Doc. No. 11-807-H2
Rev.0 – LUGLIO 2012

Enel Green Power S.p.A.
Roma, Italia

Impianto di Produzione di Energia Elettrica da Fonte Eolica nell'Ambito del Porto di Genova

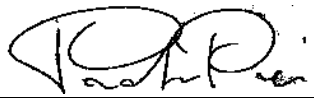
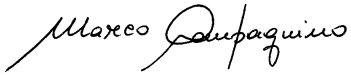
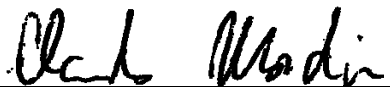
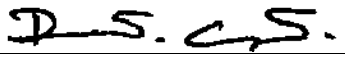
Rapporto
Analisi dei Possibili Incidenti

D'APPOLONIA

Enel Green Power S.p.A.
Roma, Italia

Impianto di Produzione di Energia Elettrica da Fonte Eolica nell'Ambito del Porto di Genova

Rapporto
Analisi dei Possibili Incidenti

Preparato da	Firma		Data
Paolo Paci			Luglio 2012
Controllato da	Firma		Data
Tiziana Pezzo			Luglio 2012
Marco Compagnino			Luglio 2012
Approvato da	Firma		Data
Claudio Mordini			Luglio 2012
Sottoscritto da	Firma		Data
Roberto Carpaneto			Luglio 2012

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Sottoscritto da	Data
0	Prima Emissione	PP	TP/MCO	CSM	RC	Luglio 2012

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto della D'Appolonia.

INDICE

Pagina

ELENCO DELLE TABELLE **II**
ELENCO DELLE FIGURE **II**
1 BREVE DESCRIZIONE DI PROGETTO **2**
2 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI POSSIBILI **3**
3 FREQUENZE DI ACCADIMENTO ATTESE DI EVENTO INCIDENTALE **4**
4 ANALISI DELLE POSSIBILI CONSEGUENZE DI EVENTO INCIDENTALE **7**
4.1 VALUTAZIONE DELLA GITTATA MASSIMA DI PALE/FRAMMENTI DI PALE IN CASO DI DISTACCO 7
4.2 DETERMINAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI IMPATTO 10
4.3 DETERMINAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI DANNO 12
5 CONCLUSIONI DELL'ANALISI **13**
RIFERIMENTI

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella No. **Pagina**

Tabella 3.1: Statistiche riassuntive di Temperatura Città di Genova 5
Tabella 3.2: Riassunto Frequenze di Accadimento 6
Tabella 4.1: Schema delle Gittate Tipiche di Pale per Aerogeneratori a Livello del Suolo Calcolate da Varie Fonti e Studi 9
Tabella 4.2: Schema delle Gittate Tipiche di Frammenti di Pala per Aerogeneratori a livello del Suolo calcolate da varie fonti e studi 10
Tabella 4.3: Schema delle Gittate Tipiche di Pale/Frammenti di Pala per gli Aerogeneratori utilizzati nel Progetto 10
Tabella 4.4: Frequenza Attesa di Impatto a Distanza di Pale/Frammenti di Pala per gli Aerogeneratori Utilizzati nel Progetto 12

ELENCO DELLE FIGURE

Figura No. **Pagina**

Figura 3.1: Distribuzione delle gelate in Europa 1991-1996 (Tammelin et Al., 1998) 6
Figura 4.1: Schematico del lancio di una Pala/Frammento di Pala (Larwood, 2005) 7
Figura 4.2: Probabilità di Impatto in un Settore Anulare (Larwood, 2005) 11

RAPPORTO
ANALISI DEI POSSIBILI INCIDENTI
IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA NELL'AMBITO DEL PORTO DI GENOVA

Nell'Ambito del progetto di realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nell'ambito portuale di Genova, una delle Task previste durante la fase di Ingegneria e di ottenimento dei relativi permessi è l'identificazione, valutazione ed analisi dei possibili incidenti, in ottemperanza a quanto previsto dal Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto 10.09.2010, "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", Allegato 4, § 7.1, "Analisi dei possibili incidenti"*.

Scopo del presente allegato tecnico, in ottemperanza al DM di cui sopra, è l'identificazione dei possibili incidenti e la valutazione delle frequenze e conseguenze attese in caso di evento incidentale di qualsiasi tipo, inclusa la rottura accidentale di parte dell'aerogeneratore (es. le pale).

Nei capitoli successivi viene brevemente introdotto il Progetto, e vengono fornite l'identificazione degli scenari incidentali possibili e le relative frequenze di accadimento attese. Per ciascun evento critico viene formulata una analisi delle possibili conseguenze di evento incidentale, insieme alle misure di mitigazione previste e relative conclusioni.

* I riferimenti sono riportati alla fine del testo.

1 BREVE DESCRIZIONE DI PROGETTO

Viene qui fornita una descrizione essenziale dell'Impianto. Per una descrizione esaustiva e le schede tecniche complete delle apparecchiature, occorre far riferimento al Rapporto principale.

L'impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica sarà costituito da 39 aerogeneratori ubicati su diversi tratti della Diga foranea del Porto di Genova, per una potenza installata di 7.8 MW e una produzione di energia annua stimata pari a circa 12 GWh. Gli Aerogeneratori saranno distribuiti in 5 zone, come segue:

- no. 8 aerogeneratori in Zona 1: che comprende il tratto di Levante della Diga Duca di Galliera e il prolungamento del molo Galliera;
- no. 4 aerogeneratori in Zona 4: dalla proiezione dello spigolo di levante del Ponte Eritrea fino alla proiezione dello spigolo di ponente del Ponte Somalia;
- no. 7 aerogeneratori in Zona 6: testata di levante della diga aeroportuale;
- no. 4 aerogeneratori in Zona 7: tratto Est della diga di Voltri;
- no. 16 aerogeneratori in Zona 8: lungo il tratto Sud della diga di Voltri.

Tutti gli aerogeneratori che si prevede di installare sono del tipo VERGNET GEV MP-R con potenza nominale di 199 kW. Le turbine avranno un rotore di 32 m di diametro con asse orizzontale e saranno sostenute da una torre tubolare controventata di altezza pari a 27 m, ridotta rispetto al modello caratteristico tipico di questi aerogeneratori che è normalmente pari a 50 m.

Gli aerogeneratori saranno collegati alla rete elettrica a terra mediante due attraversamenti sottomarini con cavidotto in trincea che saranno ubicati:

- nel tratto di fondale compreso tra il lato di Ponente della Diga ed il Molo Sottoflutto del Porto di Voltri;
- all'interno del canale portuale compreso tra la Diga di Sampierdarena e Calata Concenter.

2 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI POSSIBILI

Storicamente, il numero assoluto di incidenti che abbiano coinvolto persone o cose nell'industria dell'eolico è significativamente basso, e tuttavia la percentuale relativa di eventi è importante, a causa delle peculiarità della tipologia di tecnologia e delle difficili condizioni di sicurezza occupazionale afferenti. Per quanto riguarda il pubblico, si nota che su anni di funzionamento di oltre 50,000 macchine in tutto il nord america (USA, Canada), si sono registrati Zero incidenti (Osservatorio Energia, 2007).

I pericoli che possono derivare dalla presenza di un impianto eolico possono essere teoricamente legati sia alle normali condizioni di manutenzione/funzionamento sia a cause accidentali. I modi di guasto ed i problemi più tipici in assoluto che possano essere identificati sono i seguenti (Larwood, 2005; Osservatorio Energia, 2007, Seifert et Al., 2003):

- Incendio:
  - Malfunzionamento elettrico
  - eccesso di frizione
  - fulmini
- Proiezione di frammenti durante il funzionamento:
  - Proiezione di frammento di ghiaccio formatosi sulle eliche
  - Proiezione di frammento di elica (raro)
- Fallimento strutturale delle Eliche:
  - Proiezione di elica per distacco alla base
- Fallimento (collasso) della struttura:
  - difetto di installazione
  - eccedenza limiti di funzionamento di progetto
  - overspeed
- Problemi legati alla sicurezza occupazionale (principalmente dovuta a lavori in altezza).

La problematica legata alla sicurezza occupazionale va risolta con una apposita gestione della sicurezza durante le fasi di cantiere e manutenzione, mentre le problematiche relative ad Incendio sono da considerarsi un problema principalmente legato alla disponibilità di produzione energia.

Per quanto riguarda la sicurezza delle persone e del pubblico, il principale pericolo che può avere un impatto significativo è rappresentato dalla proiezione di una pala a seguito collasso o dalla proiezione di un frammento di pala o di un frammento di ghiaccio formatosi sulle pale. Su questi aspetti in particolare viene focalizzata l'analisi seguente.

3 FREQUENZE DI ACCADIMENTO ATTESE DI EVENTO INCIDENTALE

I Dati statistici disponibili per l'industria di produzione energia Eolica sono poco organizzate, in confronto con le tipiche statistiche disponibili per l'industria Chimica/Petrolchimica, Oil & Gas (Offshore/Onshore), e di Power Production tradizionale. In parte, ciò è dovuto a una minore diffusione del settore energetico eolico e in parte è dovuto alla relativa giovinezza del settore di produzione energia Eolica.

Le fonti attualmente disponibili riportano spesso le casistiche incidentali suddivise per tipologia di effetto, più che per tipologia di evento, oppure più semplicemente riportano dati statistici non correlati alla popolazione di controllo, rendendo - di fatto - impossibile ricostruire una frequenza incidentale, ma soltanto un numero di incidenti statistico (è il caso, ad esempio, delle statistiche fornite dal Caithness Windfarm Information Forum aggiornate al 2012 - www.caithnesswindfarms.co.uk).

Osservatorio Energia (2007) riporta una disamina interessante delle principali statistiche a livello Europeo relative a diversi modi di guasto degli Aerogeneratori, indicando in modo esplicito che i pericoli di natura accidentale che possono derivare dalla presenza di un impianto eolico sono legati principalmente dalla possibilità di rottura e/o lancio delle pale od ancora dal lancio di ghiaccio formatosi sulle parti rotanti. Essi fanno notare come dall'osservazione del funzionamento dell'eolico di grande taglia si sia potuto stimare la probabilità di rottura di una pala: tale frequenza di accadimento è calcolata statisticamente in **6.67 E-05 eventi/anno/generatore**. La statistica è considerata valida anche per impianti di piccola e media taglia in ambiente urbano.

Osservatorio Energia riporta anche i risultati parziali di altri gruppi di studio di vari paesi. Fra questi spiccano uno studio Francese del Bureau d'étude éolien et environnement, che riporta un rate accidentale per le pale più alto (un evento ogni 300 anni di funzionamento: 3.33 E-03 eventi/anno/generatore), e due studi Danesi, che riportano rispettivamente dei rate di incidente pari a 2.19 E-03 eventi/anno/generatore e 8.30 E-04 eventi/anno/generatore. Vengono riportati anche i risultati di uno studio aggiornato del produttore di aerogeneratori Vestas che ha registrato 7 incidenti occorsi nel corso di 13 anni su un parco eolico di 12700 impianti funzionanti, che si traduce in un rate incidentale di 4.24 E-05 eventi/anno/generatore, sostanzialmente confermando il dato di Osservatorio Energia per l'eolico di grande taglia.

Lo studio Californiano di Larwood (2005) riporta varie considerazioni sulle diverse statistiche disponibili per il fallimento delle pale, concludendo che la frequenza attesa di fallimento si colloca, molto pessimisticamente, fra 1.00 E-03 ed 1.00 E-02 eventi/anno/generatore. Tale opinione contrasta rispetto a studi diffusi (es. Eggwerts, 1981) ed alle statistiche dei produttori come Vestas (Osservatorio Energia, 2007), che riportano ratei di guasto alle pale dell'ordine di 1.00 E-05 eventi/anno/generatore, giudicati più realistici e statisticamente più significativi, poiché basati sull'osservazione continua di decine di migliaia di aerogeneratori per oltre dieci anni.

Per quanto riguarda la potenziale proiezione di frammenti di ghiaccio dalle pale dell'Aerogeneratore, la frequenza statistica con cui tale fenomeno accade dipende largamente (com'è ovvio) dalle condizioni ambientali del sito ove l'aerogeneratore è localizzato.

Seifert (Seifert et Al., 2003) definisce quattro condizioni a seconda del numero atteso di giorni di gelate in un anno:

- Gelate Intense: da 5 a 25 giorni di gelate all'anno;
- Gelate Moderate: più di 1 giorno e meno di 5 giorni di gelate all'anno;
- Gelate Leggere: massimo 1 giorno di gelate all'anno;
- nessuna gelata: non sono attesi giorni di gelo in cui formazione significativa di ghiaccio possa avvenire.

La suddivisione sopra è abbastanza tipica e, con qualche variante, generalmente accettata. La definizione di "gelata" è indicativa di una giornata di freddo intenso, con Temperatura sottozero costante e possibilità di formazione di Ghiaccio. La condizione per la formazione di ghiaccio dipende da molti fattori, ed in generale occorre una continuità prolungata di mantenimento della temperatura sottozero prima che il ghiaccio si possa formare, soprattutto in ambiente offshore e/o costiero, dove la salinità delle nebbie sollevate dal mare comporta un abbassamento del punto di congelamento.

In base alle statistiche disponibili per la città di Genova per gli anni 2005-2011 (Stazione Villa Cambiaso, temperatura basata su 48 misure giornaliere per ogni giorno), si possono trarre conclusioni relative alla città di Genova riassunte nella seguente Tabella 3.1 (fonte: Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio dell'Università degli studi di Genova - www.dicat.unige.it/meteo/anni).

Tabella 3.1: Statistiche riassuntive di Temperatura Città di Genova

Anno.	No. Giorni con T_{min} < -3℃	No. Giorni con T_{min} < 0℃	No. Giorni con T_{max} < 0℃	Condizioni di Gelo prolungate?
2005	1	8	nessuno	No
2006	1	5	nessuno	No
2007	nessuno	nessuno	nessuno	No
2008	nessuno	1	nessuno	No
2009	nessuno	7	nessuno	No
2010	nessuno	5	nessuno	No
2011	nessuno	nessuno	nessuno	No

Da quanto sopra emerge che in linea generale non viene attesa una significativa possibilità di gelate (Icing) a Genova, tali da poter costituire un potenziale pericolo di formazione e distacco di pezzi di ghiaccio dalle pale di un aerogeneratore.

B. Tammelin (Tammelin et Al., 1998) ha raccolto dati sulle gelate in Europa negli anni 90, mostrando le zone Europee in cui si attende possibilità di gelate. Genova e la Liguria (Figura 3.1) sono classificate come zone dove le gelate non sono attese in modo significativo.

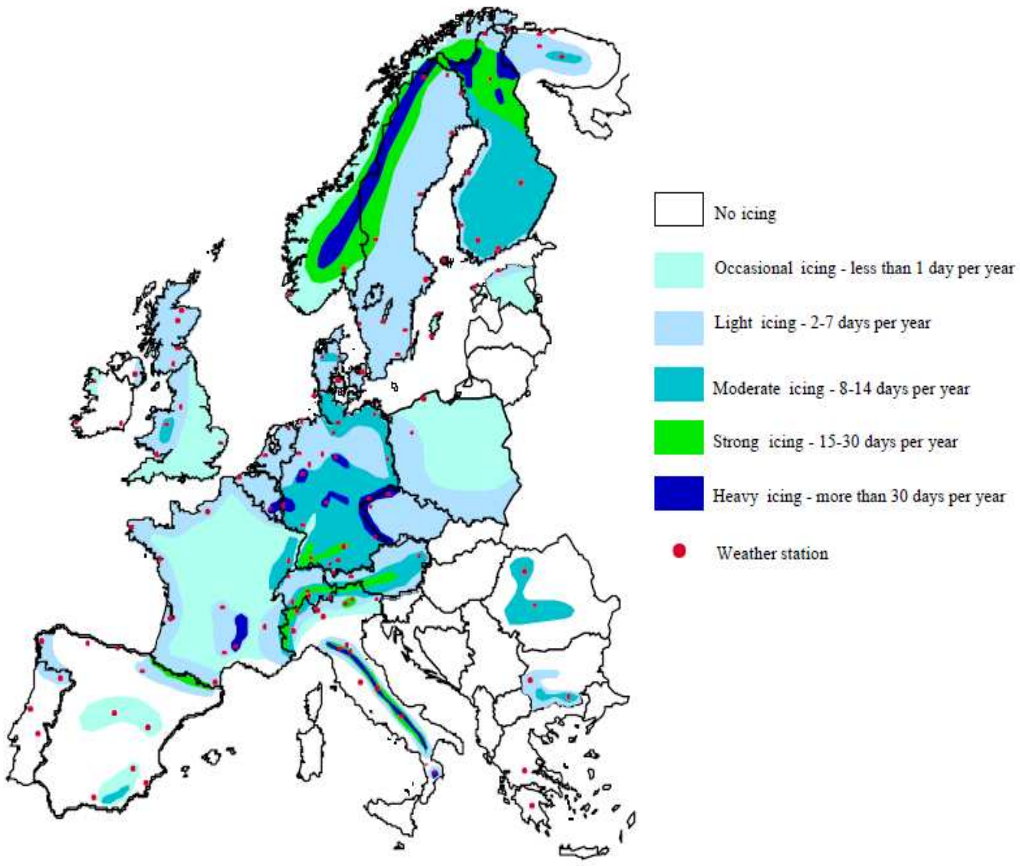


Figura 3.1: Distribuzione delle gelate in Europa 1991-1996 (Tammelin et Al., 1998)

Si può pertanto affermare che la frequenza attesa di formazione di ghiaccio sulle pale di aerogeneratori sulla zona costiera di Genova è trascurabile.

I risultati precedenti sono riassunti nella seguente Tabella 3.2.

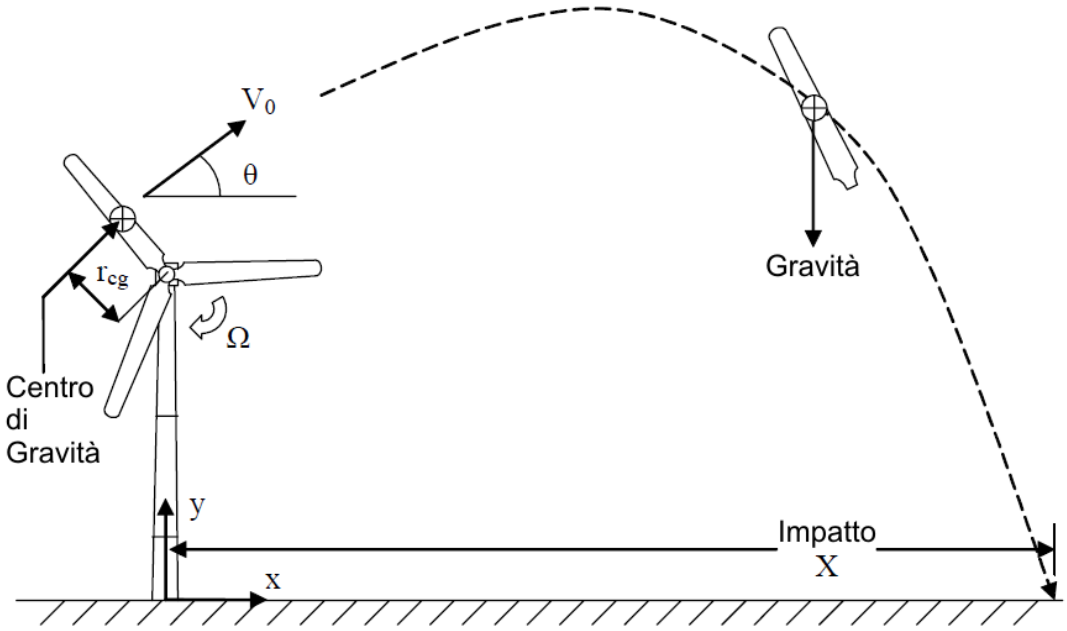
Tabella 3.2: Riassunto Frequenze di Accadimento

No.	Tipologia di Evento	Frequenza Statistica tipica [ev./anno/generatore]	Riferimento
1	Frequenza di Proiezione Pale o Frammenti di Pale	6.67 E-05	Osservatorio Energia, 2007
2	Frequenza di Proiezione ghiaccio formatosi sulle pale dell'aerogeneratore	Evento non atteso a Genova	Tammelin et Al., 1998

4 ANALISI DELLE POSSIBILI CONSEGUENZE DI EVENTO INCIDENTALE

4.1 VALUTAZIONE DELLA GITTATA MASSIMA DI PALE/FRAMMENTI DI PALE IN CASO DI DISTACCO

Tipicamente, per valutare l'impatto e le conseguenze di proiezione di pale o frammenti a seguito di evento incidentale sugli aerogeneratori, si utilizzano metodi tipici dell'Ingegneria Balistica, basati sulle equazioni di lancio e traiettoria (Scott Larwood, 2005; HSE UK, 2007; Osservatorio Energia, 2007, etc.). Questi metodi si basano in principio sulle equazioni balistiche di lancio di oggetti, come illustrato in Figura 4.1.



V_0 = Velocità iniziale del Frammento/Pala al centro di gravità
r_{cg} = posizione radiale del centro di gravità
Ω = Velocità Rotazionale del Rotore
θ = angolo di rilascio fra il vettore velocità e l'asse orizzontale
X = distanza orizzontale raggiunta dal frammento

Figura 4.1: Schematico del lancio di una Pala/Frammento di Pala (Larwood, 2005)

Il fallimento di una pala a turbina ferma, oltre ad essere un evento praticamente trascurabile come frequenza di accadimento, presenta scarso rilievo in quanto l'area interessata all'incidente è circoscritta alla zona sotto l'aerogeneratore, tipicamente isolata e non presidiata. Diverso è il caso, assai più rilevante anche dal punto di vista statistico, di fallimento della pala o di un frammento di essa con aerogeneratore in marcia. In questo caso le equazioni che governano il moto della pala/frammento sono governati da forze specifiche, che dipendono dalla velocità iniziale (conseguente alla velocità di rotazione delle pale), della

forza di gravità e della resistenza aerodinamica. La velocità iniziale della pala/frammento è funzione della velocità di rotazione, come indicato in Equazione (1).

$$V_{tip} = \Omega \cdot R \quad (1)$$

Dove:

Ω = Velocità Rotazionale del Rotore

R = Raggio del Rotore (al Tip della Pala)

La velocità tipica delle Turbine al Tip varia normalmente fra i 40 ed i 100 m/s (Larwood, 2005). Tale velocità è tipica in turbine moderne come ottimo compromesso fra indice prestazionale ed emissioni acustiche conseguenti.

A seguito di fallimento di una pala/frammento, l'equazione che governa la velocità iniziale di proiezione del frammento è data da Equazione (2).

$$V_0 = \Omega \cdot r_{cg} \quad (2)$$

Dove:

Ω = Velocità Rotazionale del Rotore

r_{cg} = posizione radiale del centro di gravità della pala/frammento

Data l'equazione precedente si capisce come al momento del distacco, un frammento abbia una velocità iniziale maggiore di una pala intera: ciò dipende da una maggiore posizione radiale del singolo frammento. Inoltre si nota come la velocità iniziale di una pala o frammento dipendano sempre dalla velocità di rotazione.

Considerando una traiettoria in assenza di forze aerodinamiche (moto nel vuoto), dove la sola forza esterna agente sul proiettile (pala o frammento) sia la forza di gravità, l'equazione che governa la traiettoria è data in Equazione (3).

$$X = \frac{V_0^2}{g} \cdot \sin(2 \cdot \theta) \quad (3)$$

Dove:

X = distanza orizzontale raggiunta dal frammento/pala

V_0 = Velocità iniziale del Frammento/Pala al centro di gravità

θ = angolo di rilascio fra il vettore velocità e l'asse orizzontale

g = forza di gravità (9.81 m/s^2 nel S.I.)

L'Angolo di rilascio (θ) dipende direttamente dalla posizione rotazione al momento del distacco. Nel vuoto, essendo nulle le forze aerodinamiche di qualunque tipo, la massima gittata (cioè la massima distanza rispetto alla base dell'Aerogeneratore) si raggiunge quanto l'angolo θ = 45°.

In tal caso la gittata è massima e vale come descritto in equazione (4):

$$X_{MAX} = \frac{V_0^2}{g} \qquad (4)$$

Dove:

X_{MAX} = distanza massima orizzontale raggiunta dal frammento/pala (in assenza di forze aerodinamiche incidenti)

Nella realtà non è realistico considerare sempre nulle le forze aerodinamiche, in quanto esse sono spesso molto influenti sul risultato finale di gittata. L'equazione del vuoto è sicuramente importante per mostrare la dipendenza della gittata dal quadrato della velocità iniziale e dall'angolo azimutale. Nella pratica, le forze aerodinamiche sono tipicamente suddivise in due componenti ("Lift" e "Drag"), che vengono modellate come costanti proporzionali al quadrato della velocità istantanea. Le equazioni che governano il moto di un proiettile complete con le forze aerodinamiche richiedono, per essere risolte, l'utilizzo di metodi numerici.

Osservatorio Energia (2007) ha condotto numerose simulazioni di gittata da Aerogeneratori, con Alberi di diversa altezza e lunghezza di pala, ed in diverse condizioni di altezza della base dal suolo. In moti casi le simulazioni sono state condotte considerando gli stessi tipi di Aerogeneratori (Vergnet) previsti per il progetto in esame.

Scott Larwood (2005) ha condotto varie simulazioni numeriche su Turbine di diverse altezze, sia per il caso di distacco di Pala sia per il caso di lancio di frammento. In tutti i casi ha poi "normalizzato" i risultati per la massima gittata attesa in base all'altezza degli Aerogeneratori, mostrando un significativo "trend" fra massima gittata attesa e altezza degli aerogeneratori.

Richard Cotton (HSE-UK, 2007) ha elaborato diversi modelli e varianti con differenti valori di coefficiente aerodinamico DRAG, sial per lancio di Pala che per lancio di frammento.

In Tabella 4.1 e Tabella 4.2, rispettivamente, sono riportati i risultati dei calcoli di Gittata da varie fonti disponibili per il lancio di Pale intere e di Frammenti di Pala.

Tabella 4.1: Schema delle Gittate Tipiche di Pale per Aerogeneratori a Livello del Suolo Calcolate da Varie Fonti e Studi

No.	Tipo di Aerogeneratore	Gittata Max pala	Velocità di Impatto	Riferimento
1	Eoltec Chinook (Altezza: 32 m - Pale: 7-9 m)	~ 145 m	~ 45 m/s	Osservatorio Energia, 2007
2	Fuhrländer (Altezza: 27-35 m - Pale: 7-11 m)	~ 80-100 m	~ 35-40 m/s	Osservatorio Energia, 2007
3	Fuhrländer (Altezza: 50 m - Pale: 15 m)	~ 135 m	~ 45 m/s	Osservatorio Energia, 2007

No.	Tipo di Aerogeneratore	Gittata Max pala	Velocità di Impatto	Riferimento
4	Vergnet (Altezza: 24-30 m - Pale: 3.5-8 m)	~ 100-160 m	~ 35-45 m/s	Osservatorio Energia, 2007
5	Vergnet (Altezza: 50 m - Pale: 13 m)	~ 170 m	~ 45 m/s	Osservatorio Energia, 2007
6	Generatore Generico (Altezza: 65 m - Pale: 45 m)	~ 185 m(1)	N/A	HSE-UK, 2007
7	Generatore Generico (Altezza: < 50 m)	~ 70-100 m	N/A	Larwood, 2005
8	Generatore Generico (Altezza: 50-100 m)	~ 70-120 m	N/A	Larwood, 2005
9	Generatore Generico (Altezza: > 100 m)	~ 120 m	N/A	Larwood, 2005

Note:
(1) Massimo al 99° Percentile delle simulazioni, Coefficiente di DRAG medio

Tabella 4.2: Schema delle Gittate Tipiche di Frammenti di Pala per Aerogeneratori a livello del suolo calcolate da varie fonti e studi

No.	Tipo di Aerogeneratore	Gittata Max frammento di Pala	Velocità di Impatto	Riferimento
1	Generatore Generico (Altezza: 65 m - Pale: 45 m)	~ 900 m(1)	N/A	HSE-UK, 2007
2	Generatore Generico (Altezza: < 50 m)	~ 140 m	N/A	Larwood, 2005
3	Generatore Generico (Altezza: 50-100 m)	~ 320-370 m	N/A	Larwood, 2005
4	Generatore Generico (Altezza: > 100 m)	~ 300 m	N/A	Larwood, 2005

Note:
(1) Massimo al 99° Percentile delle simulazioni, Coefficiente di DRAG medio

Fra tutte le simulazioni condotte e disponibili in letteratura, limitandosi ad un'analisi valida per la tipologia e dimensioni previste per il Progetto (rotore di 32 m di diametro con asse orizzontale sostenuto da una torre tubolare controventata di altezza pari a 27 m), si può riassumere quanto riportato nello schema alla Tabella 4.3 seguente.

Tabella 4.3: Schema delle Gittate Tipiche di Pale/Frammenti di Pala per gli Aerogeneratori utilizzati nel Progetto

Aerogeneratore	Gittata Max Attesa	Velocità di Impatto Attesa
VERGNET GEV MP-R (199 kW). (Altezza: 27 m - Pale: 16 m)	Pala intera: ~ 100 m Frammento di Pala: ~ 140 m	Pala intera: ~ 35-40 m/s Frammento di Pala: N/A

4.2 DETERMINAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI IMPATTO

È importante notare che le Gittate Massime attese calcolate al Paragrafo precedente sono un parametro essenziale per capire la portata dei possibili impatti a seguito di incidente e proiezione di pale/frammenti, ma tuttavia non restituiscono il quadro completo (e nemmeno quello più "probabile") relativo alla proiezione di oggetti dagli aerogeneratori. E' infatti

essenziale valutare anche con quale probabilità l'oggetto proiettato può raggiungere tali distanze. In base alle statistiche sugli eventi incidentali sembra che, nella stragrande maggioranza dei casi, l'impatto al suolo avvenga nelle immediate vicinanze dell'aerogeneratore, a poca distanza orizzontale dalla base del Palo.

Tetratech EC Inc. (2007) riporta che la frequenza attesa di distacco di pale o frammenti è minima, e che nelle rare istanze in cui avviene, tipicamente la pala/frammento cade direttamente al suolo adiacente al palo dell'aerogeneratore.

Per valutare la reale probabilità di danno è pertanto essenziale poter definire la reale probabilità di caduta nello spazio fra la base dell'aerogeneratore e la massima gittata attesa come definita al precedente Paragrafo.

Per tale scopo esistono vari modelli, che vanno dalla semplice osservazione della probabilità di presenza di ricettori sensibili (es. Persone) per metro quadro, al più sofisticato metodo che prevede il calcolo della probabilità di impatto in un "anello" concentrico alla posizione del distacco a distanza orizzontale dal centro. Esempi di quest'ultimo modello si trovano in Larwood (2005), dove si riporta la probabilità di impatto nel settore Anulare considerato. La probabilità così calcolata è riportata in Figura 4.2.

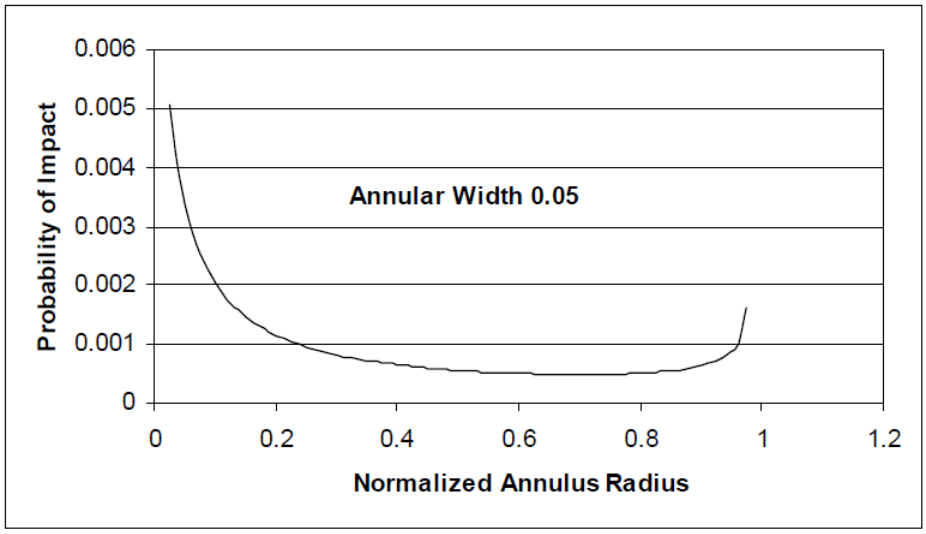


Figura 4.2: Probabilità di Impatto in un Settore Anulare (Larwood, 2005)[1]

Come si vede da Figura 4.2, la probabilità di impatto è significativamente più alta alla base dell'Aerogeneratore (e questo coincide con le osservazioni), per poi abbassarsi e rialzarsi nuovamente verso la massima gittata attesa. Tale massimo esterno è dovuto alle equazioni utilizzate e fornisce un massimo al Rischio che può ragionevolmente essere utilizzato per la definizione delle distanze di esclusione.

[1] La probabilità è data come funzione dell'Anello Normalizzato sulla massima gittata attesa. Pertanto il grafico fornito è valido qualunque sia la massima gittata attesa.

Per il Progetto, considerando le massime gittate calcolate al Paragrafo 4.1 per la proiezione di Pale e Frammenti in caso di incidente, e la tipica frequenza di proiezione calcolata al Capitolo 3, si può riassumere la seguente Frequenza di Impatto Attesa per diverse distanze orizzontali dalla base del palo, come da probabilità di Figura 4.2:

Tabella 4.4: Frequenza Attesa di Impatto a Distanza di Pale/Frammenti di Pala per gli Aerogeneratori Utilizzati nel Progetto

Distacco Pala		Distacco Frammento di Pala	
Distanza Orizzontale dal Palo [m]	**Frequenza Attesa di Impatto per Distacco Pala [ev/anno/generatore]**	**Distanza Orizzontale dal Palo [m]**	**Frequenza Attesa di Impatto per Distacco Frammento di Pala [ev/anno/generatore]**
base palo	6.58E-05	base palo	6.58E-05
10	1.33E-07	14	1.33E-07
20	8.00E-08	28	8.00E-08
30	5.34E-08	42	5.34E-08
40	4.34E-08	56	4.34E-08
50	3.67E-08	70	3.67E-08
60	3.34E-08	84	3.34E-08
70	3.00E-08	98	3.00E-08
80	3.34E-08	112	3.34E-08
90	4.67E-08	126	4.67E-08
100	4.00E-07	140	4.00E-07

4.3 DETERMINAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI DANNO

La probabilità di Impatto definita con Figura 4.2 è "pura", cioè si riferisce all'impatto ad una data distanza a prescindere dalla presenza o meno di elementi vulnerabili. Analogamente la Frequenza calcolata in Tabella 4.4 a varie distanze è una frequenza di impatto, non di "danno". In questo calcolo non si tiene conto, cioè, della presenza reale di elementi che possano subire danno dall'impatto (es. Persone o Cose). La reale probabilità di presenza di un "ricettore" vulnerabile deve ancora essere inserita nell'equazione.

Nel caso degli Aerogeneratori di progetto, il Posizionamento degli Aerogeneratori nella Nuova Configurazione (si vedano Fig. 2.2a e Fig. 2.2b della relazione principale) prevede una distanza minima degli Aerogeneratori di oltre 250 metri da qualsiasi struttura portuale presidiata. Pertanto non si attende nessun impatto possibile su tali strutture.

Quello che potrebbe invece essere possibile è un impatto su mezzi in navigazione che possano trovarsi entro la massima gittata attesa di pale o frammenti (rispettivamente 100 m e 140 m). La reale probabilità di Impatto e di danno dipende dalla combinazione di presenza di ricettore vulnerabile nel punto esatto di caduta della pala o frammento di pala. Tale probabilità di presenza dipende dalla frequenza di passaggio dei mezzi di navigazione e dalla probabilità di occupazione del punto di impatto, al momento dell'impatto, ed è ragionevolmente bassissima. Anche stimando un limite superiore per tale probabilità di presenza pari a 0.05 (è molto ragionevole che sia inferiore di anche un ordine di grandezza), risulterebbe che la frequenza attesa di impatto/danno su un mezzo in navigazione a seguito

distacco pala o frammento di pala sia, in base alle frequenze di Tabella 4.4[2], compresa fra circa 1.50E-09 e 2.00E-08 ev/anno/generatore, cioè assolutamente trascurabile.

5 CONCLUSIONI DELL'ANALISI

Nell'Ambito del progetto di realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nell'ambito portuale di Genova, una delle Task previste durante la fase di Ingegneria e di ottenimento dei relativi permessi è l'identificazione, valutazione ed analisi dei possibili incidenti, in ottemperanza a quanto previsto dal Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto 10.09.2010, "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", Allegato 4, § 7.1, "Analisi dei possibili incidenti".

I pericoli che possono derivare dalla presenza di un impianto eolico possono essere teoricamente legati sia alle normali condizioni di manutenzione/funzionamento sia a cause accidentali. I modi di guasto ed i problemi più tipici in assoluto che possano essere identificati sono legati a problemi di sicurezza occupazionale, che vanno risolti semplicemente con una apposita gestione della sicurezza durante le fasi di cantiere e manutenzione, mentre le problematiche relative ad Incendio sono un problema principalmente legato alla disponibilità di produzione energia, ma essendo l'impianto non presidiato non costituiscono di per se un problema di sicurezza.

Il principale pericolo che può avere un impatto significativo su persone o proprietà è rappresentato dalla proiezione di una pala a seguito collasso o dalla proiezione di un frammento di pala o di un frammento di ghiaccio formatosi sulle pale. Su questi aspetti in particolare viene è stata focalizzata l'analisi, che ha mostrato come la formazione e proiezione di frammenti di ghiaccio a Genova è un evento assolutamente remoto e non atteso, mentre il distacco di pale o frammenti di pala è un evento con una frequenza attesa molto bassa ma possibile. La frequenza attesa di danno è tuttavia trascurabile o nulla, considerando la posizione degli aerogeneratori, che escludono da un lato qualsiasi possibile interazione con le strutture portuali fisse presidiate, e dall'altro che riducono la frequenza attesa di interazione possibile con i mezzi di navigazione a valori assolutamente trascurabili.

PP:mcs

[2] Danno possibile solo per cadute oltre i 10 m di distanza orizzontale dalla base del palo.

RIFERIMENTI

Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto 10.09.2010, "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", Allegato 4, § 7.1, "Analisi dei possibili incidenti"

Scott Larwood, 2005, "Permitting Setbacks for Wind Turbines in California and the Blade Throw Hazard", REPORT NUMBER CWEC-2005-01 of the Public Interest Energy Research (PIER) program, California Energy Commission

Osservatorio Energia, 2007, Dossier No. 15, "Eolico in ambiente urbano: stato dell'arte"

Seifert et Al., 2003, Paper, "RISK ANALYSIS OF ICE THROW FROM WIND TURBINES", Boreas, European Community - Non-Nuclear Energy Programme

Eggwertz et Al., 1981, Safety of Wind Energy Conversion Systems with Horizontal Axis (HA WECS). Stockholm, Flygtekniska Försöksanstalten (FFA- The Aeronautical Research Institute of Sweden). Technical Note HU-2229.

Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio Università degli studi di Genova, 2012 - Archivio serie meteorologiche annuali - www.dicat.unige.it/meteo/anni

B. Tammelin et Al., 1998, Report No. JOR3-CT95-0014, "WIND ENERGY PRODUCTION IN COLD CLIMATE (WECO)", FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE, Non Nuclear Energy programme JOULE III

HSE UK, 2007, Report ESS/2006/27, "Numerical Modelling of Wind Turbine Blade Throw", HSE Laboratories, April

Tetratech EC Inc., 2007, Report, "Wind Turbine Ice/Blade Throw - Exhibit 14", preparato per New Grange Wind Farm LLC, Boston