanto legato alle modalità ed al momento del distacco. Infatti, un corpo lanciato in aria in presenza di forte vento potrebbe dar luogo ad effetti di “portanza” che possono prolungare i tempi di volo. L’effetto viscoso dell’aria, d’altra parte, ha un effetto opposto frenando il corpo in volo. Considerando, quindi, la natura della pala, avente un profilo aerodinamico, lo studio del moto risulta complesso, a causa di tutte le forze e dei momenti che nascono al momento del distacco e nell’interazione col vento. È da sottolineare comunque che nell’ultimo decennio, il tasso d’incidentalità è ancora diminuito a seguito dell’evoluzione tecnologica e del miglioramento delle macchine eoliche, malgrado l’aumento medio delle loro dimensioni.

Uno studio danese ha condotto su 18 mesi, tra il 1998 e i 1999, un’analisi riguardante le pale, le navicelle e le torri di 2.130 rotor, per una produzione complessiva di 540 MW.

Su 3.195 anni cumulati di funzionamento, solo 7 incidenti hanno comportato la distruzione delle pale. Il tasso è dunque di un incidente ogni 457 anni-macchina. Si noti che la Danimarca presenta maggiori rischi di guasti e di sospensione della produzione a causa della presenza di brina e di ghiaccio.

Un altro studio danese a partire da dati registrati su 120 mesi tra il 1993 e il 2003 in un parco di 1.912 impianti mostra una probabilità di distruzione di 0,00083 impianti per anno. In ambito rurale, la correlazione di questa statistica (6×10^{-5} /anno) con la probabilità di occupazione di un m² di terreno da parte di una persona individua una probabilità globale di ferire qualcuno molto bassa.

Dall’analisi della gittata, si deduce che la massima distanza percorsa dall’elemento si ottiene per un angolo θ intorno a 67° con un valore di gittata pari a circa 262,23 metri.

4.4 Probabilità di accadimento

L’aerogeneratore, al pari di tutte le realizzazioni industriali e tecniche, pone all’attenzione dei responsabili una serie di danni potenziali. Per limitarli devono essere formulati criteri, che sarebbe meglio se fossero derivati da prescrizioni o da statuizioni pubbliche e da normative. Ad essi si dovrebbero attenere costruttori e gestori di campi eolici. Lo scopo sarebbe quello di ridurre i danni, derivanti da tali installazioni, sino ad un rischio residuale tecnico non eliminabile od accettabile. Nelle considerazioni entrerebbero sostanzialmente se non esclusivamente i requisiti di sicurezza,

che l'impianto deve assicurare in tutte le fasi della propria vita (cioè, realizzazione, esercizio e dismissione oltre alla impostazione). È ovvio che in questo momento sono le prime due a farla da padrone. In mancanza di siffatte prescrizioni è prassi riferirsi ad una probabilità di rottura di 1006 eventi all'anno. Il dato numerico va inteso come un limite di soglia da raggiungere o da applicare. È stato per molto tempo il valore di accettabilità o di credibilità incidentale degli impianti nucleari, che prima di tutti e più di tutti hanno fatto della sicurezza il paradigma essenziale della loro esistenza nel panorama industriale dei nostri paesi. È naturale che se in un dato periodo di tempo, che è solitamente tagliato sull'anno, non si devono riconoscere eventi incidentali di quel tipo, che si sta considerando, la relativa probabilità di rottura assumerà il valore limite, che si è appena indicato, cioè 1006 eventi/anno. È ovvio che il valore del danno statistico della rottura di una torre per un convertitore eolico abbia singolarmente una probabilità maggiore. Essendo il processo di rottura della torre il risultato di una catena di eventi, la probabilità totale spettante a tale evento sarà la combinazione delle probabilità dei meccanismi intermedi, attraverso i quali si perviene al risultato. Ogni evento individuale della catena è visto con le sue conseguenze in modo che il prodotto della probabilità di occasione di ogni individuale evento fornisce 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.

$$P_{so} > P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$$

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

- P_{so} 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 e cioè pari a 1006 o ben 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 la probabilità di occasione relativa ad altre cause, come tolleranze di costruzione, etc.

A tal proposito si riporta una tabella con alcuni casi registrati da letteratura, con danni in prevalenza di natura meccanica:

Sito	Data	Evento
Kaiser-Wilhelm-Koog (Schleswig-Holstein, De)	04.04.1997	rottura pala
Rebgeshain, Vogelsbergkreis (Hessen, De)	16.01.1999	caduta torre
Helpershain, Vogelsbergkreis (Hessen, De)	01.03.1999	caduta torre
Lichtenau Asseln, Paderbron (Westphalia, De)	12.12.1999	caduta torre
Lichtenau Kreis, Paderbron (Westphalia, De)	20.01.2000	rovesciamento di torre
Jutland (Dk)	29.01.2000	caduta di tre torri
Wittmund, Harlingerland (De)	10.02.2000	caduta torre
Wehe den Hoorn bei Groningen (NI)	15.02.2000	caduta torre
Wieringerwaard-Kolhorn (West Friesland, NI)	11.03.2000	caduta torre
Husum, Schleswig-Holstein (De)	28.11.2000	caduta torre
Burgos (Merindales, Sp)	09.12.2000	rottura torre
Colorado (USA)	15.05.'02	rottura pala
Ulrichstein-Helpershain (De)	09.09.'02	caduta rotore completo
Goldenstedt Ellenstedt (De)	28.10.'02	rovesciamento torre
Wachusett Wind Site, Princeton, (Massachusetts, USA)	19.11.'02	caduta torre anemometrica
Reinsberg im Kreis Freiberg (Sassonia, De)	05.04.'03	rottura torre
Köstorf im Kreis Lüneburg (Bassa Sassonia, De)	14.07.'03	fulminaz., perdita/deformazione pale
Borkum Offshore Wind Park (NI)	21.12.'03	perdita pale
Portel, Boulogne sur Mer (Fr)	01.01.'04	rottura pala e torre
Lankern bei Dingden (Westfalia, De)	26.02.'04	lancio ghiaccio
Loon plage, Port de Dunkerque (Fr)	20.03.'04	rottura pala e torre
Carzig im Kreis Märkisch Oderland (Brandenburgo, De)	14.11.'04	lancio ghiaccio
Rhede, Kreis Borken (Westphalia, De)	12.12.'04	lancio ghiaccio
Bölling bei Dahl, Stadtgebiet (Westphalia, De)	30.01.'05	lancio ghiaccio
Schlüchtern-Hohenzell im Main-Kinzig-Kreis (Hessen, De)	01.02.'05	lancio ghiaccio
Crystal Rig, (Scozia)	07.04.'05	rottura pala
Weatherford (Oklahoma, USA)	06.05.'05	rottura di torre
St. Thegonnec, Pleyber Christ (Finistère, Bretagna, Fr)	06.10.'06	rottura pala
Lamkem bei Dingen (Westphalia, De)	28.6 e 8.7.'04	id.
Filsumer Wind Park a Filsum bei Leer im	17.12.'05	lancio ghiaccio
	10.01.'06	lancio ghiaccio

Sito	Data	Evento
Cold Northcott Windfarm, Bondmin Moor (Cornovaglia, Uk)	13.01.'06	rottura pala
Wachusett Wind Site, Princeton, Massachusetts (USA)	21.02.'06	perdita pale e torre
Oldside, Workington (Cumbria, Uk)	02.07.'06	rottura di pala
Lago Wilson (stato di Minnesota, USA)	01.09.'06(?)	rottura pala
Scroby Sands (Norfolk, uK)	06.10.'06	asportazione di punta da pala per urto con jack-up
Bondues (Lille, Francia)	04.12.'06	rovesciamento di torre
Schauenberg-Martinshagen im Landkreis Kasse (Bassa Sassonia, DE)	28.12.'06	lancio ghiaccio
Iwaya Wind Farm (distretto di Higashidori, Ja)	11.01.'07	rottura torre
Windpark Raden in Besdorf im Kreis Steinburg (Schleswig-Holstein, De)	13.01.'07	caduta torre
Fenner, Contea di Madison (stato di New York)	28.01.'07	rottura pala
Parc Cynog a Llanmiloe (Carmarthen, Galles)	25.02.'07	causa dubbia, danni ad una pala
Fairfield nella Contea di Herkimer (stato di New York)	08.03.'07	cedimento di due torri anemometriche
Allegheny Ridge Wind Farm, Contea di Cambria (Pennsylvania, USA)	31.03.'07	cricche in pale
Voe (Shetland, Scozia)	11.05.'07	caduta di torre anemometrica
Cham de Chamlonge, Saint Etienne de Lugdars (Ardèche, Fr)	15.06.'07	rottura di una pala
Uelvesbüll bei Husum a Landkreis Nordfriesland (Schleswig-Holstein, De)	30.07.'07	perduta una pala
Klondike III presso la città di Wasco, Contea rurale di Sherman (stato dell'Oregon, USA)	26.08.'07	rottura torre
Argyll, Beinn an Tuirc (Scozia)	08.11.'07	rottura torre
Fenner, Contea di Madison (stato di New York)	15.11.'07	rottura pala per insufficiente serraggio pala-mozzo
Hersket Newmarket (Cumbria, UK)	30.12.'07	cedimento torre
Alkmaar (NL)	15.05.'08	rottura pala
Cohocton (stato di New York)	27.01.'08	rottura pala
Prince Wind Energy Project, Sault St. Marie (Ontario, Canada)	30.01.'08	perdita di una pala
Isola di Texel (Olanda settentrionale, NL)	07.02.'08	caduta torre
Hyacintvej, Hornslet (Jutland orientale, Dk)	22.02.'08	esplosione turbina
Regioni di Tokai e Kanto (Ja)	09.04.'08	rottura di una pala in due turbine
Searsburg VT (stato del Vermont, USA)	15.09.'08	rottura di torre

In conclusione, in relazione al rischio di rottura, si riportano le risultanze del documento “Analysis Of Risk Involved Incidents Of Wind Turbines”, allegato alla “Guide for Risk-Based Zoning of Wind Turbines”, elaborato nel 2005 dall’ ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) sulla base dei dati relativi a produzione di energia eolica, incidenti e manutenzione raccolti dallo ISET (Institut für Solare Energieversorgungstechnik) in Germania e dall’ EMD (Energie- og Miljødata) in Danimarca. L’ECN ha analizzato le informazioni di incidenti registrate su un campione molto largo di turbine eoliche in Danimarca e Germania, determinando le frequenze di:

- rottura di una pala;

- rottura della punta e di piccole parti;
- rottura della torre alla base;
- caduta del rotore o della navicella;
- caduta di piccole parti dal rotore o dalla navicella.

La probabilità di rottura della pala è stata suddivisa in diverse condizioni d'uso:

- alla velocità nominale;
- durante la frenata meccanica;
- in condizione di overspeed.

I risultati dell'analisi, riportati nella tabella sottostante, mostrano come la probabilità di rottura della pala sia pari a circa 0,00084%. Per quanto riguarda la probabilità di rottura in overspeed, è stata utilizzata la stima di studi precedenti, determinata moltiplicando la probabilità di guasto della rete elettrica (5 volta in un anno) con la probabilità di rottura del primo sistema di frenata (10⁻³ per intervento) e del secondo sistema di frenata (10⁻³ per intervento) e per la probabilità di rottura della pala in queste condizioni (100%).

Part	Failure frequency per turbine per year			Maximum throw distance [m] (reported and confirmed)
	Expected Value	95% upper limit	Recommended Risk Analysis Value [1/yr]	
Entire blade	6.3*10 ⁻⁴	8.4*10 ⁻⁴	8.4*10 ⁻⁴	150
<i>Nominal rpm</i>			4.2*10 ⁻⁴	
<i>Mechanical braking</i>			4.2*10 ⁻⁴	
<i>Overspeed</i>			5.0*10 ⁻⁶	
Tip or piece of blade	1.2*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁴	500
Tower	5.8*10 ⁻⁵	1.3*10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻⁴	Shaft height + half diameter
Nacelle and/or rotor	2.0*10 ⁻⁴	3.2*10 ⁻⁴	3.2*10 ⁻⁴	Half diameter
Small parts from nacelle	1.2*10 ⁻³	1.7*10 ⁻³	1.7*10 ⁻³	Half diameter

Figura 3 - Frequenza di rottura e massima gittata segnalata

5. Rottura e/o deformazione della torre e suo scalzamento

La distruzione della pala o di suoi frammenti può concludersi in un moto regolare fino al piano campagna o può in taluni casi interagire con altre porzioni della torre eolica. L'urto anelastico, che ne consegue, può:

- provocare una lesione locale accompagnata da deformazione della sezione con eventuale ripercussione sulla stabilità della navicella, che potrebbe essere catapultata a terra (rovesciamento di navicella);
- incidere più profondamente sino a produrre inflessione della torre, che è un corpo contraddistinto da una relativa snellezza, causando il crollo della navicella e della struttura in elevazione in acciaio atta al sostegno della stessa, di una sua parte o nella sua interezza;

Nella prima ipotesi il crollo o distacco della navicella è un evento probabile, mentre nella seconda l'insieme delle forze statiche e dinamiche in gioco, (azione del vento, vibrazioni scaricate dai carichi a quote superiori, come navicella, rotore e pale, che sono fuori controllo, etc.) possono portare a rottura o crollo della torre. La possibilità che si concretizzi tale evento è improbabile per questo non è pensabile modificare i parametri progettuali per far fronte a questa eventualità, comporterebbe un incremento dei pesi della struttura in acciaio e conseguentemente dei costi.

Un altro caso di possibile incidente può essere che precede la distruzione totale dell'aerogeneratore a seguito del rovesciamento completo dell'insieme turbina-fondazione, come è possibile vedere nella foto sottostante.

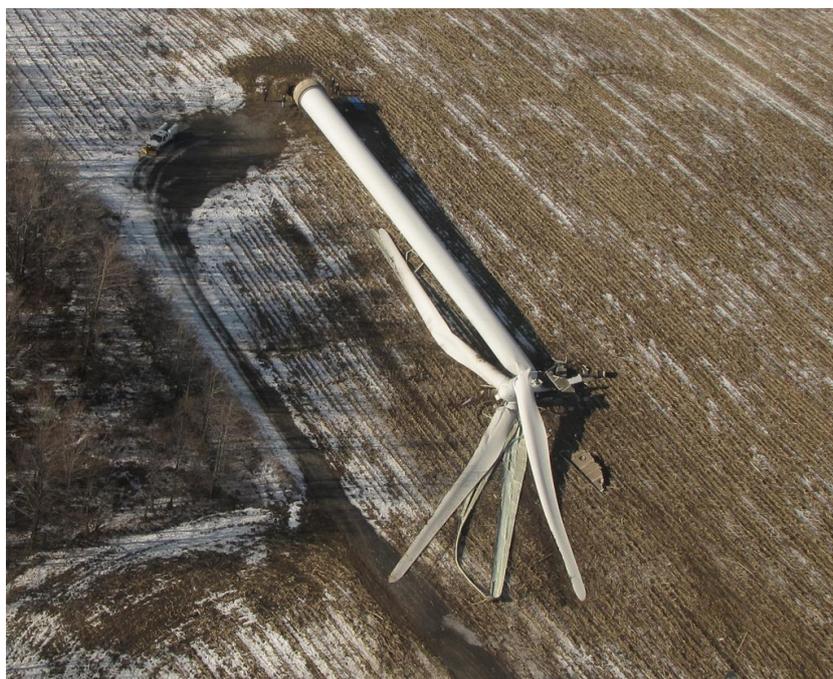


Figura 4 - Rovesciamento completo dell'insieme turbina-fondazione

Le condizioni che possono comportare tale evento possono essere ascritte nella casistica dell'errore umano. Le fondazioni degli aerogeneratori sono progettate per contrastare e controbilanciare elevatissimi momenti flettenti, nell'ordine dei milioni di Nm, e riescono a far fronte alle richieste prestazionali generate sia da condizioni ambientali eccezionali che ad eventi di natura sismica. Nello specifico, le cause che possono generare tale evento, possono andare dall'errore progettuale a quello di realizzazione nell'applicazione dei dettami progettuali e/o nella scelta di materiali non idonei alla tipologia di struttura.

Tale evento, se pur catastrofico, si risolve entro una distanza pari all'altezza dell'aerogeneratore e quindi il rischio per la popolazione è assai ridotto.

6. Eventi accidentali da lancio di ghiaccio

La formazione di ghiaccioli, di croste, di lastrine ghiacciate e di piccoli o meno piccoli ammassi nevosi sulle superfici delle pale, si concretizzano generalmente nel corso delle stagioni fredde in zone climatiche rigide e solitamente settentrionali per le nostre latitudini.

Anche se il clima dell'Italia, può definirsi mite, non è possibile escludere fenomeni episodici di clima molto rigido con temperature sottozero. Quindi non è possibile escludere categoricamente la

formazione di ghiaccio lungo le pale. Le distanze, percorse in volo, dal corpo estraneo dipendono da svariati fattori, quali dimensioni, conformazione e consistenza della massa ghiacciata, forza centrifuga raggiunta dalle pale e di conseguenza trasmessa alla formazione di ghiaccio, altezza della torre, punto dell'area spazzata dal rotore in cui la massa lascia la pala, etc. Anche le caratteristiche (presenza di "oggetti" da preservare, frequentazione umana, declivi/accidentalità del suolo, etc.) del sito circostante la turbina, gioca un ruolo essenziale sul rischio dei possibili danni. È opportuno considerare tale aspetto per discernere la pericolosità di tali cadute o dei conseguenti danni sull'ambiente, sull'uomo e sulle sue cose (costruzioni, auto, impianti vari, etc.). Tuttavia, a Cellere, nel corso dell'inverno, molto raramente la temperatura scende al di sotto dell'zero, in tal senso il rischio potrà essere considerato o minimo o del tutto assente.

7. Eventi incidentali da trasporti

L'incidenza dei trasporti è differente a seconda della rilevanza e della immediatezza di intervento di certi fattori, come la situazione territoriale in cui si sviluppano, la potenza/tipologia delle turbine, la collocazione del sito, le procedure di installazione imposte, la stagione dell'anno, i ritmi di lavoro richiesti dal programma temporale del campo e da altri elementi. Una distinzione sarà fatta nei capitoli a venire, in cui si metteranno in conto, tentando di separarle, le occasioni incidentali, che accadono con l'installazione o con l'esercizio/manutenzione. Non si prende in esame ciò che può accadere con la dismissione, considerato processo inverso della fase di costruzione.

8. Eventi incidentali di varia natura

La categoria, nota con il termine inglese di "miscellaneous", è stata introdotta nello schema di banca-dati del CWIF per dare una diversa e più coerente classificazione degli eventi che causano danni. Le rotture o le fermate provocate nei componenti dell'aerogeneratore trovano in questa sede accoglimento, se non producono evidenti conseguenze strutturali, che già hanno la loro collocazione altrove. Tra gli altri eventi si annoverano le risultanze da mancata manutenzione, da disfunzioni elettriche, per sovracorrenti purché non si concludano in fuochi o elettrocuzioni (termine inglese "electrocution", che denota la morte causata da shock elettrico, sia per cause accidentali, sia per

motivazioni deliberate e che, pur essendo ottenuto dalla combinazione di due parole, "electro" ed "execution", supponenti un intervento volontario con esiti nocivi, sta a denotare sovente un decesso accidentale), da incidenti durante la costruzione o in suo supporto, da caduta di fulmini purché essa non sia seguita da danni alla turbina con rottura di pala o incendio, etc.

9. Fulminazioni e fuoco

La seconda categoria tra le due, che sono state evidenziate, è più insidiosa. Pur prendendo tutti i provvedimenti in grado di attenuare gli effetti (dal momento che non si può agire sulle cause, se queste hanno origine da fenomeni meteo, cioè dalla natura), la gravità delle azioni deve essere analizzata e studiata. Difficilmente si potranno neutralizzare le azioni, si dovranno studiare soluzioni di contenimento, cioè predisporre tutto ciò che non consenta di pervenire a conseguenze catastrofiche. Un caso evidente di preoccupazioni è da assegnare alla caduta di un fulmine sulla turbina eolica. È una causa comune di rottura (ad es., sulla pala) o di incendio per la presenza di sostanze infiammabili (materiale strutturale delle pale, olio per il raffreddamento, vapori combustibili, etc.), che sono presenti nei parchi eolici.

Non essendo possibile provvedere se non raramente ad estinguere il fuoco laddove si è sviluppato ed è concentrato, si lascia ciò che è stato attaccato dalle fiamme. L'operato delle Autorità locali (vigili del fuoco, polizia, etc.) si limita a circoscrivere la zona per il periodo di tempo, in cui i pericoli per la popolazione siano evidenti, e per lo spazio, la cui estensione sia determinata da reali manifestazioni dannose per cose o persone (lancio di pezzi, crolli, etc.).

A tal proposito la navicella è dotata di un sistema antincendio, che consiste di rilevatori di fumo e CO, in aggiunta a ciò il rivestimento della navicella contiene materiali autoestinguenti. L'aerogeneratore è dotato inoltre di un completo sistema antifulmine, in grado di proteggere da danni diretti ed indiretti sia alla struttura (interna ed esterna) che alle persone. Il fulmine viene "catturato" per mezzo di un sistema di conduttori integrati nelle pale del rotore, disposti ogni 5 metri per tutta la lunghezza della pala. Da questi, la corrente del fulmine è incanalata attraverso un sistema di conduttori a bassa impedenza fino al sistema di messa a terra. La corrente di un eventuale fulmine è scaricata dal rotore e dalla navicella alla torre tramite lettori ad anelli e scaricatori di sovratensioni. La corrente del fulmine è infine scaricata a terra tramite un dispersore di terra. I dispositivi antifulmine previsti sono conformi agli standard della più elevata classe di protezione

(Classe I), secondo lo standard internazionale IEC 61024-1.

10. Incidenti con influenza sull'ambiente

Alla voce collisioni è doveroso subito citare il contatto con corpi aerei, ed in modo particolare con corpi volanti in grado, a certe altezze, di impattare sull'aerogeneratore. L'altezza massima degli aerogeneratori di progetto è pari a 200 m (119m altezza del mozzo e 81 m sistema pala più navicella). Per ovviare ad un possibile impatto dell'aerogeneratore con oggetti in volo, è stata inviata l'apposita istanza all'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile).

11. Incidenti per presenza fisica dell'aerogeneratore

Quanto citato nel paragrafo precedente potrebbe essere applicato anche per incidenti che non sono creati direttamente dalle turbine eoliche, nel senso che non sono esse a contrastare anche i veicoli stradali. Possono essere causa indiretta, in quanto la sensibilità da parte dei guidatori alla loro vista li distrae, spostando altrove l'attenzione da quanto o da come stanno guidando. La conclusione può essere un fuori strada od una qualche altra variante dell'incidente stradale. Purtroppo il parco eolico di Cellere è ubicato in piena zona agricola lontano dalle principali arterie viarie a percorrenza media e veloce.

12. Danni per l'avifauna

L'interazione con la avifauna stanziale o di passo è uno degli aspetti, che in molte riunioni di ecologisti compare come un elemento di più vivace discussione ed è pure un argomento che i concessionari di campi eolici tengono sotto controllo ed esaminano anche con campagne ad hoc. In realtà, è uno dei temi più controversi per gli impianti eolici, quando soprattutto siano localizzati in zone ad elevata vocazione naturalistica o nei loro pressi. Tali zone possono essere rilevanti, o per specie locali, o per specie migratorie, che vi soggiornino per certi periodi dell'anno, o che semplicemente vi transitino. Ci si riferisce a specie che, o sono stanziali localmente, o sono da ritenere protette, o trovino rifugio stagionale proprio nell'area del parco eolico, o vedano il parco

inserito nelle loro rotte migratorie.

Indipendentemente dalla criticità o meno delle interazioni con l'avifauna, è opportuno sviluppare qualche considerazione per impostare la problematica degli eventuali rischi, cui possono essere soggetti i volatili a causa della installazione di turbine eoliche, e per informare circa le azioni che consentano di inserire campi eolici in aree protette, soggette ai regimi di parchi naturali. Gli aerogeneratori del parco eolico di Cellere, con una altezza pari a 119 metri al mozzo costituiscono un ostacolo ben visibile, inoltre la definizione del layout ha tenuto conto dei corridoi ecologici, così come lo studio di possibili incidenti è stato valutato nella specifica relazione della valutazione di incidenza (ELAB.21), alla quale si rimanda.

13. Danni conseguenti ad oggetti esterni

Per trattare l'argomento bisogna innanzitutto definire quali siano i criteri che informano tale indagine. I danni possono coinvolgere la popolazione, l'ambiente o l'integrità dell'impianto eolico stesso, nel cui ambito territoriale si dovrebbero sviluppare gli incidenti. Una discussione di questo tipo è importante per determinare il concetto di rischio conseguente. È noto che il rischio sia la combinazione della intensità della rottura o dell'evento incidentale con l'entità dei danni provocati. Il passo successivo è circoscrivere con precisione l'ambito nel quale i danni siano provocati e possano essere valutati. Diverse sono le caratteristiche degli effetti, se gli "oggetti" da difendere e da conservare sono anch'essi differenti. Incidente ed effetti, marciano di pari passo, in quanto tramite la loro valutazione è possibile risalire alla rilevanza ed alla portata del rischio. Successivamente occorre riflettere ed indagare quali siano le ripercussioni, che gradualmente ed a seconda dell'entità dell'incidente possono ricadere sull'esterno dell'impianto, sull'ambiente e, infine, sulla popolazione. Nelle centrali eoliche la classe delle rotture o, meglio, delle cause, che intaccano l'integrità di parti strutturali o funzionali dell'aerogeneratore, ha immediati riflessi sull'esterno della macchina.

Nel caso specifico nella definizione del layout di impianto, sono state preservate da azioni d'impatto almeno i corpi convoglianti o contenenti fluidi a diversa pericolosità (tubazioni/cisterne, gasdotti, oleodotti, etc.) sistemati in superficie o con ridotto interrimento; le stazioni di distribuzione di combustibili (benzine, gas più o meno liquefatti, gas compressi, etc.); le vie di comunicazione (strade comunali/provinciali), le ferrovie (ad uno o più binari); le dighe o gli

sbarramenti (a piccola elevazione, di vari materiali specialmente se in terra, regolazione della portata di corsi d'acqua, etc.); le abitazioni e gli insediamenti civili.

Stando così le cose, un provvedimento ineludibile diviene la distanza dell'oggetto da difendere, che deve avere rispetto all'impianto eolico. Come capita spesso con le ripercussioni delle analisi di sicurezza il provvedimento primario è da collegare con la distanza, cui è posto o può essere sistemato l'oggetto da proteggere. Se esso preesiste, la relazione spaziale tra campo eolico ed oggetto si trasferisce sulla collocazione del campo eolico. È quest'ultimo criterio che ha governato in assonanza ad una molteplicità di aspetti, come il rispetto dei vincoli ambientali e paesaggistici, la determinazione di un layout che riduca al minimo le conseguenze di eventuali incidenti, sorti nel suo ambito.