



**CENTRALE EOLICA OFFSHORE BRINDISI  
PARCO EOLICO MARINO ANTISTANTE LE COSTE DI BRINDISI -  
SAN PIETRO VERNOTICO E TORCHIAROLO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

<p>ELABORATO</p> <p><b>PRO-REL-06</b></p>	<p>TITOLO</p> <p align="center"><b>INCIDENTI IN CAMPI EOLICI E RELATIVE INFLUENZE SU INSTALLAZIONE ED ESERCIZIO</b></p>	<p>SCALA</p> <p align="center">—</p>
-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------

Responsabile Progetto : Prof. Giuseppe Cesario Calò

**Committente**



TG Energie rinnovabili S.r.l.  
Ravenna via Zuccherificio n.10  
P.IVA 02260730391



**Gruppo di progettazione**

**ELABORAZIONE DOCUMENTO A CURA DI**

**Ing. Franco Cesari**



**GESTIONE DOCUMENTO**

Rif. DWG		Prot. n.	
Disk/dir.		Data Prot.	
N° revisione	01	N° edizione	
Data revisione	06-03-2013	Data edizione	

Il presente documento è proprietà riservata di TG S.r.l. Ai sensi dell'art. 2575 C.C. è vietata la riproduzione, la pubblicazione e l'utilizzo senza espressa autorizzazione.

<b>REVI- SIONE</b>	<b>DATA</b>	<b>STATO MODIFICHE</b>	<b>ATTUALE</b>	<b>E</b>	<b>AUTORE</b>	<b>APPRO- VATO</b>
<i>00</i>	<i>Marzo 2013</i>	<i>Stesura iniziale approvata Idem Idem Nuovo layout campo a mare Impianto elettrico a terra/mare</i>			<i>Cesari, Bazzotti, Taraborrelli Grasso Fiandaca</i>	<i>Cesari</i>
<i>01</i>	<i>Aprile 2013</i>	<i>Pagg. 2/9; Figg. 2-2b/3c; Tab. 2.2.1;</i>				<i>Cesari</i>

*I testi, contenuti nei Capp. 5, 6 e 7 del presente documento, sono tratti dai Capp. 2, 3 e 5 di "Eventi incidentali e loro effetti sugli impianti eolici" a cura di F.G. Cesari.*

# INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
1.1 <i>Contenuto della trattazione.....</i>	5
1.2 <i>Impianti eolici a mare.....</i>	9
<b>2 OPERE ELETTROMECCANICHE A TERRA E A MARE E SITO EOLICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 <i>L'impianto elettrico.....</i>	12
2.2 <i>Sito a mare.....</i>	14
2.3 <i>Componenti principali.....</i>	18
2.4 <i>Distribuzione sul sito.....</i>	21
<b>3 STRUTTURA FONDARIA .....</b>	<b>26</b>
3.1 <i>Fondazione a castello tipo jacket.....</i>	26
3.2 <i>Specifiche tecniche della fondazione.....</i>	32
<b>4 AEROGENERATORE .....</b>	<b>36</b>
4.1 <i>Aerogeneratore e suoi componenti primari.....</i>	36
4.2 <i>Analogie con le turbine a terra.....</i>	42
<b>5 EVENTI INCIDENTALI E LORO SVILUPPO .....</b>	<b>44</b>
5.1 <i>Individuazione degli eventi.....</i>	44
5.1.1 <i>Classi di incidenti.....</i>	44
5.1.2 <i>I numeri della banca dati dagli anni '90 al presente decennio .....</i>	48
5.1.2.1 <i>Numero complessivo di incidenti.....</i>	48
5.1.2.2 <i>Numero complessivo d'incidenti con vittime .....</i>	50
5.2 <i>Meccanismi incidentali.....</i>	52
5.2.1 <i>..da eventi meccanici.....</i>	53
5.2.1.1 <i>Considerazioni sui cedimenti di pala.....</i>	53
5.2.1.1.1 <i>Numero di eventi incidentali su pala.....</i>	56
5.2.1.1.2 <i>Rottura/deformazione della torre e suo scalzamento .....</i>	57
5.2.1.2.1 <i>Numero di eventi incidentali su struttura .....</i>	61
5.2.1.3 <i>Eventi incidentali da lancio di ghiaccio.....</i>	62
5.2.1.3.1 <i>Numero di eventi incidentali da lancio di ghiaccio.....</i>	62
5.2.1.4 <i>Eventi incidentali da trasporti .....</i>	63
5.2.1.4.1 <i>Numero di eventi incidentali da trasporti .....</i>	64
5.2.1.5 <i>Eventi incidentali di varia natura .....</i>	64
5.2.1.5.1 <i>Numero di eventi incidentali di varia natura .....</i>	65
5.2.2 <i>..da accidenti esterni all'aerogeneratore.....</i>	67
5.2.2.1 <i>Fulminazioni e fuoco.....</i>	67

5.2.2.1.1	Numero di eventi incidentali da fuoco .....	68
5.2.2.2	Incidenti con influenza sull'ambiente (collisioni, etc.) .....	68
5.2.2.2.1	Contatti in aria.....	68
5.2.2.2.2	Numero di eventi incidentali sull'ambiente .....	71
5.2.2.2.3	Contatti in mare .....	72
5.2.2.3	Collisioni tra natanti e strutture portanti.....	73
5.3	Danni conseguenti ad oggetti esterni .....	74
<b>6</b>	<b>INCIDENTI DI NATURA MECCANICA.....</b>	<b>79</b>
6.1	Incidenti e loro classificazione.....	79
6.1.1	Categorie di incidenti meccanici.....	79
6.1.2	Elenco di eventi incidentali meccanici.....	82
6.2	Frequenza di occasione e rischio conseguente.....	85
6.2.1	Frequenze e probabilità .....	85
6.2.2	Incidenti e relativa probabilità di occasione.....	90
6.2.3	Ancora sulle frequenze di occasione con opinioni in merito .....	95
6.3	Distacco parziale/totale della pala .....	101
6.3.1	Distanza tra turbina eolica ed abitato.....	101
6.3.2	Casi significativi.....	107
6.3.2.1	In impianti a terra .....	108
6.3.2.2	In impianti a mare .....	114
<b>7</b>	<b>INCIDENTI A PERSONALE/MATERIALE DURANTE I LAVORI PER LA REALIZZAZIONE E PER L'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO EOLICO .....</b>	<b>115</b>
7.1	Criteri di catalogazione.....	115
7.1.1	Alcuni indici di comportamento.....	115
7.1.2	Modalità di rilevamento delle incidentalità .....	117
7.2	Incidenti durante trasporto/installazione.....	120
7.2.1	Campi eolici a terra .....	123
7.2.2	Campi eolici a mare .....	127
7.2.2.1	Rilevamento di eventi .....	127
7.2.2.2	Alcuni casi reali .....	134
7.3	Incidenti durante l'esercizio normale e la manutenzione.....	137
7.3.1	Campi eolici a terra .....	137
7.3.2	Campi eolici a mare .....	140
7.3.2.1	Rilevamento di incidenti.....	140
7.3.2.2	Alcuni casi reali .....	144
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>148</b>

# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 Contenuto della trattazione

La presente *Relazione Tecnica Specialistica* o semplicemente detta Relazione Specialistica (a seguire richiamata con la sigla *Rel. Spec.*) raccoglie le informazioni utili a comprendere soluzioni, disegni e fotografie, che sono allegati per descrivere e per illustrare i provvedimenti relativi all'argomento in causa. Questi sono stati presi in sede progettuale e sono stati, o parzialmente inclusi nella *Relazione Tecnica Generale* (in seguito abbreviata come *Rel. Tec.*), o vi sono soltanto accennati.

I

La *Rel. Spec.* serve a presentare una

la *sezione virtuale dell'impianto eolico e delle sue componenti principali* come si succedono all'interno della centrale (Capp. 1-4);

- la *classe degli incidenti* da considerare per gli impianti eolici ed i numeri degli stessi relativamente al periodo di tempo sino a tutto il 31 Dicembre 2012 (Cap. 5);

- gli *incidenti di natura meccanica* attraverso le categorie degli stessi, la loro frequenza di occasione e gli effetti di un incidente molto numeroso dovuto alla rottura della pala (Cap. 6);

- gli incidenti a personale/materiale durante i lavori per la realizzazione e per l'esercizio dell'impianto eolico, che sia collocato, sia a terra, sia a mare (Cap. 7).

Il componente primario è costituito dalla *turbina eolica*. Nell'economia espositiva del presente documento l'aerogeneratore, pur essendo il punto iniziale del ciclo energetico dell'insediamento eolico, viene a rappresentare solamente la ragione dell'impianto e non interviene direttamente sul percorso dell'energia, se non come origine dell'energia da trasportare a terra.

Il documento nasce, infatti, dalla sollecitazione formulata da organi tecnici (Capitaneria, etc.) dell'Amministrazione centrale o locale, richiedente in uno *schema la*

*successione dei vari elementi, che compongono il campo e che si allacciano alla rete a terra tramite una serie di cavi.*

*Tutti gli elementi dell'impianto concorrono e servono soltanto a determinare la prima parte della trattazione. Essa ne è anche la parte introduttiva, che, però, è essenziale ai fini conoscitivi. Fornisce, infatti, tutto ciò che è indispensabile sapere sul progetto dell'impianto eolico e funge da sottofondo indispensabile al prosieguo della trattazione tecnica.*

*La parte successiva risponde appieno al tema, che è assegnato alla Relazione Specialistica e che è riassunto schematicamente nel titolo stesso. Gli eventi negativi, che tormentano l'esercizio e che influiscono sulla realizzazione degli aerogeneratori, sono provocati specialmente -e non unicamente- da *manifestazioni naturali*. Anche azioni umane inconsulte ed impreviste, pur se in misura meno preponderante di quelle scatenate dalla natura e dalle macchine, possono entrare nel ventaglio delle cause di incidente, che dovranno essere considerate tutte per effettuare la ricostruzione completa delle motivazioni iniziatrici degli incidenti all'impianto.*

*L'indagine delle tipologie incidentali va associata con l'escussione degli eventi, che sono stati evidenziati da mezzi di stampa, da rapporti di ricercatori, da comunicati di gestori d'impianto e che sono collazionati da alcune banche-dati. Ad essi va fatta seguire la determinazione delle frequenze di occasione per tipo di causa e di effetto prodotto. Per il caso particolare di rottura di pala, che è l'evento meccanico più temibile e più numeroso, va dedicata un esame anche tecnologico più particolareggiato.*

*Infine, lo sguardo più attento e più scrupoloso va destinato a tutto quanto si denuncia e si rileva per gli impianti a mare, sia durante tutte le fasi installative, sia nei periodi successivi dell'esercizio della centrale.*

Gli *argomenti principali*, che saranno esposti in successione nei paragrafi a seguire e che fanno parte della sezione introduttiva ed illustrativa dell'impianto complessivo, si riferiscono

- in modo abbastanza riassuntivo al percorso dei cavi sottomarini, provenienti dal sito a mare (Figg. 2-1/2), al cavo sottomarino, alla sua dislocazione lungo il tragitto da ogni singola unità entro ogni sottocampo e dal nodo terminale dei sottocampi sino a riva, ivi comprese le problematiche installative;
- alla struttura fondaria (Cap. 3), che serve a sostenere la turbina eolica;
- al convertitore d'energia eolica in elettrica, di cui saranno prodotte soltanto indicazioni molto limitate sulla sua descrizione (Cap. 4) e più ampie per la sua installazione.

Il punto di atterraggio dei cavi è il terminale dello sviluppo a mare del cavo, se si assegna alla prima turbina di ogni sottocampo il punto d'inizio del suo tragitto.

Lo *sviluppo dei temi*, afferenti ogni componente dell'impianto eolico, non avrà lo stesso peso e la stessa ampiezza. Si dovrà necessariamente graduare la esposizione, tenendo ben fisso lo scopo della *Rel. Spec.* I componenti, che prenderanno molto



a)



b)

*Fig. 1-1. Fase di installazione di turbine e precisamente del rotore (a) e vista (b) di alcune unità con il jack-up sullo sfondo nel sito di Ormonde (Vattenfall)*

spazio, saranno soprattutto il sistema fondario -almeno sotto alcuni aspetti capaci di evidenziare la sua funzione di sostegno- e la turbina eolica.

Per la fondazione e per l'aerogeneratore le caratteristiche determinati per la installazione (montaggio a terra/mare, trasporti, etc.) possono essere decisive ed essenziali al fine di rispondere al tema, che si è imposta alla presente trattazione e che riguarda fasi lavorative opposte a quelle installative.

Per il cavo sottomarino vale anche la pena di dedicare un po' di spazio per discutere le alternative, che la tecnologia delle operazioni a mare è in grado di offrire per mettere a dimora i cavi e per interrarli nel fondale in modo da evitare possibili cause d'incidente.

Si è ritenuto di radunare in un documento ad hoc, sintetico in quanto orientato tematicamente alle soluzioni anche alternative a quelle progettuali, che sono quasi integralmente esposte nella *Rel. Tec.* (come nel Cap. I di quel documento là si spiega) e che vi appaiono sistemate con criteri più contenuti.

Criteri, che sono altrettanto rigorosi di quelli seguiti in questo documento, ma che qui riguardano anche soluzioni alternative a quella scelta per l'impianto ed abbandonate per le motivazioni, che soltanto qui vengono addotte e discusse. E', giocoforza, ricorrere alla *Rel. Tec.* generale ed ai suoi allegati -soprattutto grafici- per le informazioni aggiuntive od esplicative di più ampio respiro specialmente riguardanti l'impianto complessivo.

Si deve aver piena coscienza che quanto è in questa sede riportato non costituisce un documento alternativo al progetto. E' un ampliamento, una precisazione ed una selezione orientata di temi, che in parte sono stati elaborati in sede progettuale e, poi, abbandonati e che ora devono essere trattati, esposti, ampliati ed approfonditi in modo da corrispondere al tema centrale dell'attuale *Rel. Spec.*

Questa *Rel. Spec.* è predisposta ai sensi dell'art. 26 del D.P.R. 5 Ottobre 2010 n. 207 ed è unicamente un

*complemento per agevolare la comprensione di scelte e di soluzioni,*

adottate nel progetto per l'insediamento eolico e riportate nei disegni, negli elaborati e nei testi, allegati o inseriti nella *Rel. Tec.*

## 1.2 Impianti eolici a mare

A suggerimento ed a guida di molte citazioni su centrali eoliche a mare nel mondo, di cui alcune s'incontreranno nel corso della trattazione, può essere opportuno inserire e presentare in queste pagine iniziali un elenco di caratteristiche basilari in due serie separate di dati.

Nella prima, che è proposta con la Tab. 1.3.1, sono raccolte alcune proprietà di 25 impianti in funzionamento. Si correda l'elenco con alcune caratteristiche del parco eolico. Oltre al nome ufficiale vi si trovano la potenza complessiva, la nazione in cui è collocato, le coordinate geografiche, il numero ed il tipo degli aerogeneratori, la data di inizio servizio ed, infine, alcuni riferimenti. Di questi non si riporta l'elenco, che è rintracciabile direttamente nel sito Wikipedia, origine della tabella. Non tutti gli impianti esistenti sono censiti. La trascuratezza colpisce soprattutto quelli, o che sono più antichi, come Lely o Vindeby, o che sono contraddistinti da un piccolo numero di turbine, come Moray Firth.

Tab. 1.3.1. Impianti in funzionamento

<u>Wind farm</u>	<u>Total (MW)</u>	<u>Country</u>	<u>Coordinates</u>	<u>Turbines &amp; model</u>	<u>Official Start</u>	<u>Refs</u>
<a href="#">Greater Gabbard</a>	504 <sup>[2]</sup>	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">51°52'48"N</a> <a href="#">1°56'24"E</a>	140 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2012  2011 (phase 1)	<a href="#">[3][4][5]</a>
<a href="#">Walney (phases 1&amp;2)</a>	367.2	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">54°02'38"N</a> <a href="#">3°31'19"W</a>	102 × <a href="#">Siemens</a> SWT-3.6-107	2012 (phase 2)	<a href="#">[6][7]</a>
<a href="#">Sheringham Shoal</a>	315	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">53°7'N</a> <a href="#">1°8'E</a>	88 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2012	<a href="#">[8][9][10][11]</a>
<a href="#">Thanet</a>	300	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">51°26'N</a> <a href="#">01°38'E</a>	100 × <a href="#">Vestas</a> <a href="#">V90-3MW</a>	2010	<a href="#">[12][13]</a>
<a href="#">Thorntonbank Phases 1 &amp; 2</a>	215 <sup>[14]</sup>	 <a href="#">Belgium</a>	 <a href="#">51°33'00"N</a> <a href="#">2°56'00"E</a>	6 × <a href="#">REpower</a> 5M, 30 x 6M	2012	<a href="#">[15][16][17][18]</a>
<a href="#">Horns Rev II</a>	209	 <a href="#">Denmark</a>	 <a href="#">55°36'00"N</a> <a href="#">7°35'24"E</a>	91 × <a href="#">Siemens</a> 2.3-93	2009	<a href="#">[19]</a>
<a href="#">Rødsand II</a>	207	 <a href="#">Denmark</a>	 <a href="#">54°33'0"N</a> <a href="#">11°42'36"E</a>	90 × <a href="#">Siemens</a> 2.3-93	2010	<a href="#">[20][21]</a>
Chenjiagang (Jiangsu) Xiangshui	201	 <a href="#">China</a>	 <a href="#">34°29'00"N</a> <a href="#">119°52'00"E</a>	134 × 1.5MW	2010	<a href="#">[22][23]</a>

<u>Wind farm</u>	<u>Total (MW)</u>	<u>Country</u>	<u>Coordinates</u>	<u>Turbines &amp; model</u>	<u>Official Start</u>	<u>Refs</u>
<a href="#">Lynn and Inner Dowsing</a>	194	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">53°07'39"N</a> <a href="#">00°26'10"E</a>	54 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2008	<a href="#">[24][25][26][27]</a>
<a href="#">Robin Rigg (Solway Firth)</a>	180	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">54°45'N</a> <a href="#">3°43'W</a>	60 × <a href="#">Vestas</a> <a href="#">V90-3MW</a>	2010	<a href="#">[28]</a>
<a href="#">Gunfleet Sands</a>	172	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">51°43'16"N</a> <a href="#">1°17'31"E</a>	48 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2010	<a href="#">[29][30]</a>
<a href="#">Nysted (Rødsand I)</a>	166	 <a href="#">Denmark</a>	<a href="#">54°33'0"N</a> <a href="#">11°42'36"E</a>	72 × <a href="#">Siemens</a> 2.3	2003	<a href="#">[24][31][32]</a>
<a href="#">Bligh Bank (Belwind)</a>	165	 <a href="#">Belgium</a>	<a href="#">51°39'36"N</a> <a href="#">2°48'0"E</a>	55 × <a href="#">Vestas</a> <a href="#">V90-3MW</a>	2010	<a href="#">[33]</a>
<a href="#">Horns Rev I</a>	160	 <a href="#">Denmark</a>	<a href="#">55°31'47"N</a> <a href="#">7°54'22"E</a>	80 × <a href="#">Vestas</a> V80-2MW	2002	<a href="#">[24][31][34]</a>
<a href="#">Ormonde</a>	150	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">54°6'N</a> <a href="#">3°24'W</a>	30 × <a href="#">REpower</a> 5M	2012	<a href="#">[4][35][36]</a>
<a href="#">Longyuan Rudong Intertidal Demonstration</a>	150	 <a href="#">China</a>	<a href="#">32°30'N</a> <a href="#">121°15'E</a>	21 × <a href="#">Siemens</a> 2.3-93; 20 × <a href="#">Goldwind</a> 2.5MW 17 × <a href="#">Sinovel</a> 3W	2011 (phase 1) 2012 (phase 2)	<a href="#">[37]</a> <a href="#">[38][39]</a>
<a href="#">Princess Amalia</a>	120	 <a href="#">Netherlands</a>	<a href="#">52°35'24"N</a> <a href="#">4°13'12"E</a>	60 × <a href="#">Vestas</a> V80-2MW	2008	<a href="#">[24][40]</a>
<a href="#">Donghai Bridge</a>	110.6 <sup>[41]</sup>	 <a href="#">China</a>	<a href="#">30°46'12"N</a> <a href="#">121°59'38"E</a>	34 × <a href="#">Sinovel</a> SL3000/90 1 × <a href="#">Sinovel</a> SL 5000 1 × <a href="#">Shanghai Electric</a> W3600/116	2010 2011	<a href="#">[42][43]</a>
<a href="#">Lillgrund</a>	110	 <a href="#">Sweden</a>	<a href="#">55°31'N</a> <a href="#">12°47'E</a>	48 × <a href="#">Siemens</a> 2.3-93	2007	<a href="#">[24][44]</a>
<a href="#">Egmond aan Zee</a>	108	 <a href="#">Netherlands</a>		36 × <a href="#">Vestas</a> <a href="#">V90-3MW</a>	2006	<a href="#">[24][45]</a>
<a href="#">Kentish Flats</a>	90	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">51°27'36"N</a> <a href="#">1°5'24"E</a>	30 × <a href="#">Vestas</a> <a href="#">V90-3MW</a>	2005	<a href="#">[24][46]</a>
<a href="#">Barrow</a>	90	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">53°59'N</a> <a href="#">3°17'W</a>	30 × <a href="#">Vestas</a> <a href="#">V90-3MW</a>	2006	<a href="#">[24][47]</a>
<a href="#">Burbo Bank</a>	90	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">53°29'N</a> <a href="#">03°10'W</a>	25 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2007	<a href="#">[24][48]</a>
<a href="#">Rhyl Flats</a>	90	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">53°22'N</a> <a href="#">03°39'W</a>	25 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2009	<a href="#">[24][49][50][51]</a>
<a href="#">North Hoyle</a>	60	 <a href="#">United Kingdom</a>	<a href="#">53°26'N</a> <a href="#">3°24'W</a>	30 × <a href="#">Vestas</a> V80-2MW	2003	<a href="#">[24][52]</a>

Nel secondo elenco, che corrisponde alla Tab. 1.3.2, è riportata la lista dei dieci impianti più importanti attualmente in costruzione, lista che è corredata dalle stesse caratteristiche considerate nella precedente tabella.

In questo gruppo non possono mancare siti come il London Array, che è composto da 175 unità da 3,6 MW nella prima fase e che nella seconda fase dovrebbe arricchirsi di un nuovo set di unità portando il campo ad una dimensione unica nel panorama eolico attuale (circa 1.000 MW), il Trianel Borkum West II da 80 turbine da 5 MW di produzione Multibrid, ora assorbita dalla francese Areva, il Bard Offshore 1, costituito numericamente come il precedente campo, ma organizzato sulle unità da 5 MW della Bard, che sono impostate su un tipo di treppiede originato dallo stesso gruppo di progetto della turbina, l'inglese Gwynt y Môr, che con altri adotta la macchina più diffusa -secondo alcuni commentatori- nel settore offshore quale è la Siemens SWT-3.6-107 (o 120) per raggiungere una potenza complessiva assai elevata (la seconda in assoluto, cioè 576 MW a ridosso dei 630 della London Array i prima fase) e di altri, che spesso sono richiamati nei testi tecnici e che anche in queste note trovano qualche riscontro.

Tab. 1.3.2. Impianti in costruzione

<u>Wind farm</u>	<u>Total (MW)</u>	<u>Country</u>	<u>Coordinates</u>	<u>Turbines &amp; model</u>	<u>Completion</u>	<u>Refs</u>
<a href="#">London Array</a> (Phase I)	630	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">51°38'38"N</a> <a href="#">01°33'13"E</a>	175 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-120	2012	<a href="#">[53][54][55]</a>
<a href="#">Gwynt y Môr</a>	576	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">53°28'00"N</a> <a href="#">3°36'00"W</a>	160 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-107	2014	<a href="#">[56][57]</a>
<a href="#">Trianel Borkum West II</a>	400	 <a href="#">Germany</a>		80 × Areva Multibrid M5000	2012 (Phase 1) 2015 (Phase 2)	<a href="#">[58]</a>
<a href="#">BARD Offshore 1</a>	400	 <a href="#">Germany</a>	 <a href="#">54°22'N</a> <a href="#">5°59'E</a>	80 × BARD 5.0	2014	<a href="#">[59][60][61]</a>
<a href="#">Anholt</a>	400	 <a href="#">Denmark</a>	 <a href="#">56°36'00"N</a> <a href="#">11°12'36"E</a>	111 × <a href="#">Siemens</a> 3.6-120	2013	<a href="#">[62]</a>
Nordsee Ost	295,2	 <a href="#">Germany</a>		48 × REpower 6M	2013	<a href="#">[citation needed]</a>
Meerwind Süd & Ost	288	 <a href="#">Germany</a>	 <a href="#">54°23'00"N</a> <a href="#">7°42'00"E</a>	80 x Siemens 3.6MW	2013	<a href="#">[63]</a>
DanTysk	288	 <a href="#">Germany</a>		80 x Siemens 3.6MW	2013	<a href="#">[citation needed]</a>
<a href="#">Lincs</a>	270	 <a href="#">United Kingdom</a>	 <a href="#">53°11'00"N</a> <a href="#">00°29'00"E</a>	75 x 3.6MW	2012	<a href="#">[64][65]</a>
<a href="#">Thorntonbank Phase 3</a>	110	 <a href="#">Belgium</a>		18 x <a href="#">REpower</a> 6M	2013	<a href="#">[15][16][17]</a>

## 2 OPERE ELETTROMECCANICHE A TERRA E A MARE E SITO EOLICO

### 2.1 L'impianto elettrico

L'unica tratta del cavo sottomarino, che interessa in questa sezione e che in un certo senso fa parte ancora della gestione marina, è il tratto di percorso che va dal bagnasciuga al punto di approdo (Fig. 2-1a/b).

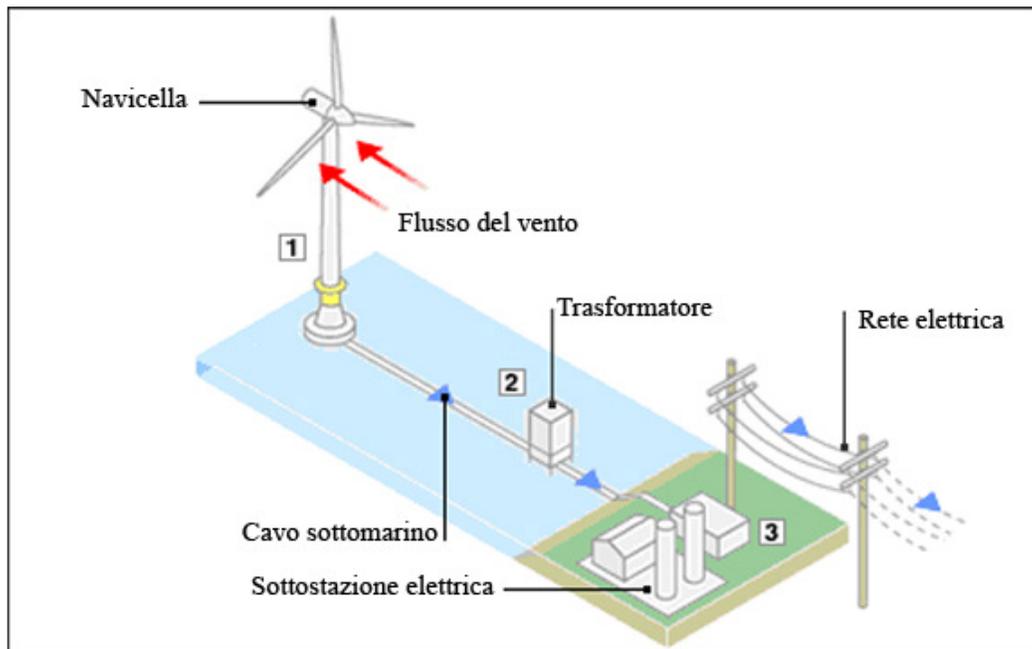


Fig. 2-1a. Rappresentazione schematica dei punti salienti dell'impianto elettrico del campo eolico (1. Alla navicella -nacelle- fa capo il rotore corredato di pale, che, mosse dal vento, consentono al generatore ed al suo campo magnetico di convertire l'energia cinetica -wind current- in energia elettrica; 2. Trasformatore, che innalza la tensione ai 30 kV circa e che è stato indicato separatamente dall'aerogeneratore per meglio sottolineare la diversità di tensione della distribuzione nella wind farm rispetto a quella -<1 kV- del generatore; 3. Stazione di trasformazione -power substation- alla tensione di linea e cabina di collegamento -national grid power lines- con la rete)

Una volta che i cavi sottomarini siano stati portati a riva in corrispondenza del punto di approdo, è indispensabile eseguire le giunzioni dei cavi sottomarini con una tipologia di cavo idonea alla posa terrestre.

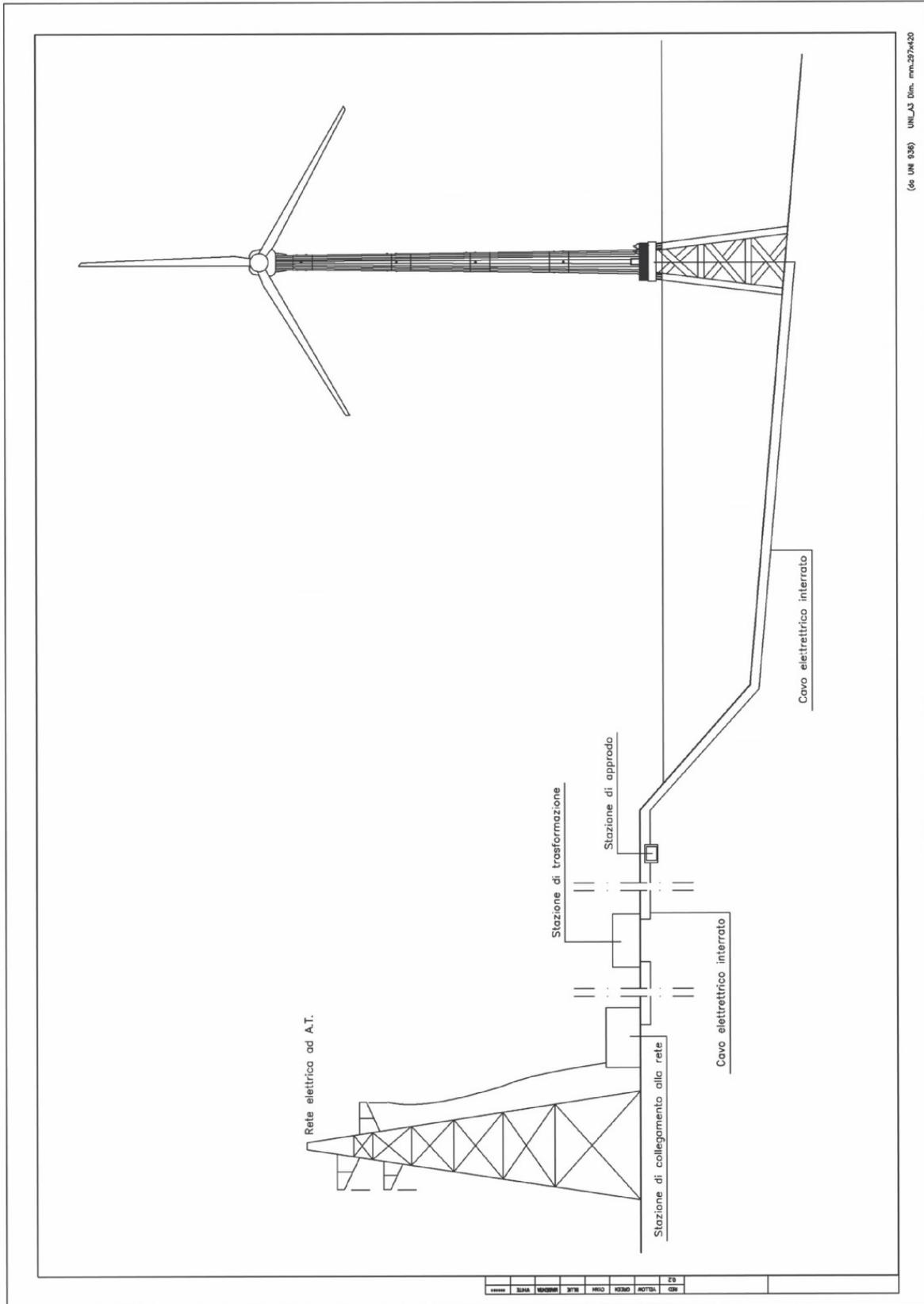


Fig. 2-1b. Sezione trasversale ideale del campo eolico

Ogni singolo conduttore di sezione del cavo sottomarino (500 mm<sup>2</sup>) è giuntato con un cavo unipolare di sezione 630 mm<sup>2</sup>. Dall'interno del cavo sottomarino è estratto, liberato dalle protezioni e giuntato con la nuova tratta a seguire anche il cavo a fibra ottica (Fig. 2-4c). Le connessioni, se sono state condotte a regola d'arte, devono ripristinare le caratteristiche elettriche e meccaniche di ogni cavo. Pertanto, non devono imporre protezioni aggiuntive.

## 2.2 Sito a mare

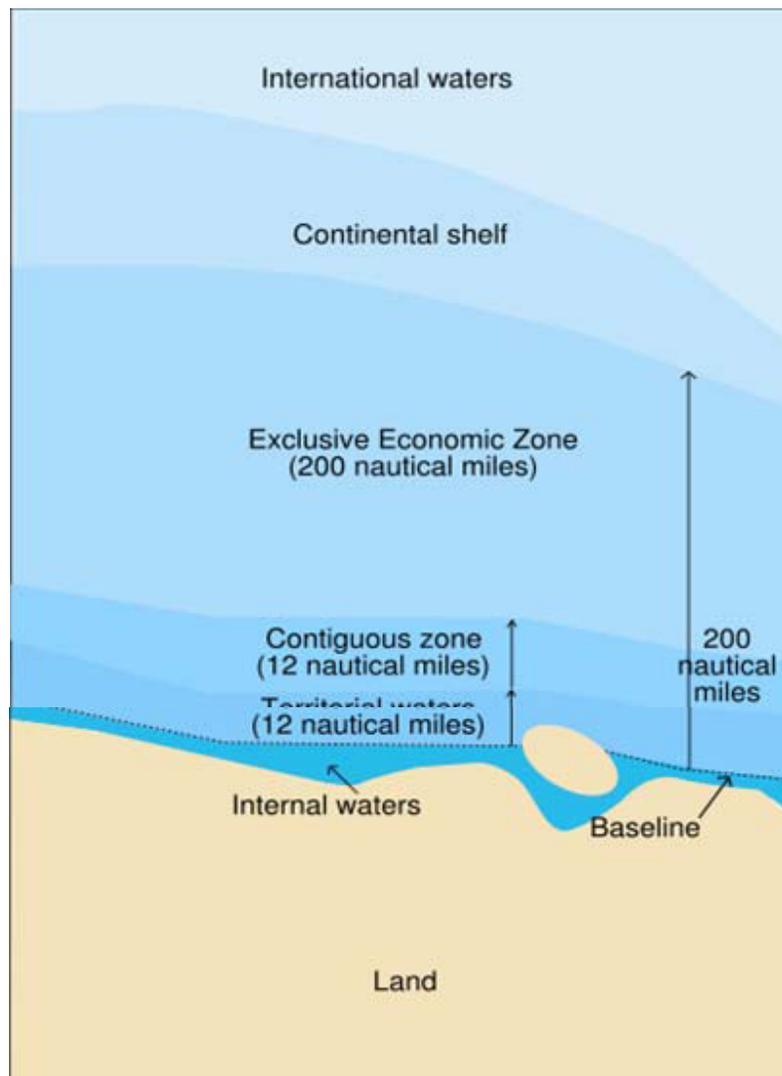


Fig. 2-2a. Aree di diversa destinazione amministrativa nel mare antistante il territorio: acque internazionali, piattaforma continentale, Zona Economica Esclusiva (EEZ, 200 mil), zona contigua (12 mil), acque territoriali (12 mil), acque interne

Con la locuzione sito a mare s'intende lo specchio d'acqua, che perimetra il complesso degli aerogeneratori. E' localizzato tramite le distanze dei vertici dalla costa e dai vincoli esistenti e si localizza entro le acque territoriali (Fig. 2-2a). La configurazione è determinata dalle singole postazioni degli aerogeneratori, che sono definite tramite le corrispondenti coordinate geografiche, e dalle superficie occupate dai singoli componenti (turbine eoliche, strutture portanti, cavi interrati, etc.), organizzate in sottocampi (cfr. l'Impianto Elettrico).

La localizzazione di un campo eolico è il risultato di molteplici fattori, che sono trattati diffusamente nella presentazione generale del progetto (cfr. la *Rel. Tec.*). Non si può non citare almeno la combinazione di due variabili fondamentali (la media delle distanze dei vari vertici più prossimi alla costa sia attorno alle 3 miglia e la profondità del fondale non sia superiore a 30/40 m) e dei vincoli locali (area di rada del porto di Brindisi e disponibilità di corridoi per il trasbordo delle merci), che determinano larghezza e profondità delle fasce costiere, tra le quali va calato il campo eolico (cfr. le Figg. 2-2a/b).

La *configurazione e la topografia del lotto*, interessato dalla Concessione, seguono i criteri, che sono stati dettati nel parag. A.4. della *Rel. Tec.* e ss. Devono essere qui esposti i dati descrittivi del parco eolico, che servono a fornire i riferimenti sostanziali della Concessione, come estensione e forma del campo attraverso le coordinate geografiche delle macchine (Tab. 3.4) e, soprattutto, la collocazione del lotto rispetto ad alcune condizioni geografiche ed a certe limitazioni, imposte da aree vincolate (costa, area di rada, area protetta, etc.). Sono anche da esaminare soluzioni adatte a descrivere la disposizione dei cavi sottomarini, che tracciano la rete dei collegamenti tra le macchine ed i punti di raccolta (a mare ed a terra).

Il lotto a mare, interessato dalla Concessione, è rappresentato con maggior dettaglio nella Fig. 2-2b. Le distanze dei vertici del lato della poligonale, affacciata alla costa, sono rispettivamente 4.686 m, 4.145 m, 5.215 m, 4.724 m e 4.634 m. La loro somma vale 23.404 m, che divisa per i cinque tratti, quanti sono i vertici, fornisce la media di 4.681 m. Commisurandola al miglio (il miglio terrestre -mil- è pari a 1.609 m, il miglio marino corrisponde a 1.852 m), segnala una lunghezza media di 2,9 mil. La distanza cresce notevolmente, se l'osservatore è posto nella località litoranea più importante per popolazione, quale è S. Pietro Vernotico. La considerazione vale un po' per tutti centri abitati di un certo rilievo, essendo questi dislocati nell'interno. Ancora più lontana si trova la città di Brindisi.

La forma da dare al sito è conseguente alla sistemazione degli aerogeneratori. La loro posizione è determinata da un insieme di fattori, tra i quali si riconoscono principalmente la morfologia del terreno, i vincoli esercitati dall'ambiente biotico vegetale marino, le distanze dalla costa, le risultanze dell'analisi aerodinamica del campo eolico, la potenzialità eolica della zona e, non ultime, la localizzazione della rada e le possibili opere di realizzazione di darsena per scopi energetici e dei relativi trasbordi di merce. Ha nel caso attuale un andamento abbastanza sinuoso, adeguandosi ad uno schema geometrico ispiratosi ad una forma rettangolare o quasi.

L'orientamento dei lati lunghi si distende quasi parallelamente alla costa. La loro collocazione è imposta dalla direzione del vento dominante e dalla indicazioni,

che emergono dai fattori, che sono stati precedentemente evocati. Questi sono anche responsabili di alcune irregolarità (dimensionali e distributive), riscontrabili all'interno del campo.

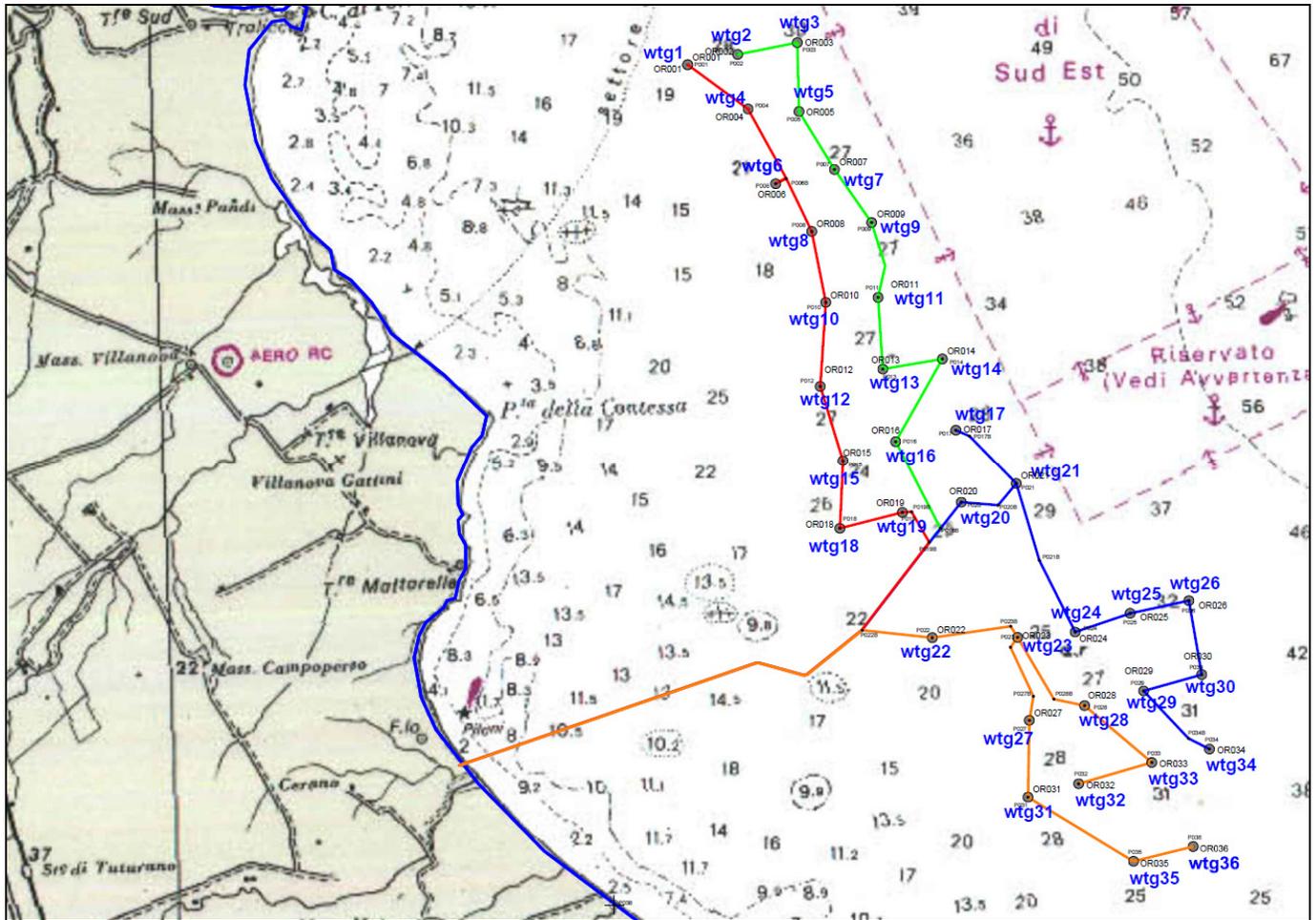
Gli aerogeneratori sono dislocati secondo una griglia con lati di circa 700m x 800/900m, orientata secondo la presunta direzione prevalente dell'area, ovvero i settori N-NW/SE.

Tab. 2.2.1. Superficie considerate nelle stime delle aree computate

Aerogeneratori	Unità	36
Diametro ombra	m	113
Specchio aerogeneratori	mq	363.428,358
Cavi interni	m	..57.490,98
Buffer	m	0,5
Specchio cavi	mq	175.710,662
Superficie totale	mq	539.139,02

Valutando l'area occupata dalle macchine e contenuta dal perimetro, che tocca i centri delle loro postazioni (perimetrazione stretta), e quella spostata in fuori di 56 m (pari al raggio rotorico dell'unità e detta perimetrazione allargata), si avrebbe la stima di una parte della superficie dello Specchio Acqueo. A questa andrebbe, poi, aggiunta quella da parte dei *cavi sottomarini fuori campo eolico*, che è valutata allo stesso modo di quello seguito in precedenza.

Prima di condurre effettivamente la campagna di lancio dei cavi sottomarini tutta un serie di indagini deve essere impostata e sviluppata sul territorio marino, che ne è interessata. Ciò è indispensabile per fornire a chi deve in effetti svolgere la funzione suddetta nel miglior modo possibile.



*Fig. 2-2b. Campo eolico con sistemazione delle macchine aerogeneratrici e con distribuzione orientativa dell'impianto elettrico nel sito a mare e dei collegamenti con la riva tramite i sottocampi ed il punto di approdo*

Va, quindi, precisata tutta una serie di indagini e di metodologie, che sono consigliabili di usare per approfondire le conoscenze (prevalentemente fisiche, marine e geotecniche) ed offrire un quadro attendibile delle condizioni del suolo/sottosuolo immediato. Sono, poi, quelle che si troveranno lungo il percorso da battere per sistemare le linee elettriche interne/esterne al campo eolico.

## 2.3 Componenti principali

Tra le *opere elettromeccaniche a mare* si devono considerare

- la porzione appartenente all'aerogeneratore (Fig. 2-3a) ed alla cabina di macchina;
- l'impianto di terra e la sua posa;
- i cavi dei sistemi di misura, di comando e di monitoraggio, sistemati negli opportuni cavidotti;
- i cavi per la distribuzione dell'energia generata all'interno del campo eolico e sino alla cabina di arrivo degli stessi a terra (o cabina d'approdo).

La *cabina di macchina* è l'apparato necessario per l'elevazione della tensione al valore, esistente nella rete in media tensione (MT) dell'impianto a mare.

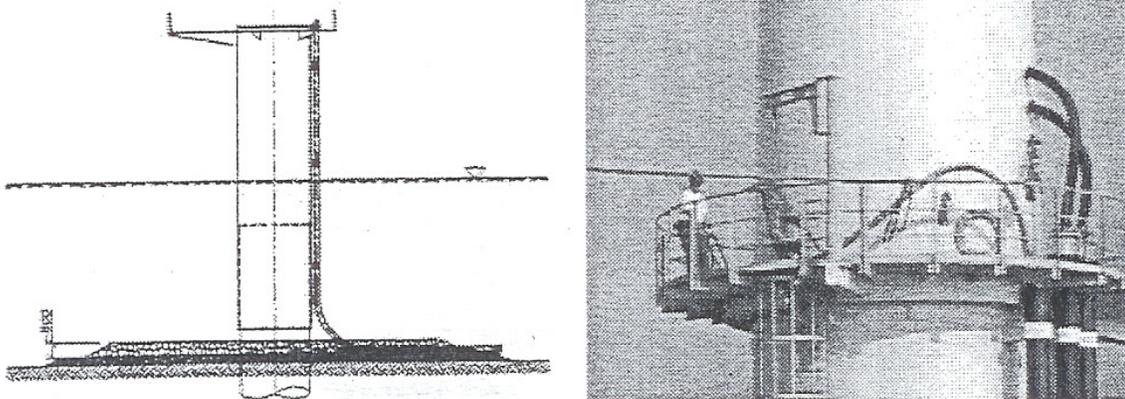


Fig. 2-3a. Sistemazione del tubo di discesa cavi (J-Tube) in una fondazione a monopila e relativi passaggi entro la torre

All'interno della cabina di macchina, che è posizionabile alla base della torre (dentro o fuori la stessa) o nella navicella, sono sistemati il quadro di controllo della turbina eolica, il quadro elettrico in bassa tensione (BT) e quello in MT. Tutte le componenti sono realizzate ed esercite nel pieno rispetto delle normative vigenti in sede nazionale e comunitaria per gli impianti elettrici in BT/MT. All'interno del locale trovano altresì posto, oltre all'impianto d'illuminazione e all'impianto equipotenziale, il sistema di ventilazione (o di condizionamento) per mantenervi costanza di temperatura.



Fig. 2-3b. Cavo sottomarino danneggiato da azione disruptiva particolarmente intensa

L'impianto elettrico del parco ha le sue *sezioni essenziali* nel

- sistema di *generazione dell'energia elettrica* tramite captazione dell'energia eolica e sua trasformazione in meccanica e, poi, in elettrica;
- sistema di collezione in alcuni centri o posizioni del campo eolico dell'energia *elettrica generata all'interno del parco*;
- sistema di *trasmissione dell'energia alla rete a terra*.

Diverse sono le modalità per collegare fisicamente le varie componenti, che sono state considerate. In particolare, vanno citate le due alternative, che sono poste dall'impiego della corrente continua (DC) o della corrente alternata (AC) per le due sezioni principali, quella relativa alle macchine ed alla distribuzione all'interno del parco, e quella, che collega il parco alla terraferma ed alla rete locale.

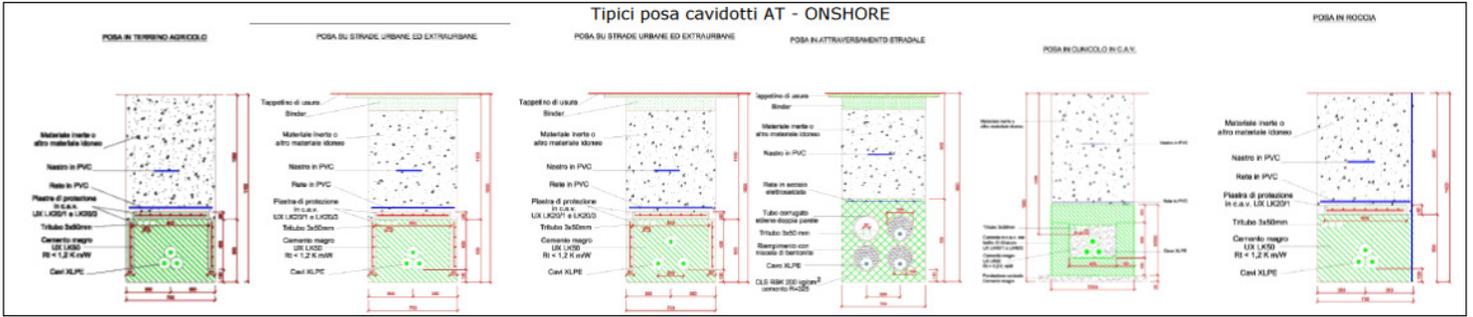


Fig. 2-3c. Sezione trasversale di cavidotto per posa di cavi terrestri per trasporto di energia elettrica

## 2.4 Distribuzione sul sito

Il sistema di collezione dell'energia all'interno del parco richiede (cfr. le Figg. 2-3a/b/c)

- *trasformatori elevatori* (da BT o dalla tensione del generatore, che è attorno ad 1 kV, alla MT) alla tensione esistente nel nodo centrale o nei nodi di raccolta del parco, tensione che è fissata sui 30 kV circa;
- *interruttori e sezionatori circuitali*;
- *cavi (o linee)* di collegamento nel parco (Figg. 2-4a/b).

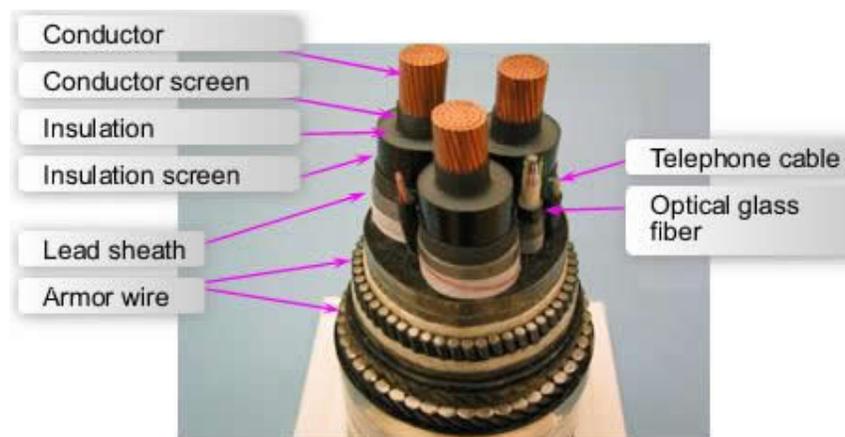


Fig. 2-4a. Sezione schematico-illustrativa di cavo sottomarino con doppia armatura

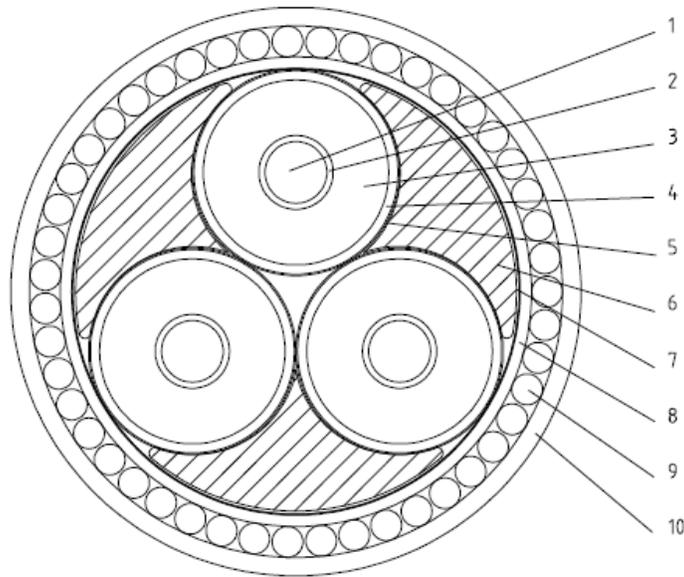
. Il *cavidotto*, che collega tra loro ed alla sottostazione generale le macchine aerogeneratrici, serve ad ospitare i cavi, che sono necessari a convogliare l'energia elettrica, generata alla tensione corrispondente nel tratto in considerazione.

La sua sezione è diversa da quella suggerita per la posa dei cavi su terraferma (Fig. 2-4a), che devono marciare in un assetto costante e raccolto. Nel caso di cavi multipli, come si verifica nel collegamento verso terra dei sottocampi in cui è suddiviso il parco eolico (Fig. 2-2b), ogni cavo è posto a distanza minima dal contiguo, se entrambi corrono l'un l'altro paralleli per tutto il loro sviluppo. L'interdistanza può essere variabile in funzione anche della profondità e della sicurezza. Può consistere, infatti, in

uno o più metri di intervallo mutuo, dipendendo anche dalla tecnologia della posa, che si è adottata.

Per quanto concerne la *tensione di linea* si sono imposte la BT all'interno dell'aerogeneratore e la MT da ogni unità sino al punto di raccolta all'interno del sottocampo e da questo alla *cabina d'approdo*, in quanto si preferisce inviare a terra separatamente l'energia raccolta da ogni sottocampo.

Nel *cavidotto* possono trovar posto il cavo per i segnali del sistema di misura, comando e controllo e la corda di rame dell'impianto equipotenziale. Gli opportuni collegamenti con le singole unità dovranno essere attentamente realizzati e difesi.



Item	Description
1	Conductor: longitudinally water sealed compact strand
2	Conductor screen: extruded semi-conducting compound
3	Insulation: EPR insulating compound
4	Insulation screen: extruded semi-conducting compound
5	Tinned copper tape screen
6	Polypropylene fillers
7	Binder
8	Bedding: polypropylene yarn
9	Armour: galvanised steel wire
10	Serving: polypropylene yarn

Fig. 2-4b. Sezione trasversale di cavo sottomarino da 30 kV (disegno non in scala)

Solitamente nelle grandi campate delle linee di telecomunicazione si applica una distinzione tra le sezioni di cavo che sono prossimi ad attività umane (approdi, isole, terraferma, etc.) da quelle distanti da tali zone, che hanno indici di rischio per la sicurezza del cavo. La Fig. 2-4c dà qualche ragguglio visivo di siffatti accorgimenti.

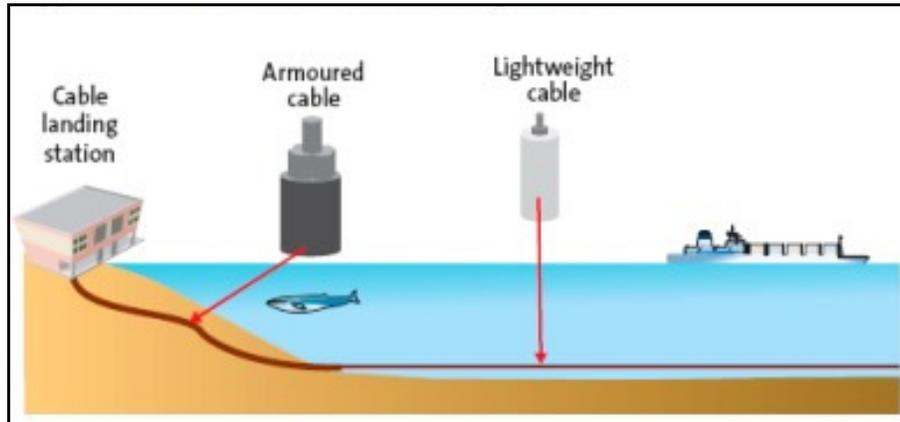


Fig. 2-4c. Tipico allestimento a mare (Thestar)

Una regola, che è osservata dagli installatori a mare dei cavi (per trasporto segnali, corrente elettrica, etc.) è quella di ricorrere ad una protezione, che consiste nell'interro. Ciò è indispensabile in acque da loro ritenute basse, che porta tale limite sui fondali a valori non superiori ai -50 m.



Fig. 2-4d. Trincea tracciata da aratro marino anche lungo la costa (Thanet)

La trincea (Fig. 2-4d) dovrebbe essere profonda almeno 1,5 m in assenza di pericoli specifici, come zone di ancoraggi particolarmente pesanti. In siffatti casi, invece, la profondità dello scavo deve aumentare almeno sino a 5 m. In situazioni particolari occorre deporre il cavo a profondità ancora maggiori e ben oltre i 5 m sino al doppio di tale cifra. Per conferma basti ricordare che nelle aree portuali di Hong Kong e di Singapore la tecnologia dei 10 m è stata applicata costantemente.



*Fig 2-4e. Scavo orizzontale direzionale per il campo di Sheringham Shoal*

Queste osservazioni servono a spiegare il perché nella distribuzione elettrica entro/fuori il campo eolico si ricorre sempre a cavi sottomarini e di tipo corazzato.

## 3 STRUTTURA FONDARIA

### 3.1 Fondazione a castello tipo jacket

Le tipologie fondarie più adeguate alle caratteristiche del sito e precisamente alla profondità del fondale (40-50 m), agli elevati carichi trasmessi dalla turbina ed alla morfologia del fondo marino, sono innegabilmente i *castelli tubolari a 3 o a 4 montanti* (Fig. 3-1a).

La struttura di supporto è generalmente costituita da due componenti prefabbricati, una sottostruttura, detta *jacket*, ed una sovrastruttura, detta *deck* (Fig. 3-1c), che di fatto nei sistemi fondari eolici offshore fa da basamento per la radice della torre. Il secondo elemento nelle piattaforme petrolifere ha uno sviluppo rilevante -soprattutto in altezza- e dipende dalle funzioni, cui è destinata la sua realizzazione. Nel caso della fondazione per convertitore eolico si riduce soltanto al collegamento tra fondazione ed aerogeneratore, tanto che spesso con la voce *jacket* (Figg. 3-1f e 3-2) si intende la struttura portante



Fig. 3-1a. Struttura portante a jacket per turbina eolica 5M montata a Moray Firth (REpower)

nel suo complesso. E' questo anche il termine, che è stato coniato dal settore petrolifero, ove la struttura ha trovato ampia applicazione, grazie alla sua adattabilità

ai molteplici casi richiesti dalle esigenze di trivellazione e di sfruttamento dei giacimenti petroliferi a mare (Figg. 3-1b 2 e 3-2c).

Rispetto alla soluzione a tre montanti, che è molto simile al tipo a tripode, la soluzione a quattro montanti (Fig. 3-1a) è, invece, quella che può essere adottata per fondazioni in alti (o medio-alti) fondali.



*Fig. 3-1b. Piattaforme accoppiate per sfruttamento di giacimento petrolifero (Alpha Beatrice)*

I tre o quattro tubi periferici messi d'angolo, che sono anche chiamati in gergo tecnico montanti o gambe, possono essere rinforzati da uno o più corsi di tubi orizzontali, che sono tra loro irrobustiti da diagonali semplici o incrociati, colleganti i tubi orizzontali (Figg. 3-1a/b e 3-2c) tra loro ed i montanti.

Questa duttilità di concezione della struttura, proprio per l'intervento dei rinforzi, per la scelta delle tratte di libera inflessione e per il rapporto diametro/spessore dei tubi (che mantengono sempre valori molto ridotti rispetto a quelli coinvolti dalla tipologia a monopila), la rende applicabile facilmente a diverse condizioni di carico, d'impiego e di quota del fondale.

Nel campo petrolifero, poi, la postazione può essere servita non soltanto da una sola unità, ma se ne possono riunire più d'una (Fig. 3-1b) a seconda delle necessità e delle diverse vocazioni, cui rispondono (estrazione di gas, coltivazione di giacimenti, depositi di olio combustibile estratto, etc.).

Il castello, al crescere della profondità (fondali medio-alti) e dei carichi impressi (dovuti a macchine più potenti) finisce per essere molto meno pesante di altre strutture (monopila e tripode). Per fissare la fondazione al suolo le gambe, che sono



Fig. 3-1c. Montaggio del deck sul jacket di una postazione petrolifera (Bisso)

cave all'interno, consentono di guidare il *palo di fondazione*, che viene inserito nel sottosuolo per azione del battipalo.

E' la stessa procedura seguita con il monopila (Fig. 6-1e), soltanto che con la presente soluzione i pali hanno funzione diversa da quella dei montanti e possono essere tanti quanti sono i montanti e non uno soltanto, come nel caso del monopila.

Una alternativa all'impiego del montante per guidare il palo di fondazione sta uno spool di tubazione piuttosto corto, che va saldato al piede di ogni gamba. E' dotato superficialmente di imboccatura a imbuto (Figg. 3-1d/e) per agevolare l'introduzione del palo, che deve essere maneggiato dalla superficie del mare. Il battipalo, seguendo il corpo affondante, lavora in immersione sempre più profonda sino a toccare lo spool di guida.

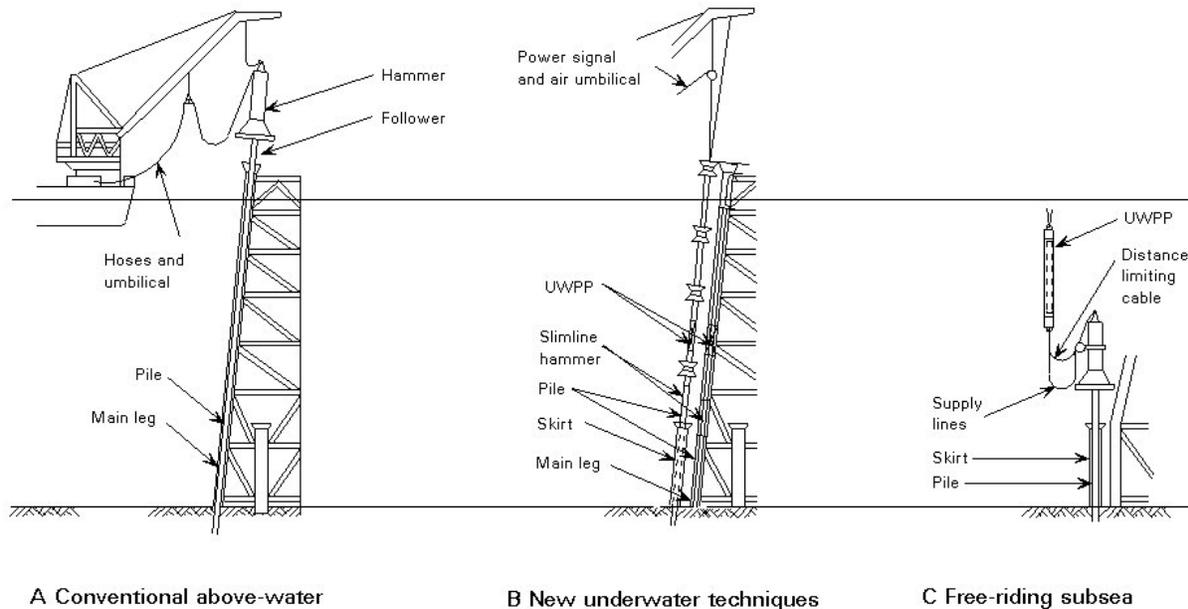


Fig. 3-1d. Schemi di strutture portanti con guide per pali di ancoraggio, rappresentanti varie tecniche di inserimento

Può anche essere evitato il ricorso a battipalo ad immersione, o per ragioni di costo (è evidente che l'impiego di una siffatta unità sia più caro di una che operi in aria), o per difficoltà di approvvigionamento.

Per condurre e tenere il palo verticale occorre (fissare alla fondazione o farla portare da un opportuno natante, che opera anche la sorveglianza durante l'inserimento del palo nel fondale) una manica, che si estenda verso il fondale e che consenta al battipalo di restare all'asciutto.

Ad operazione conclusa, quando il palo è nella sua posizione finale di inserimento, si procede all'intasamento con boiaccia e con materiali opportuni della intercapedine tra palo e guida, che appare abbondante soltanto all'imbocco (configurazione ad imbuto) per facilitare l'ingresso ed il centraggio del palo nella guida.

Un'altra proprietà del jacket è stata sfruttata nel montaggio delle due turbine REpower 5M (cfr. la Fig. 3-1f) dell'impianto eolico scozzese Beatrice (nome del progetto realizzato a Moray Firth, sito posto a 25 km dalle coste affacciate sul Mar del Nord e poggiante su fondale da 42 m circa di profondità).



*Fig. 3-1e. Grande struttura di supporto (6.000 ton) in fase di spostamento a mezzo scivolamento da cantiere a mezzo navale (Fagioli USA)*

A conclusione delle considerazioni, che sono state esposte in questa sottosezione, la struttura fondaria per le turbine eoliche del campo di Cerano è costituita da

*castello metallico (tipo jacket) a tre/quattro montanti*

per rispondere adeguatamente

- a batimetrie medio alte (anche superiori ai 30 m di profondità del fondale marino);
- ai rilevanti carichi esercitati dalla turbina, che è di adeguata potenza unitaria (3 MW);
- alla morfologia del fondo marino, che è di natura sabbiosa, senza introdurre la minima alterazione superficiale.

Al momento attuale -e, forse, per non molto tempo ancora- sono anche le macchine più potenti, che sono state installate a mare. La facilità di sistemazione, che consente alla base della torre di essere posata e fissata sulla cresta della fondazione, può permettere anche la messa in loco della turbina nel suo assetto finale (come è illustrato nelle Figg. 3-1f e 3-2a/b/c). Si può in tale arrangiamento portare sulla fondazione la turbina completa di torre, di navicella e di rotore, anziché procedere al montaggio successivo delle varie parti (i conci della torre, la navicella, il rotore con tutte le pale, etc.).



*Fig. 3-1f. Vista frontale degli equipaggiamenti per il completamento del montaggio di turbina REpower 5M al largo delle coste scozzesi*

### 3.2 Specifiche tecniche della fondazione

Per sostenere le turbine del sito eolico si è fatto ricorso alla fondazione a jacket, dotata di tre/quattro gambe (Fig. 3-1b/f), come è stato sottolineato nel paragrafo precedente. I dati di carico (carichi verticali, momenti e azioni del mare), assunti nel progetto e nel dimensionamento, insieme con le normative necessarie per le verifiche statiche e dinamiche sono riportati nella Tab. 3.2.1. Nella stessa tabella sono espresse ed illustrate tutte le caratteristiche anche esecutive della struttura (descrizione dei pezzi, trattamento superficiale, messa in opera, etc.) a tre montanti.

Tab. 3.2.1. Carichi di progetto, dati geometrici e normative

#### **Carichi verticali su fondazione**

##### **Forze orizzontali e momenti (statici)**

forza orizzontale	750 kN;
momento flettente	54.000 kNm;
momento torcente	650 kNm;

##### **Condizioni operative**

altezza onda	10,3 m;
periodo onda	9,7 s;
lunghezza d'onda	135,4 m;
corrente a 0 m	0,41 m/s;

##### **Condizioni storm**

altezza onda	12,6 m;
periodo onda	10,8 s;
lunghezza d'onda	160,7 m;
corrente a 0 m	0,51 m/s;

##### **Quote (s.l.m.m.)**

quota fondale	(-9) ÷ -25 (-30) m;
altezza fuori acqua teste pile	≈ 4/5 m.;
quota piazzola di servizio	≈ 4/7 m.;
quota flangia torre	≈ 4/7 m.;
inclinazione pile sulla verticale	pari a 1:4 o 1:5 (nei disegni della Tav. 4R è di 7,12°);



Fig. 3-2a. Basamento di torre in cantiere (REpower)

### **Dimensioni**

*palo d'ancoraggio (PIL)*

*spessore 3 cm, diametro esterno 90 cm;*

*parte inferiore ogni montante (LA1)*

*spess. 1,5 cm, diametro esterno 110 cm, lunghezza 17,132 cm;*



Fig. 3-2b. Turbina 5M in fase di allestimento a terra (REpower)

*parte superiore ogni montante (LA2)*

*spess. 2 cm, diametro esterno 110 cm, lunghezza 13,101 cm;*

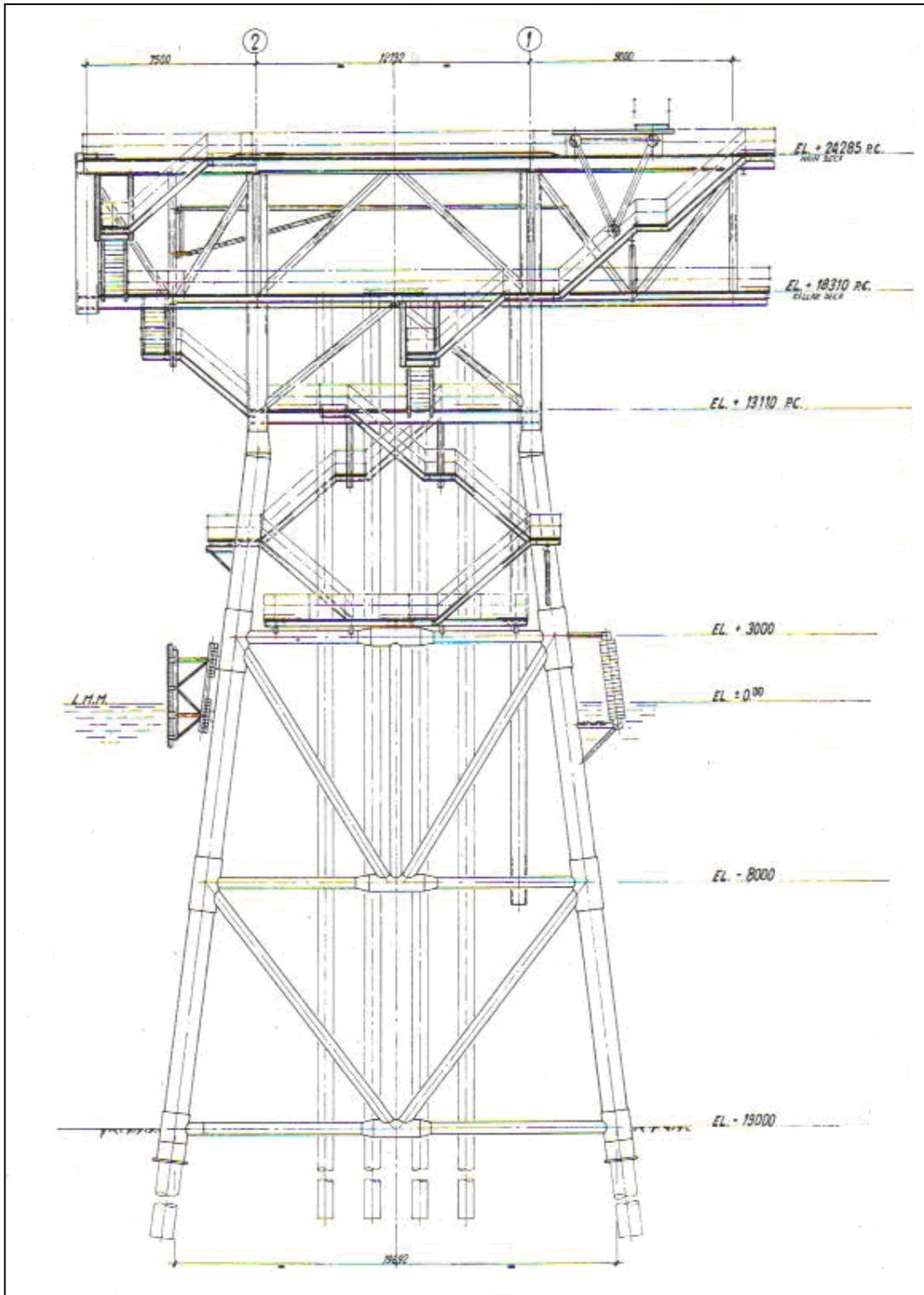


Fig. 3-2c. Tipica struttura a jacket per scopi petroliferi, in cui prevalgono i carichi verticali

<i>tubo orizzontale coronamento jacket (TU2)</i>	<i>spess. 1,588 cm, diametro esterno 35,56 cm, lunghezza ~5 m;</i>
<i>tubo orizzontale per traversi (TU1)</i>	<i>spess. 1,27 cm, diametro esterno 27,3 cm lunghezza 14,493 m;</i>
<i>tubo per diagonali superiori (VA1)</i>	<i>spess. 1,588, diametro esterno 40,64 cm;</i>
<i>tubo per diagonali inferiori (VA2)</i>	<i>spess. 1,588, diametro esterno 50,8 cm;</i>

**Battipalo**

<i>tipo</i>	<i>D100 Delmag;</i>
<i>altezza di caduta</i>	<i>3 m;</i>
<i>cadenza</i>	<i>35/40 colpi/min.;</i>
<i>energia</i>	<i>16 ton/m o superiore;</i>

**Peso proprio fondazione (valore indicativo)**

<i>peso proprio struttura</i>	<i>91,6 t;</i>
<i>peso complessivo (compresi pali d'ancoraggio)</i>	<i>~386 t;</i>

**Strumentazione**

<i>di avvistamento</i>	<i>acustica e luminosa, come da regolamenti vigenti;</i>
<i>di misura</i>	<i>come da Specifiche Tecniche del Cliente;</i>

**Normativa di riferimento**

<i>per progettazione</i>	<i><u>RINA</u> "Rules for the Classification of Steel Fixed Offshore Platforms"; <u>API-RP-2A</u> "Recommended Practice for Planning, Designing and Construction Fixed Offshore Platforms"; <u>AISC</u> "Manual of Steel Construction"; <u>Germanischer Lloyd</u> "Rules for Regulations IV – Non-marine Technology", Part.2; <u>DIN 4131</u> "Steel Radio Towers and Masts";</i>
<i>per assicurazione</i>	<i>da definire a seguito di accordi con l'ente certificatore, come richiesto per aprire la pratica assicurativa.</i>

## 4 AEROGENERATORE

### 4.1 Aerogeneratore e suoi componenti primari

Gli *aerogeneratori* possono essere collocati a terra o a mare e sono collegati in sottocampi uniti in parallelo da linee elettriche di potenza, che nel caso d'unità a mare saranno costituite da cavi sottomarini interrati. Sempre a cavi interrati si dovrà ricorrere per collegare la cabina di allaccio e di trasformazione generale dell'impianto con la rete attraverso la linea a MT/AT più vicina (Fig. 2-2).

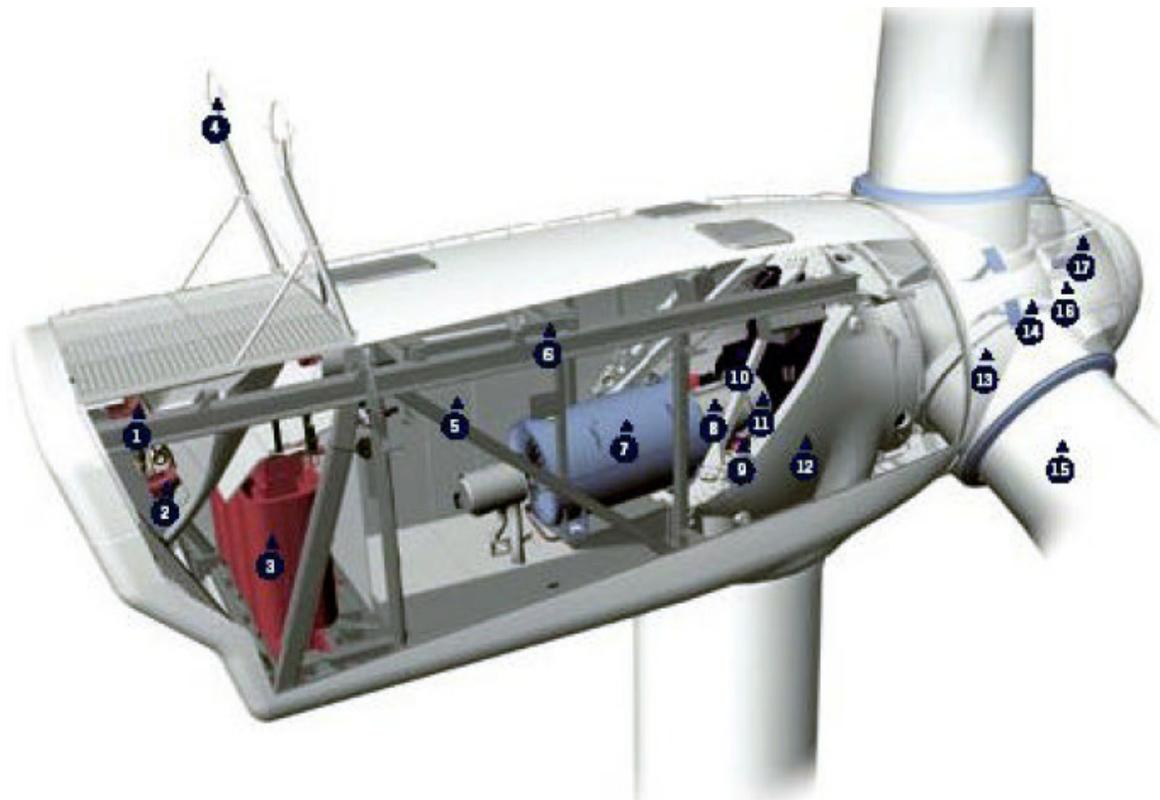


Fig. 4-1a. Schema di navicella completa di rotore e di pale (1. Raffreddamento olio; 2. Raffreddamento generatore; 3. Trasformatore; 4. Sensori condizioni vento; 5. Sistema controllo; 6. Argano e rotaia di movimentazione pezzi; 7. Punto di controllo generatore; 8. Collegamento generatore-moltiplicatore giri; 9. Azionamento imbardata; 10. Moltiplicatore; 11. Freno di stazionamento; 12. Cella di sostegno macchinario; 13. Cuscinetto di pala; 14/15. Albero; 16. Collegamento per azionamento pitch; 17. Controller dell'albero)

Per i collegamenti a mare si ricorre a linee protette e sottratte a possibile contatto esterno per evitare inestetismi ambientali e, soprattutto, inconvenienti per accidentale contatto con i cavi aerei, che, data la tensione di linea, possono provocare danni significativi specialmente all'uomo ed agli esseri animati. L'energia elettrica, così generata, può essere riversata dalla sottostazione d'allacciamento nella rete elettrica locale/regionale di riferimento.

L'aerogeneratore (cfr. i dati della Tab. 4.1.1), che dell'impianto eolico è la principale sezione esercitando la funzione centrale di trasformazione dell'energia eolica in elettrica, è costituito da un certo *insieme di componenti* (cfr. la Fig. 4-1a). Partendo dalla base e dall'apparato di collegamento con la fondazione (flangia di base, codolo da inserire in corrispondenza di tasca cilindrica posta al centro della fondazione, etc.) segue la torre, alla cui cima è alloggiata la corona dentata per l'imbardata della navicella, con la navicella e con il rotore (Figg. 4-1b/c/d e 4-2a). Tutti gli apparati, che sono necessari al funzionamento della turbina (rotore, moltiplicatore di giri, generatore elettrico, etc.) vi sono alloggiati.

*Tab. 4.1.1. Caratteristiche dell'aerogeneratore e dei suoi componenti principali ad esclusione del sistema fondario*

<i>Quantità</i>	<i>Valore numerico</i>	
<i><u>Rotore</u></i>		
<i>Modello</i>	V90	V112;
<i>Potenza</i>	3.000 kW	3.000 kW;
<i>Diametro rotorico</i>	90 m	112 m;
<i>Velocità di rotazione operativa</i>	8,6-18,4 rpm	4,4-17,7 rpm;
<i>Velocità nominale</i>		12 (14) rpm;
<i>Area spazzata</i>	6.362 mq	9.852,03 mq;
<i>Orientazione</i>	sopravvento	sopravvento;
<i>Altezza all'asse del mozzo</i>	80 m	≈90 m;
<i>Velocità di avvio (cut-in speed)</i>	3 m/s	3 m/s;
<i>Velocità d'arresto (cut-out speed)</i>	25 m/s	25 m/s;
<i>Intervallo temperatura di progetto</i>	-20 °C - +40°C	-20 °C-+40 °C;
<i>Peso rotore</i>	55 ton.	- ton;
<i><u>Navicella e componenti</u></i>		
<i>Lunghezza (compreso mozzo)</i>	13,25 m	14 m;
<i>Larghezza</i>	3,6 m	3,9 m;
<i>Altezza</i>	4,05 m	3,9 m;
<i>Materiale</i>	fibra di vetro	fibra di vetro;
<i>Moltiplicatore di giri</i>	4 stadi a planetari ed uno elicoidale;	id.

<i>Rapporto</i>	<i>1:105 (50 Hz)</i>	<i>-;</i>
<i>Lunghezza moltiplicatore</i>	<i>2,1 m</i>	<i>2,1 m;</i>
<i>Larghezza moltiplicatore</i>	<i>2,6 m</i>	<i>2,6 m;</i>
<i>Peso complessivo (navicella + rotore completo di pale)</i>	<i>91 ton;</i>	



*Fig. 4-1b. Navicella della turbina V112 a cielo aperto*

*Pale*

<i>Numero pale</i>	<i>3</i>	<i>3;</i>
<i>Materiale</i>	<i>fibra di vetro rinforzata con resina epossidica</i>	<i>id.</i>
<i>Lunghezza</i>	<i>44 m</i>	<i>54,6 m;</i>
<i>Peso di una pala</i>	<i>7.000 dN</i>	<i>-;</i>

*Livello di rumore in funzionamento*

<i>7 m/s</i>	<i>100 dB(A);</i>
<i>8 m/s</i>	<i>102,8 dB(A);</i>
<i>10 m/s</i>	<i>106,5 dB(A);</i>

al 95% della potenza nominale

106,5 dB(A);

### Torre

Forma	tubolare conica rastremata verso la cima e composta da 3 sezioni;	id.
Diametro in cima	2,3 m	2,3 m;
Diametro alla base	4,15 m	4,15 m;
Altezza	≈90 m	84/94/119 m;
Distanza piano flangia superiore torre da asse mozzo	1,95 m	1,95 m;
Materiale	acciaio verniciato con applicaz. di protezione anticorrosiva	id.;
Peso	160 ton	-;

### Generatore elettrico

Tipo	asincrono	sincrono magneti permanenti e raffreddamento a liquido;
Potenza	3 MW	3 MW;
Tensione elettrica	1.000 V in AC	650 V;
Frequenza	50 Hz	50 Hz;
Velocità di rotazione	1.680 rpm	1.680 rpm;
Lunghezza	2,8 m	2,8 m;
Diametro max.	1,1 m	1,1 m;
Converter		su tutta la scala;
Peso	8.600 dN	-;

### Trasformatore di macchina

Tipo	a resine fuse	id.;
Potenza	3.140 kVA	3.140 kVA;
Tensioni	10/33 kV	10/33 kV;
Frequenza	50 Hz	50 Hz;
Lunghezza trasformatore	2,34 m	2,34 m;
Larghezza trasformatore	1,09 m	1,09 m;
Altezza trasformatore	2,15 m	2,15 m;
Peso	8.000 dN	-.

### Controller

Il controller VMP (Vestas Multi Processor) copre alcune funzioni, quali

- monitoraggio e supervisione sul funzionamento;
- sincronizzazione del generatore elettrico con la rete durante le operazioni di parallelo;
- controllo della turbina in eventi eccezionali;

- *controllo automatico di imbardata (automatic yawing) per orientamento della navicella in accordo con la direzione del vento;*
- *controllo di passo (OptiTip® - blade pitch);*
- *controllo della capacità reattiva e del regime di velocità variabile (OptiSpeed™ - reactive power control);*
- *controllo delle emissioni sonore;*
- *monitoraggio delle condizioni ambientali (variabili eoliche, temperatura, etc.);*



*Fig. 4-1c. Vista d'insieme della turbina V112 (Vestas)*

- *monitoraggio della rete;*
- *monitoraggio delle fulminazioni;*
- *supervisione dei sistemi di rivelazione di fumo;*
- *riduzione del livello di potenza in caso di condizioni di alta temperatura.*
- *controllo delle emissioni sonore;*
- *monitoraggio delle condizioni ambientali (variabili eoliche, temperatura, etc.);*
- *monitoraggio della rete;*
- *monitoraggio delle fulminazioni;*

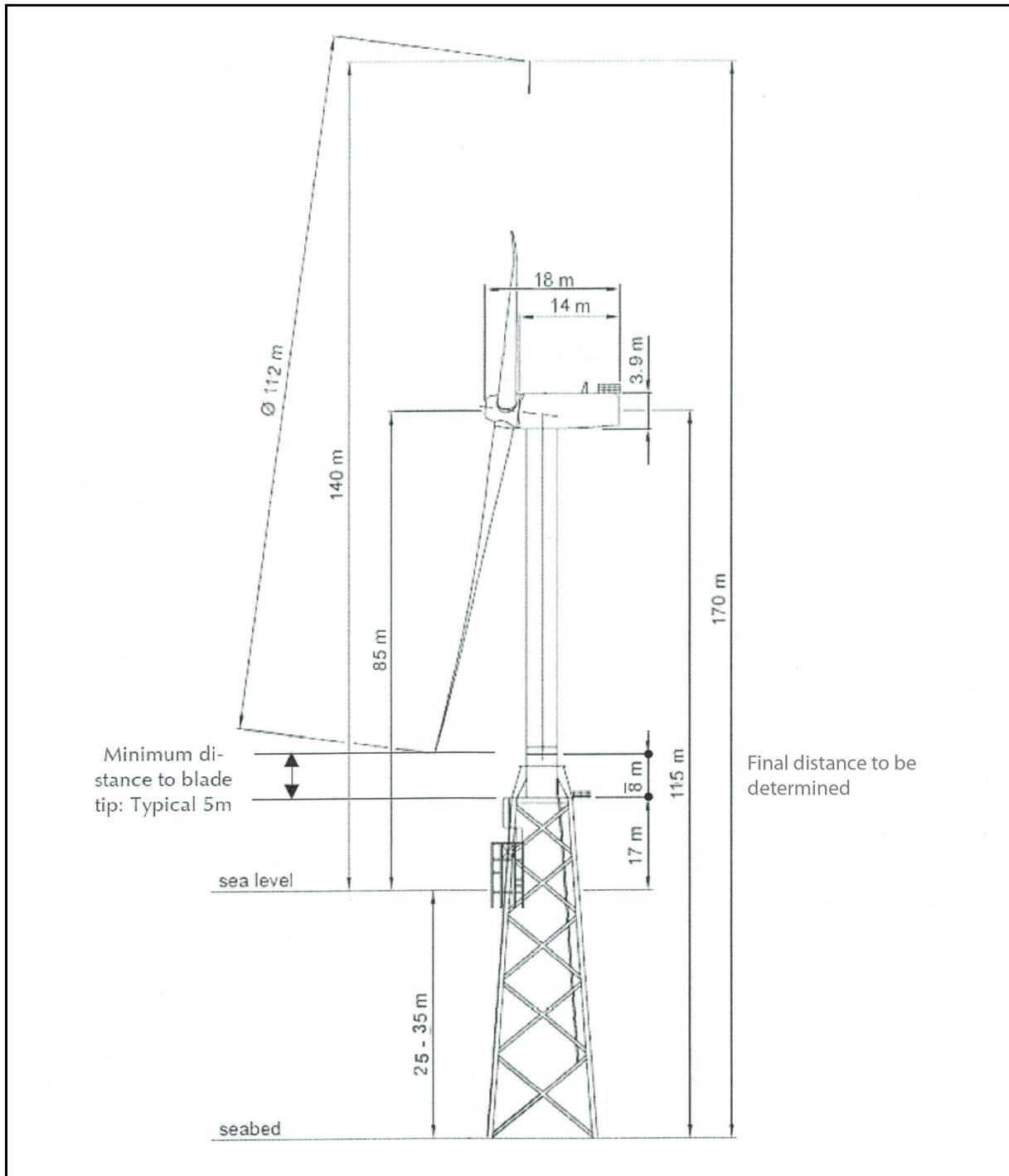


Fig. 4-1d. Schema geometrico bidimensionale del complesso fondazione-turbina eolica

- supervisione dei sistemi di rivelazione di fumo;
- riduzione del livello di potenza in caso di condizioni di alta temperatura.



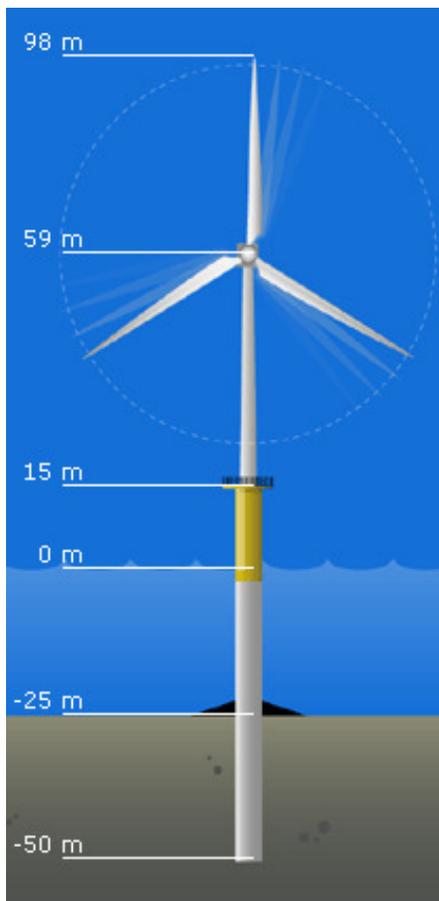
*Fig. 4-1e. Vista di aerogeneratore con mare grosso*

## **4.2 Analogie con le turbine a terra**

*I sistemi ed i componenti principali della macchina eolica, da porre in postazioni a mare, sono funzionalmente gli stessi di quelli per analoghe macchine, destinate a funzionare a terra, a meno di alcune particolarità, come*

- maggiore resistenza meccanica, essendo le azioni eoliche a mare più intense e più concentrate nel tempo anche in ragione del minor attrito offerto dal contatto con la superficie acqua;

- maggior capacità di sopportare l'attacco da parte degli agenti atmosferici ed ambientali (aria molto umida, spruzzi di acqua marina, onde, etc.) a causa di una loro più alta concentrazione salina;
- minor ricorso alla manutenzione preventiva a causa di più lunghe procedure d'intervento (a causa della lontananza da riva, della lentezza dei mezzi di trasporto a mare, della imprevedibilità meteorologiche limitanti qualsiasi accesso, etc.).



*Fig. 4-2a. Andamento verticale delle distanze dal mare medio in aerogeneratore con fondazione a monopila ed altra vista dell'unità V112*

## 5 EVENTI INCIDENTALI E LORO SVILUPPO

### 5.1 Individuazione degli eventi

#### 5.1.1 Classi di incidenti

Gli eventi negativi, che tormentano l'esercizio e che influiscono sulla realizzazione degli aerogeneratori, sono provocati specialmente -e non unicamente- da *manifestazioni naturali*. Anche azioni umane inconsulte ed impreviste, pur se in misura meno preponderante di quelle scatenate dalla natura, possono entrare nel ventaglio delle cause di incidente [81].

Tra esse vanno considerate quelle che derivano da errore umano. Questo contributo non si può mai escludere dal novero delle ragioni, che sono origine di fatti spiacevoli, dannosi per le cose e pericolosi per i lavoratori [82, 83].

L'intervento dell'uomo può manifestarsi in molte forme e compare in molteplici fasi della realizzazione dell'impianto, come pure -e sovente- nel suo esercizio. Appunto per la maggior estensione temporale, che comprende tutta la vita della centrale, e per la maggior combinazione di azioni, che influenzano il comportamento strutturale e funzionale della macchina, ci si deve riferire con maggior insistenza al *periodo di funzionamento*.

Non è detto che eventi negativi non possano colpire le fasi, che precedono l'avvio e l'andata a potenza delle turbine eoliche. Anzi, alcuni di essi possono essere tipici di tali periodi tanto che sovente vengono classificati nel novero degli *incidenti sul lavoro*.

Anche di questi si dovrà proporre qualche esempio, che nel caso degli impianti a mare sono caratterizzati dall'inconveniente più vistoso e più significativo tra tutti, cioè la presenza accidentale di uomo in mare. Seppur il ventaglio degli eventi, che possono capitare in cantiere e sul sito sia molto ampio, come accade in tutte le operazioni di montaggio industriale in ambienti rischiosi, è evidente che il caso più tipico da evidenziare possa concentrare con maggior vigore l'attenzione proprio sulle cadute in mare. La situazione può trovare una correlazione con l'analogo evento a terra, pur avendo riflessi talora meno preoccupanti in modo diretto e subitaneo.

La caduta di un lavoratore da una certa altezza non è un incidente, né minore, né meno gravido di conseguenze. Lo è tanto più rilevante quanto più è coinvolto l'ambiente in cui avviene. Infatti, la *caduta di un uomo in mare*, indipendentemente dalle cause che l'hanno prodotta -può essere il seguito di uno scivolamento dalla

murata di naviglio per urto tra natanti o per movimento accidentale anche da piccola altezza (pontone, etc.)- può avere conseguenze non luttuose o gravi per il malcapitato. Resta, comunque, il fatto, cioè il pericolo che è connesso con l'evento. Se l'uomo capita in un ambito diverso dal naturale e vi si trova suo malgrado, ne vanno esaminate le ragioni. Che possa sopravvivere oppure no -per reazioni fisico-psicologiche alla caduta, o per annegamento- ad ogni modo bisogna ricercare, valutare e decidere sulle cause, segnalarne l'accaduto ed avviare un'indagine anche da parte di organi dello Stato (Guardia Costiera, Amministrazione giudiziaria, etc.).

Per operazioni per cui l'ambiente di lavoro è l'acqua -e non soltanto sulla sua superficie- la presenza accidentale o, meglio, incidentale di un *lavoratore in tale elemento* è un'indubbia occasione di grande preoccupazione. E' sufficiente per creare allarme e per imporre l'arresto delle attività lavorative.

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.

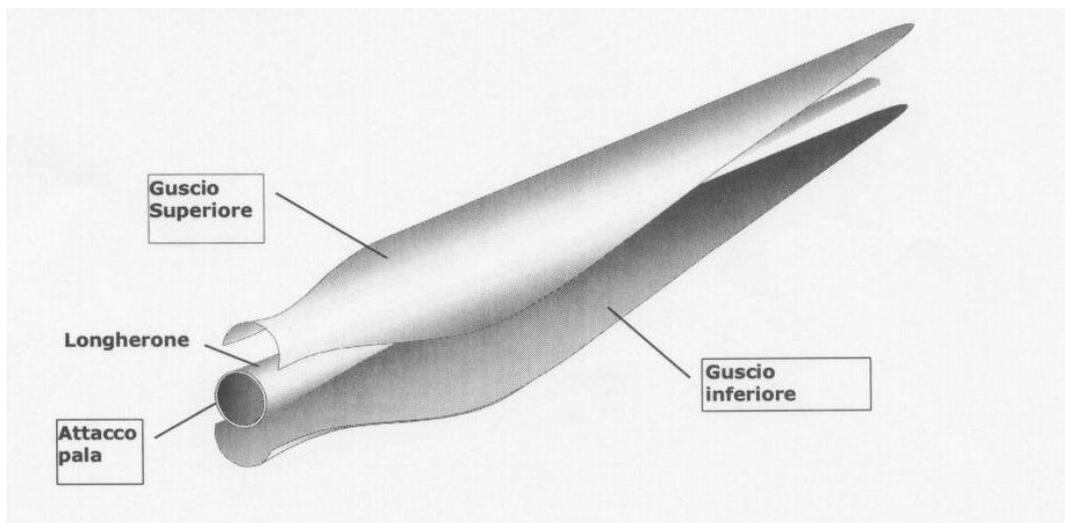


Fig. 5-1a. Schematizzazione costruttiva della pala (Vestas)

Come già si è osservato, non si può dar luogo ad una *analisi incidentale* esaustiva secondo la 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 [84-87].

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 [88-91].

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/marini e collisioni con natanti; etc.;*
- *incidenti provocati da incendi* *da sorgenti interne; da fulminazione; da altre azioni esterne naturali o umane; etc.;*
- *incidenti a personale lavorativo (con interruzione del processo per cause diverse, ferimenti, danni permanenti o, al limite, decessi, etc.)*  
*a persone esterne* *da incidenti di natura meccanica; da incidenti di natura termica (incendi, fuochi, etc.); etc.*

Di ognuna di queste linee si studierà di produrre *esempi e casi concreti*, che almeno

- servano a confermarne l'occasione di ogni evento;
- possano dare qualche lume circa le cause iniziatrici;
- aiutino a delimitare o a precisare i danni conseguenti.

Si procederà a descrivere con maggiori particolari gli eventi, che sono accompagnati da documentazione fotografica. La scelta deriva dalla difficoltà di riuscire a trovare prima ed a dare, poi, con la dovuta correttezza le informazioni, che possono interessare il lettore (uno stralcio è anche proposto nei prossimi paragrafi di questo capitolo, come introduzione all'elenco degli incidenti). E' un programma di lavoro limitato, ma può essere ritenuto congruo con gli obiettivi, che sono stati posti.

Altrettanto imponenti possono essere le *conseguenze*, che prevedano

- *danni a cose (dell'impianto o esterne ad esso);*
- *danni all'uomo (personale addetto ai lavori o personale civile, in parte già analizzati con il precedente elenco);*
- *danni all'ambiente (botanico naturale od animale marino/terrestre).*

Ripetutamente si affermerà l'intendimento di concentrare l'escussione degli eventi incidentali e la scelta a *partire dall'inizio degli anni 2000*.

Pur non stravolgendo l'impostazione da seguire, è da convenire che i casi di distruzione -completa o parziale- sembrano essere più evidenti negli aerogeneratori più vecchi e di più piccola taglia.

E' comprensibile che il maggior interesse degli analisti della sicurezza si rivolga a macchine più potenti, che sono anche quelle più recenti e quelle sulle quali si orientano gli odierni ordinativi. Ma l'onda lunga delle risultanze sulle centrali più anziane non può essere dimenticata o trascurata.

## 5.1.2I numeri della banca dati dagli anni '90 al presente decennio

### 5.1.2.1 Numero complessivo di incidenti

Mantenendo la barra dritta verso quest'ultimo decennio, che inizia grosso modo con il XXI secolo, si deve riconoscere che l'impiantistica eolica non può essere priva di guai al pari di ogni altra iniziativa industriale. Come ricorda in una sua nota il CWIF, quanto si riesce a raccogliere da fonti diverse -soprattutto dalla stampa locale o nazionale- è soltanto "a tip of the iceberg" rispetto alla reale consistenza della massa di incidenti, che si sono manifestati in tutte le varie fasi realizzative dell'impiantistica eolica.

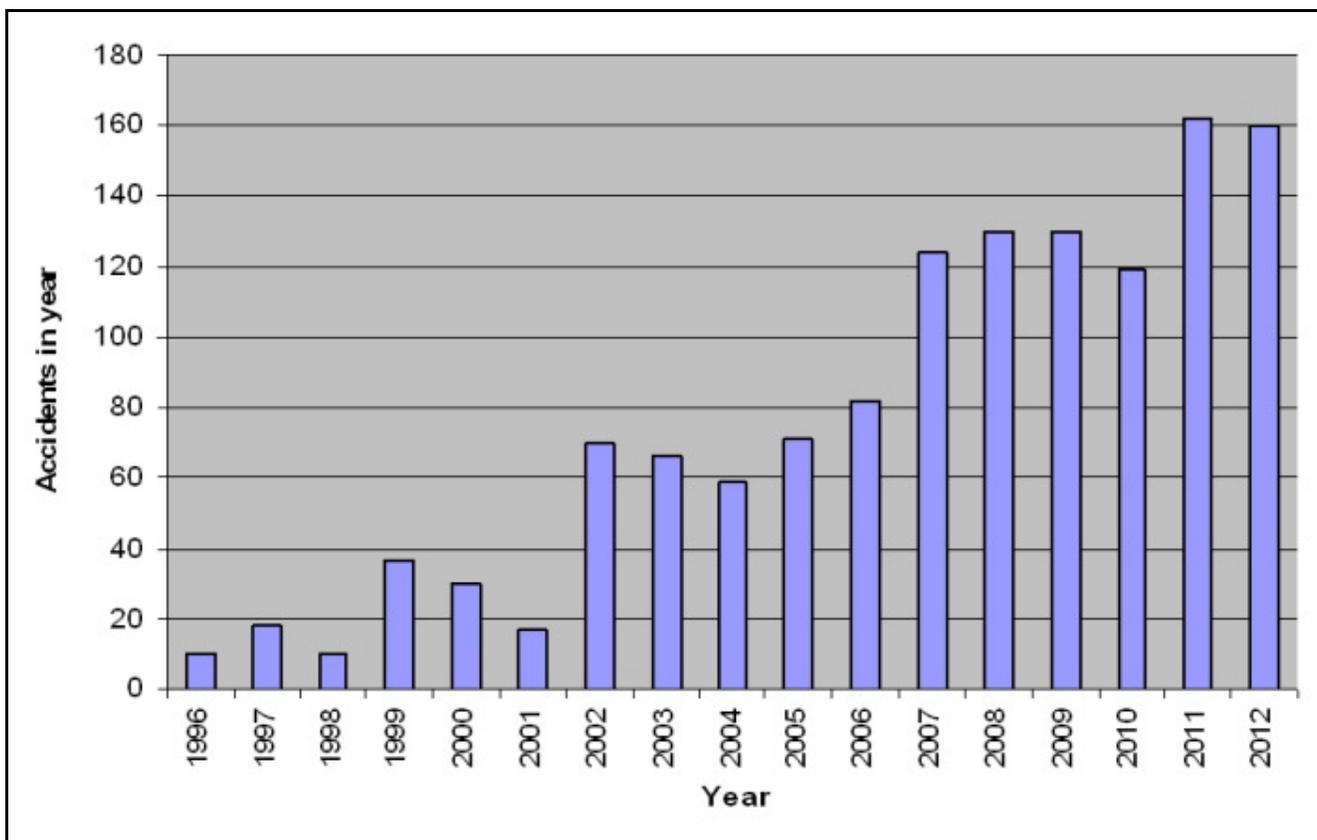


Fig. 5-1b. Istogramma temporale degli incidenti

Nel Dicembre del 2011 il Daily Telegraph osservava che negli ultimi cinque anni nel territorio inglese si erano manifestati circa 1.500 incidenti alle turbine eoliche, mentre

nella banca dati incidentali se ne riscontrano soltanto 142 (dati relativi precisamente al periodo tra il 2006 ed il 2010). Quanto è emerso ed è stato portato alla conoscenza del grande pubblico sembra dover farlo corrispondere a meno del 10% degli eventi effettivamente accaduti.

E tutto ciò nonostante gli sforzi dei tecnici per migliorare il funzionamento e la resistenza delle macchine eoliche, sforzo che va di pari passo con le moderne tecniche realizzative e con l'accrescimento della potenza unitaria. Ed anche all'aver scartato le rilevazioni fatte prima del 1997, che è stato un po' considerato l'anno d'inizio dell'era veramente industriale del settore.

Pur con queste premesse una constatazione è insopprimibile (Fig. 5-1b): più turbine si costruiscono e se ne installano e più sono gli incidenti che si lamentano. L'assunto sembra aver le fattezze di un falso, tenendo conto delle attenzioni e dell'impegno, che tutti gli operatori del settore mettono verso lo sviluppo e la sicurezza operativa, e delle precauzioni nell'allontanare i campi eolici dalle zone abitate o maggiormente frequentate dalla popolazione, come è stato stabilito in varie nazioni.

Basti ricordare che le autorità governative canadesi hanno imposto un lasco di 2 km tra campo eolico ed abitazioni. Lo stesso ha decretato la Scozia, pur non rispettando sempre con scrupolo i divieti emanati; così ha fatto anche il governo australiano di Victoria. A mare si parla di tenere il parco eolico da 4 km a 3 miglia marittime lontano dalla costa. La precauzione è per rendere meno evidente l'inquinamento visivo, oltre che collaborare ad evitare complicazioni alla sicurezza dei civili.

Purtroppo, le cifre (Fig. 5-1c) sono lì a confermare l'assunto iniziale che vuole più incidenti a mano a mano che si incrementa la quantità delle realizzazioni. I *numeri degli incidenti registrati* affermano che dalla media di 8 incidenti all'anno per il periodo 1993-97, si passa ai 33 accidenti annuali del quadriennio 1998-2002, si cresce agli 80 per il quadriennio successivo e si perviene, infine, ai 140 dell'ultimo triennio, 2009-2012.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.	1	9	98	30	17	70	66	59	71	82	124	130	130	119	162	160

Source: CWIF

Fig. 5-1c. *Computo incidentale per ogni periodo temporale considerato* Gli istogrammi della Fig. 5-1b si trasformano nella stringa di cifre della Fig. 5-1c, in cui sono riportati i numeri degli incidenti denunciati in ogni anno del periodo coperto dalle rilevazioni, cioè dagli anni '70 del secolo scorso all'anno 2012.

Il totale ammonta a ben 1.328 fatti incidentali, che la banca dati ha catalogato. I bassi numeri dei primi anni trovano la giustificazione in un processo individuativo degli incidenti ancora iniziale, in una popolazione di turbine anch'esso ai primordi come attività industriale ed in macchine dalla potenza limitata e dai criteri realizzativi imprecisi.

E' certo che il dato dell'ultimo anno censito sconvolge, se è comparato con il primo della serie, un evento contro 160. E questo non è nemmeno il più alto in assoluto, essendo superato di misura dall'anno precedente, il 2011, per due eventi. Dal 2007 i

numeri sono tutti superiori al centinaio con un balzo tra l'anno prima, il 2006, di ben il cinquanta per cento (da 82 a 124).

Anche in precedenza si erano constatati scarti significativi. Tra 2009 e 2010 si ha un incremento di circa il 36%, tra 2004 e 2005 un buon 20%, tra gli anni '80 e '90 addirittura lo scostamento si misura in quasi 11 volte.

Non mancano i decrementi . Possono variare di poco come tra 2003 e 2004, tra 2009 e 2010 o possono evidenziare un vero crollo, come tra gli anni '90 ed il 2000 (circa tre volte).

### 5.1.2.2 Numero complessivo d'incidenti con vittime

Accanto ad un'analisi quantitativa potrebbe essere proficua anche qualche stima qualitativa, per esempio sui *decessi durante l'incidente*.

Se si estraggono dalla stringa degli incidenti della Fig. 5-1c quelli con esiti luttuosi, è proponibile un altro profilo indubbiamente più doloroso del precedente, essendo segnato da perdite umane.

La Fig. 5.1d, costruita con la stessa cadenza temporale della Fig. 5-1c, ragguaglia sul profilo delle morti avvenute nell'ambito degli incidenti già selezionati, che non riguardano ovviamente soltanto quelli che hanno prodotto vittime (contusi, feriti, morti o menomati).

Il totale ammonta a ben 99 incidenti con perdite di vite umane, che la banca dati ha isolato tra gli incidenti già catalogati e che si riferiscono prevalentemente ad addetti ai lavori per il campo eolico.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.	1	8	15	3		1	4	4	4	5	5	10	7	7	13	12

Source: CWIF

Fig. 5-1d. Computo di incidenti con decessi per ogni periodo temporale considerato

La Fig. 5-1d, in cui emerge con quasi dubbia concretezza uno zero nell'anno 2001, ha il valore massimo di incidenti con vittime nel 2011 ed ha un profilo non molto diverso da quello relativo al numero degli incidenti. Si riscontra aumento tra 2001 e 2002 (un incidente mortale contro 4), tra anni '80 e '90 (poco meno del doppio, come tra il 2007 ed il 2008) e tra 2010 e 2011 (aumento di circa 85%). Non sono assenti anche variazioni in discesa. Si ha diminuzione tra 2000 e 2001 (da 1 a 0), tra 2008 e 2009 (da 10 a 7) e tra 2011 e 2012 (da 13 a 12).

Potrebbe essere comprensibile non fermarsi al *computo delle morti*, che sono direttamente coinvolte con il parco eolico in una qualsiasi delle sue fasi.

Se si considerano anche quelle persone, che sono diventate vittime in via indiretta, il risultato potrebbe cambiare -forse- in modo imprevedibilmente deciso. In questa

visione i morti salgono a 133, tra i quali si devono annoverare in una diversa suddivisione

- 83 individui, che sono lavoratori dell'industria eolica o direttamente in supporto ad essa (sommazzatori, addetti a costruzione/installazione/manutenzione, ) o che sono impegnati nel funzionamento di piccole unità;
- 50 unità, che sono persone uccise dalla fatalità (o quasi), includendovi lavoratori indirettamente collegati con l'industria (ad es., addetti ai trasporti) e 17, che sono i passeggeri di un bus coinvolti in un incidente stradale in Brazil nel Marzo 2012.

Un'ultima regressione può essere suggerita per individuare nella congerie degli incidenti, rappresentati nella Fig. 5-1b il contributo derivante dai *lavoratori che sono sopravvissuti, pur avendo subito offesa nel proprio fisico* (ferimento, disabilità, amputazioni, etc.) a causa delle attività nel settore eolico. Una siffatta ricostruzione con indici annuali di limitazioni diverse a soggetti, che ne sono colpiti a causa del loro impegno in questa energia alternativa, si ha con la Fig. 5-1e.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.			5	4	1	2	2	2	6	10	16	16	9	14	12	15

Source: CWIF

Fig. 5-1e. Andamento annuale di incidenti a lavoratori, che hanno subito danni personali

Di questi 95 hanno coinvolto lavoratori dell'industria eolica o partecipanti a vario titolo a costruzione/manutenzione, 19 si riferiscono a lavoratori dell'industria indirettamente addetti all'energia eolica oppure civili, che non lo erano affatto. Di questi -in un tentativo di attribuzione nazionale- soltanto sei sono avvenuti in Inghilterra.

## 5.2 Meccanismi incidentali

Si è ripetutamente osservato che non si entrerà nell'esame delle modalità di innesco e di sviluppo degli incidenti, che è materia di spettanza dell'analisi incidentale. Ciò non di meno qualche considerazione deve pure essere posta per descrivere almeno lo *scenario incidentale* e per accertare, sia le cause principali degli incidenti, sia, soprattutto, i fatti essenziali e determinanti per la presentazione degli effetti. Pur costituendo questi la tesi e l'argomento ispiratore del testo non è possibile esimersi da una breve indagine sui meccanismi delle rotture, seppur esposte in maniera molto succinta.



Fig.5-2a. Tessitura dei gusci

La *perdita di integrità strutturale* per rotture (di pale, di torre, etc.) in un aerogeneratore può essere ingenerata da

- *carenze interne* alla macchina per mancato od insufficiente controllo o regolazione dei regimi di funzionamento del rotore durante temporali o tempeste di vento più o meno vigorose;
- *eventi esterni*, come fulminazioni o eccessivi carichi eolici, che sempre si manifestano in concomitanza con condizioni meteorologiche complesse o molto forti o, addirittura, eccezionali, pur con i sistemi di controllo e di sicurezza dell'unità perfettamente operativi.

Le due categorie hanno un diverso approccio e richiedono differenti interventi.

## 5.2.1..da eventi meccanici

### 5.2.1.1 Considerazioni sui cedimenti di pala

La prima causa, cui riferirsi, 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. Su tali manchevolezze i responsabili delle singole forniture o dei singoli settori dovranno provvedere in modo da eliminare le cause o da ridurne gli effetti.

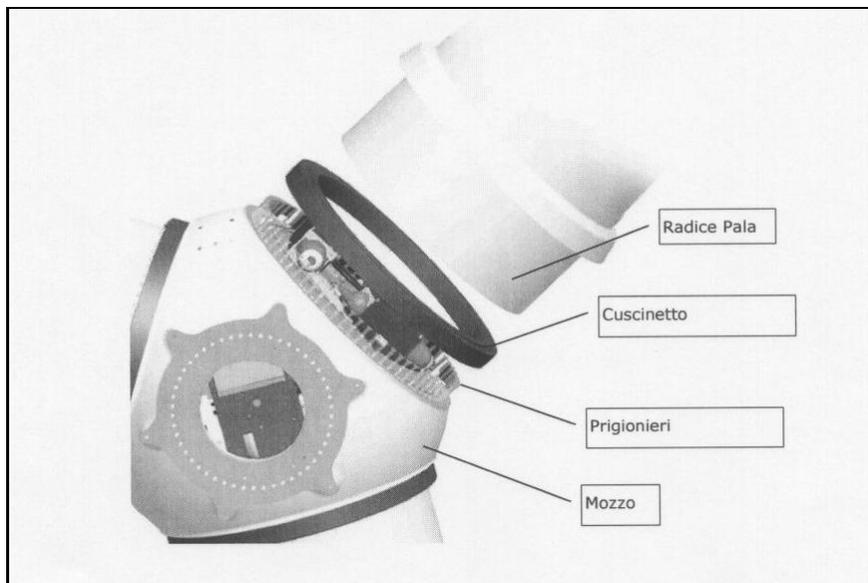


Fig. 5-2b. Collegamento pala-mozzo (Vestas)

Se con una unità sperimentale o con il primo esemplare (*first of the series*) la probabilità di siffatte incongruenze può essere elevata, con il prosieguo della serie la loro entità si dovrebbe ridurre. Magari non si potranno cancellare del tutto, perché l'assoluto non esiste in ingegneria, ma si dovranno almeno marcare con una probabilità di cedimento (*failure rate*) nota. Con opportune procedure conservative (cicli di manutenzione programmata, controlli o sostituzione parziale a periodicità fissata, etc.) si potrà tendere a ridurla od a mantenerla entro un valore noto durante la vita.

Un esempio, che si può dire, classico è la *rottura di una pala per ragioni interne all'aerogeneratore* (Fig. 5-1a, 5-2b). 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 dice che "vada 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.

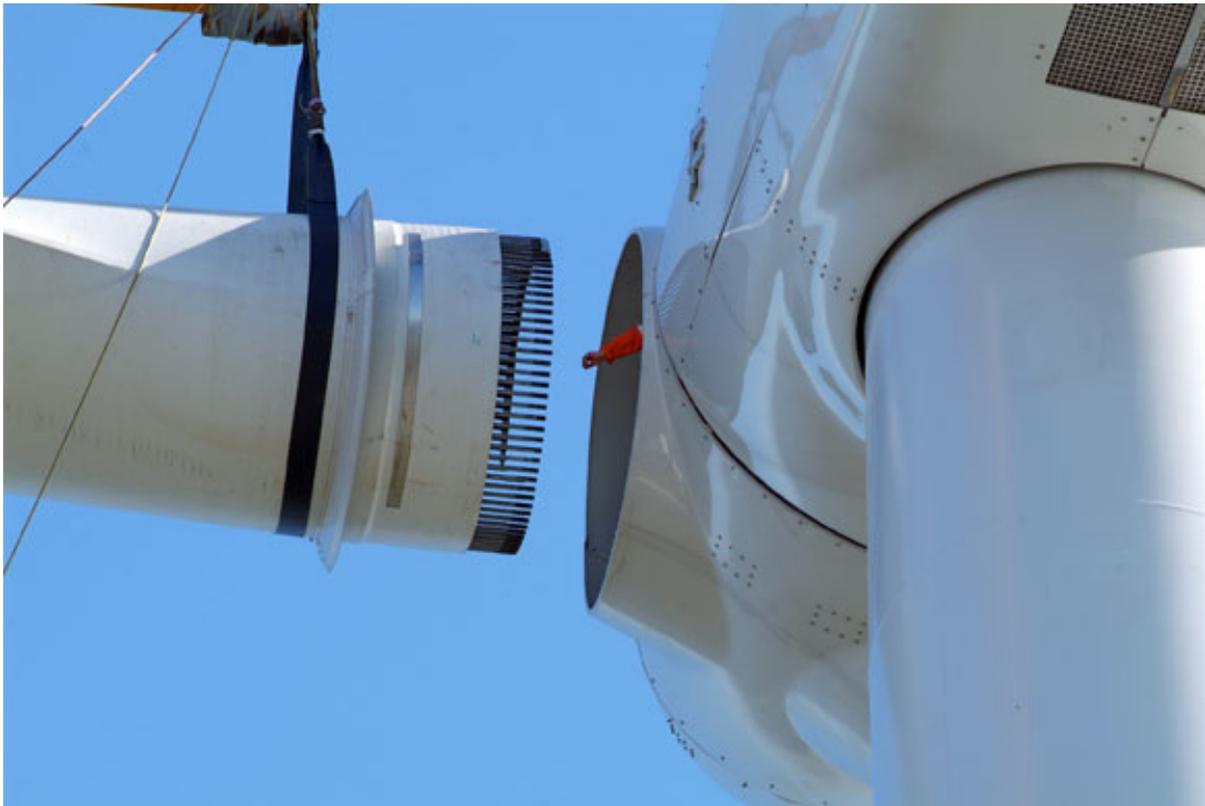


Fig. 5-2c. Inserimento della pala nel mozzo mediante collegamento imbullonato (Nordex)

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 (Figg. 5-2b/c/d), od in altra sezione (Figg. 5-2f/g).

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. Sono in grado di raggiungere distanze tra i 100 ed i 600 m dalla turbina incidentata ed oltre. E' stata misurata una gittata anche di più di un chilometro, come si sostiene nella trattazione degli incidenti, svolta nei capitoli successivi. Il punto così remoto dal piede dell'aerogeneratore ha indotto a ritenere che il punto più vicino ad un abitato non superi i 2 km, come alcuni paesi impongono.



*Fig. 5-2d. Vista della sede per il collegamento imbullonato tra pala e mozzo (contenuta all'interno del musetto dell'involucro del rotore)*

Il processo di rottura può anche essere indotto o propagato da azioni esterne, come una fulminazione o un tornado od altro.

### 5.2.1.1.1 Numero di eventi incidentali su pala

Continuando nella stima dei numeri, che descrivono l'importanza di ogni caso di incidenti, è opportuno ancora dedurre il quantitativo incidentale che è proprio di questa categoria di *eventi meccanici con rotture di pala* e che in un ideale elenco di frequenza incidentale occupa il primo posto.

Nella realizzazione di questa serie di incidenti (Fig. 5-2e) non si scevera tra le possibili cause e neppure sull'entità della rottura (totale, parziale, per semplici frammenti, etc.), in quanto può essere più significativo disporre di un dato che copra tutti i vari aspetti, almeno in prima battuta.

Un'indagine più fine può successivamente essere avviata, ma bisognerebbe essere certi di avere informazioni ben precise e dettagliate. Proprio queste notizie non sono sempre rintracciabili nella stampa generalista, che non mette in campo le conoscenze tecniche necessarie e tanto meno procede con descrizioni così accurate quanto sarebbero attese dagli analisti della sicurezza.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.			35	4	6	15	13	15	12	16	22	20	26	20	19	28

Source: CWIF

Fig. 5-2e. Computo annuale di incidenti con rottura di pala

Può, comunque, essere di guida la stringa di dati della figura soprastante, ove sono computati ben 251 casi, di cui 216 soltanto nel periodo di anni compresi in questo scorcio di secolo. Il numero massimo si ha proprio in corrispondenza del 2012 con 28 casi, mentre in seconda battuta si piazza il 2009 con solo due casi in meno. E il massimo è stato raggiunto dopo due anni (a partire dal 2006), in cui i numeri si erano ridotti in misura significativa (pari al 7-8%).

Un elemento degno di nota è la *distanza di lancio*, cioè la distanza alla quale è atterrato il frammento di pala. E' evidente che la gittata sia anche funzione di svariate quantità (peso del corpo in volo, energia impressa al distacco, punto della rotazione da cui avviene il lancio, velocità di rotazione della pala, condizioni esterne agenti nel momento, altezza della torre, potenza della turbina eolica, modalità realizzativa della pala e controlli di qualità seguiti, etc.).

Il pezzo, che è stato rilevato più lontano dal piede dell'aerogeneratore, è stato trovato a circa un miglio di distanza. E questa sembra essere la ragione, per cui in alcune

nazioni è stata fissata la distanza del più vicino aerogeneratore da un abitato in 2 km. La distanza sembra essere sostenibile in territori molto estesi e poco popolati, la qual situazione non corrisponde alla composizione orografica ed etnografica dell'Italia.



1)



2)

Fig. 5-2f. Diversi effetti di danno prodottosi in pale

#### 5.2.1.2 Rottura/deformazione della torre e suo scalzamento

La distruzione, poi, della pala può continuare oppure nel suo movimento ormai non più regolare può colpire la torre. 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 *inflexione della torre*, che è un corpo contraddistinto da una relativa snellezza, essendo molto sviluppato in altezza, e di cui la parte superiore potrebbe essere abbattuta.

Mentre nel primo caso non è detto che la navicella venga proiettata al suolo, nel secondo caso l'effetto finale è senz'altro di questo tipo. L'insieme delle forze statiche e dinamiche (azione del vento, vibrazioni comunicate dai carichi a quote superiori, come navicella, rotore e pale, che sono fuori controllo, etc.) possono portare a *rottura o crollo della torre*.



*Fig. 5-2g. Rottura di pala in aerogeneratore dell'Università di Sheffield (Uk) a seguito di tempesta, accaduta il 28 Giugno '08*

E' una conseguenza non inevitabile, ma assai probabile, per la quale non valgono le modifiche ai parametri progettuali a meno di pesanti incrementi nei pesi (per maggiori spessori, diverse sezioni, irrigidimenti, etc.) e nei costi.

L'azione di venti eccezionali hanno avuto un effetto catastrofico, sia sulla navicella con effetto a svellerla dal collegamento con la superficie di testa della torre, sia sull'aerogeneratore nel suo complesso. La Fig. 5-2h.1 mostra un evento distruttivo, che ha coinvolto la torre. Piegandosi, questa ha non solo gettato a terra la navicella quanto soprattutto a cancellato inesorabilmente la possibilità di rimettere in

sesto la turbina, grazie ad un eventuale riposizionamento della navicella sulla propria sede.

Un caso di incidente ancora più radicale e più grave è illustrato dalle Figg. 5-2h/i, in cui è documentata la distruzione dell'aerogeneratore a seguito del rovesciamento completo dell'insieme turbina-fondazione. E' evidente che il vento -sempre che sia stato soltanto questa la condizione eccezionale di carico- abbia trovato in una debole attività contrastante, cioè anti-ribaltante, nel blocco fondario. Questo è restato compatto ed unito, come almeno avrebbe dovuto per rispondere al carico eolico.

La azione risultante del vento si manifesta e si può ridurla ad una forza lungo l'asse del rotore. Ne consegue un rilevante momento flettente (forza risultante per altezza della turbina) da riportare necessariamente sul basamento.



Fig. 5-2h. Inflessione e rottura di torre (1) in unità del parco eolico di Searsburg e collasso della torre con abbattimento (2; data 29.08.2007)

Se non è stato dimensionato in modo insufficiente lo spessore, lo è stata la superficie. Il risultato evidente è che il corpo fondario non sia riuscito ad offrire una massa adeguata e sufficiente per opporsi al momento d'origine eolica, quando il vento raggiunga il valore eccezionale sviluppatosi. Ma è appunto in questo frangente che la fondazione deve provvedere a difendere la turbina, tenendola costantemente nel suo assetto verticale e con il piede ben saldo.

Il rischio, imputabile a presenza di "oggetti da difendere", dislocati casualmente od in modo permanente entro il raggio di caduta, e di persone, stazionanti o

transitanti nell'area (pur essendo molto diversi i due casi), sarebbe indubbiamente elevato, a motivo delle energie in gioco.

E', pertanto, da escludere che entro (o nelle immediate vicinanze di) tale zona si possano trovare vie di comunicazione, stazioni di distribuzione di combustibili, ferrovie od altra realizzazione particolarmente esposta e sensibile a tale offesa.



1)



2)

*Fig. 5-2i. Atterramento (5.09.2011) di turbina nel campo cinese di Minh Yang per sbullonamento dalla fondazione (1) e rovesciamento di torre a Forge Holmen (2)*

E' per tali motivazioni che si insiste nell'imporre distanze dell'ordine di quelle già citate per i campi eolici a terra. Questo evento non è stato mai riscontrato in impianti a mare.

#### 5.2.1.2.1 Numero di eventi incidentali su struttura

Il cedimento della struttura di sostegno della navicella tiene nonostante tutto il terzo rango in fatto di numerosità di eventi dopo la rottura delle pale ed i casi di fuoco. Infatti, stando alla Fig. 5-2j, dall'inizio delle rilevazioni se ne contano 130 e nei tredici anni di questo secolo (considerando anche l'anno 2000) ben 115 con una media di 8,8 casi all'anno.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.		1	14	9	3	9	7	4	7	9	13	9	16	9	11	9

*Source: CWIFFig. 5-2j. Computo annuale di incidenti con cedimento della struttura di sostegno della turbina*

Il numero massimo è da assegnare all'anno 2009 con ben 16 casi di abbattimento strutturale, seguito dall'anno 2007 con 13 e il 2011 con 11. L'anno, che è stato segnato da un minor numero di eventi di questo tipo, è il 2001 con 3 casi soltanto.

Le cause, come si è notato nel paragrafo precedente, sono da scrivere a combinazione di agenti meteorologici avversi, che producono cedimenti nelle pale e nelle torri a causa di uno scarso livello qualitativo nella realizzazione e nei controlli, come pure in un programma di manutenzione preventiva imperfetto e carente.

Il riflesso economico e la dimensione del danno sono nettamente superiori a quelli riscontrabili con il distacco di una pala. Il rischio per la popolazione e per il personale appare essere nettamente inferiore, in quanto la eventuale caduta si risolve entro una distanza dal piede dell'aerogeneratore, che è relativamente piccola. Ciò allevierebbe le conseguenze temute per cose e persone. Purtroppo, sono le unità di minor potenza e di maggior età che possono essere esposte a siffatto evento. E queste turbine sono anche quelle che più sono state collocate vicino ad abitati ed a complessi particolarmente sensibili (scuole, ospedali, etc.) con distanze anche inferiori a quelle oggi consigliate.

In questo senso -e soltanto per queste unità- il rischio può essere rilevante. Lo è molto meno per le turbine attuale ed addirittura per quelle a mare, ove l'evento

dovrebbe essere nettamente minore proprio per la cura e la progettazione per livelli di carico superiori, essendo esposte a condizioni meteo-marine più gravose.

### 5.2.1.3 *Eventi incidentali da lancio di ghiaccio*

La *formazione di ghiaccioli*, di croste, di lastre ghiacciate e di piccoli -o meno piccoli- ammassi nevosi sulle superficie delle pale sono da far risalire all'azione di stagioni fredde in zone climatiche rigide e solitamente settentrionali per le nostre latitudini.

Non è questo il caso usuale dei territori costieri del Mar Adriatico meridionale. Pur se infrequente il fenomeno di clima molto rigido con temperature sotto zero non è da escludere anche colà. Anzi si sono già avute stagioni invernali particolarmente fredde, pur se non molto durature, al Sud Italia. Si sono riscontrati giorni con punte di freddo per basse temperature, che -fortunatamente per gli abitanti e per le culture- non permansero a lungo (più probabilmente per qualche giorno che per settimane). La formazione di ghiaccio lungo le pale non è da escludere e nemmeno sono da ignorare cadute o lanci di ghiaccio da aerogeneratori, installati nel Basso Mar Adriatico.

Le *distanze, percorse in volo, dal corpo estraneo* dipendono da svariati fattori, quali dimensioni-conformazione-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.

Questo argomento si ripresenterà altre volte per non dire quasi costantemente. Sarà conveniente al momento opportuno fare una digressione per conoscere i vari orientamenti di diversi gruppi di opinione, di pubbliche amministrazioni, di enti per la sicurezza in merito alla affermazione di una necessaria dichiarazione formale sulle distanze tra abitati (o aree destinabili ad essere residenziali o frequentate, etc.) e campi eolici.

Anche le caratteristiche (presenza di "oggetti" da preservare, frequentazione umana, declivi/accidentalità del suolo, etc.) del sito circostante la turbina, che sta producendo questo tipo di missili, gioca un ruolo essenziale sul rischio di lesioni. Occorre considerarlo attentamente per discernere l'aggressività di tali cadute o dei conseguenti lanci sull'ambiente e, soprattutto, sull'uomo e sulle sue cose (costruzioni, auto, impianti vari, etc.).

#### 5.2.1.3.1 *Numero di eventi incidentali da lancio di ghiaccio*

Un dato, che può essere suscettibile di commenti e valutazione, è la massima gittata cui è arrivato del ghiaccio rispetto alla turbina di origine. E' di 140 m e la traiettoria coperta da questo missile è di gran lunga inferiore a quella, cui è arrivata una pala o suoi frammenti. Fonti canadesi contraddicono questo assunto, sostenendo che da alcuni osservatori siano stati riscontrati lanci sino a 340m.

Il numero totale dell'incidenza da ghiaccio è di 34 eventi su tutto il periodo soggetto a rilevazioni e 25 nei tredici anni del presente secolo (Fig. 5-2k). Sono così pochi per una coincidenza. Sono stati segnalati soltanto quelli che per qualche ragione erano stati causa di danni a persone.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.			9			2	2	4	4	3		3	4	1	1	1

Source: CWIF

Fig. 5-2k. Computo annuale di incidenti con rilascio di ghiaccio

In realtà, come si può ben supporre, cadute o lanci di ghiaccio da pale o da elementi strutturali delle turbine sono ben più numerosi. E da parte tedesca si propongono numeri ben diversi. Tra il 1990 ed il 2003 sarebbero stati contati un po' meno di 900 casi (per la precisione 880), di cui un terzo in zone pianeggianti o lungo la costa. La difficoltà di avere menzione corretta di simili eventi, che sovente -per non dire sempre- sono innocui per il genere umano, è il comunicare alla stampa tali accadimenti ed ottenerne la diffusione. La ritrasmissione di tali notizie è dubbia, dal momento che non hanno creato né danni a persone/cose, né pericoli per la circolazione o per l'uso del territorio.

Da altre sorgenti informative si hanno ulteriori dati. Da un rapporto si fa presente che nel 2005 siano stati contati (o stimati) 94 casi e che da altre vie nel 2006 ne siano stati inclusi ulteriori 27 eventi. La incertezza e la probabile imprecisione, aggiunta al debole rischio associato con il lancio di ghiaccio, fa sì che non vi sia molta concordanza tra le rilevazioni, per le quali non si ritiene di dover mettere un particolare impegno nell'effettuarle.

#### 5.2.1.4 *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 a terra/mare del sito, le procedure installative imposte, la stagione dell'anno, i ritmi di lavoro richiesti dal programma temporale del campo e da altri elementi, che sono stati esplicitati e esposti nel progetto della centrale.

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, perché sino ad ora nessun campo è stato sottoposto ad una totale dismissione (specialmente se ci si ferma a valutare i campi eolici a mare).

#### 5.2.1.4.1 Numero di eventi incidentali da trasporti

Si tralascia per il momento di esaminare la fase dei lavori, in cui gli eventi incidentali si verificano, al pari della collocazione territoriale (a terra, a mare, in montagna, etc.). Ciò consente di fare astrazione dalla configurazione orografica e/o elementare (terra, fiume, lago, diga foranea di porto, etc.) e di considerare in via astratta modalità ed effetti almeno in prima battuta.

La Fig. 5-2I cataloga 111 incidenti, che incominciano ad essere valutati soltanto dal 2002 e che coprono grosso modo poco più di due lustri. Nel computo rientrano eventi con diversa entità di conseguenze, e per il mezzo trasportante, e per le persone eventualmente chiamate o travolte dall'accidente, e per le cose partecipanti direttamente o indirettamente al disastro o all'accaduto. Il numero maggiore di eventi è da considerare il 2011 con 24 eventi, seguito dal 2007 con 19 e dal 2012 con 17. Il minio è ovviamente costituito da assenza di eventi, come sembra essere avvenuto nel 2003.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.						4		3	6	6	19	10	11	11	24	17

Source: CWIF

Fig. 5-2I. Computo annuale di incidenti con coinvolgimento di trasporti

Una considerazione, che non può essere sottaciuta, è l'ammissione o il riconoscimento di esaminare con i trasporti l'occasione dell'incidente singolo, che ha una delle più importanti cause di rischio per il pubblico. Ciò dipende dal fatto che i trasporti, che si considerano, si svolgono interamente al di fuori del campo eolico.

#### 5.2.1.5 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 iniziatori. Le rotture o le fermate provocate in 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

sovaccorrenti (Fig. ) 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. Dal 2012 si prevede di inserire anche la categoria dell'impatto umano, come possono essere i noiosi effetti ottici (flicker) o altre influenze sulla vita dell'uomo.



*Fig. 5-2m. Esplosione di navicella a seguito di sovrattensione durante una tempesta con venti a 260 km/h nel campo eolico scozzese di Ardossan nel North Ayrshire (Stuart McMahon)*

#### 5.2.1.5.1 Numero di eventi incidentali di varia natura

Il complesso delle eventualità incidentali, presenti nella Fig. 5-2n, danno luogo a circa 267 casi su un arco di 22 anni, quale è il periodo delle rilevazioni inserite in banca-dati. L'incremento del numero, corrispondente ad ogni annualità, si spiega con il maggior numero di turbine in esercizio più che a modifiche climatiche, che magari ci sono anche, ma che dal punto di vista ingegneristico incidono con minor valore.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
------	-----	-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

No.			13	7	4	12	13	11	12	16	18	24	27	25	43	42
-----	--	--	----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Source: CWIF

Fig. 5-2n. Computo annuale di incidenti di natura diversa

Tra le ultime due cifre si ha uno scarto decisivo rispetto ai tre anni precedenti, che sono attorno ai 25-27, mentre tra 2011 e 2012 si rileva uno scatto di circa un 70%.

## 5.2.2..da accidenti esterni all'aerogeneratore

### 5.2.2.1 Fulminazioni e fuoco

La *seconda categoria* tra le due, che sono state evidenziate alla fine del paragrafo 5.2, 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.



*Fig. 5-2o. Incidente multiplo alle pale (tranciatura netta di una pala, piega ed asportazione di punta in altra) di un aerogeneratore del sito di Conisholme (Lincolnshire, UK), avvenuto l'8 Gennaio '09 ed attribuito dalla stampa all'azione di un UFO*

Un caso evidente di preoccupazioni è da assegnare alla *caduta di un fulmine sulla turbina eolica*. E' una causa comune di rotture (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 nelle realizzazioni eoliche. Il rotore sovente continua a funzionare e le pale a ruotare, fintanto che le

fiamme non le disintegrino, se è stato compromesso anche il sistema di controllo della turbina.

Pezzi di varie dimensioni, incendiati o roventi, sono lanciati a distanze anche considerevoli. L'altezza della torre fa il resto. Non essendo possibile provvedere -se non raramente- ad estinguere il fuoco laddove si è sviluppato ed è concentrato, si lascia bruciare completamente 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.).

#### 5.2.2.1.1 Numero di eventi incidentali da fuoco

E' il secondo caso incidentale più frequente dopo il distacco della pala. L'origine dell'evento è piuttosto complessa e varia ed è anche questa abbondanza di cause a tenere alto il livello di manifestazioni. Come si rileva dalla Fig. 5-2p, il numero totale di occasioni è di 250 in tutto il periodo di rilevazioni e di 244 nei tredici anni dall'inizio secolo.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.			6	3	2	24	17	15	14	12	21	17	17	13	20	19

Source: CWIF

Fig. 5-2p. Computo di incidenti con incendio

Non è il caso di ripetere considerazioni, già svolte nel paragrafo precedente a proposito di alcune possibili cause di innesco di fuoco; va ricordato che in tre situazioni incidentali si sono dovute lamentare lesioni a lavoratori.

#### 5.2.2.2 Incidenti con influenza sull'ambiente (collisioni, etc.)

##### 5.2.2.2.1 Contatti in aria

Nell'elenco riquadrato del parag. 5.1.1 alla voce collisioni si è subito citato il *contatto con corpi aerei*. E, seppur appaia sorprendente, bisogna andare con il pensiero ad un evento per nulla balordo o stralunante, quale è in effetti lo scontro per aria tra un corpo volante con l'aerogeneratore.



1)



2)



3)

*Fig. 5-2q. Vicinanza di turbine ad espressioni della vita umana*

L'altezza, cui arriva la punta di una pala di turbina eolica, può sfiorare i duecento metri in un tipo recente da 5 MW od essere di poco sopra i 100 m con un modello più vecchio. Sbattere contro questo ostacolo -per altro mobile e sottile- dovrebbe essere occasione aberrante o particolarmente sfortunata in una vita razionalmente normale. I casi, presentati nel parag. 3.7.1 del testo citato nel retro del frontespizio, stanno a dimostrare che anche l'improbabile talora accade, pur se con frequenza minima.

Lo stesso potrebbe affermarsi 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.

*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 dipressi.*

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 (costituite da uccelli terrestri o marini), o sono da ritenere protette (se non in via di temuta estinzione), 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.

Con macchine delle dimensioni attuali il crescere della taglia porterebbe a velocità decrescenti, che, oltre ad una migliore visibilità dell'ostacolo da parte del volatile, indurrebbe minori decessi. Stando ai dati forniti con le rilevazioni statunitensi sembrerebbe poter dire, con una valutazione molto approssimativa e grossolana, che il *tasso di decessi* potrebbe essere pari a

$$114 \text{ decessi} / [0,16 \times 7.000 \text{ unità}] = 0,101 \text{ decessi per unità}$$

cioè, ad un volatile morto per ogni dieci turbine in un complesso di aerogeneratori, situati on-land e non necessariamente concentrati in un solo sito ed abbastanza ricco di avifauna. Il caso, poi, dei decessi di uccelli predatori nel territorio interno degli USA non è assolutamente estrapolabile altrove, dove una simile ricchezza di popolazione è assolutamente assente.

Nella zona dell'Altmont Pass sono stati contate carogne in 20 anni di circa 2.400 aquile reali e di 10.000 rapaci minori, nonostante avessero tutti la qualifica di volatili protetti. Secondo fonti del governo regionale del Brandeburgo anche nei terreni di

loro giurisdizione si sono dovuti lamentare vittime di uccelli protetti e proprio di aquile, cadute in numero di 32.

Di eventuali ostacoli che possano incontrare volando in linea retta, finiscono per non averne percezione i predatori, tesi come sono a esaminare con cura ciò sta sotto loro. Non così capita per i grandi trasvolatori, che viaggiano in quota e sono protesi verso il loro traguardo, verso la continuazione di un volo diretto e verso ciò che possano incontrare, procedendo in formazione per linee rette.

Rilevazioni sono state esperite sia a Barrow (2009), sia a Kentish Flats (2005 e 2007 mediante osservazioni da battelli e da aerei) con analoghe risultanze. Se qualche variazione sono state accusate durante il periodo delle costruzioni a mare, negli anni a seguire tutto sembra essere tornato nella norma.

Maggiori informazioni sembrano essere state raccolte ad Horns Rev dove sono stati classificati i risultati di 165 osservazioni predisposte in primavera ed autunno negli anni 2005 e 2006. L'indicazione maggiore che emerge va a confermare l'impressione diffusa che i flussi degli uccelli migranti raramente entrano nelle quote delle pale rotanti. Gli uccelli di mare (specie pelagiche, anatre di mare, oche, etc.) sembrano stare molto alla larga dagli aerogeneratori. Uccelli d'acqua (edredone, cormorano, etc.) tendono anch'essi ad evitare gli ostacoli eolici. Le specie residenti (cormorani stanziali, gabbiani, etc.) entrano regolarmente nello specchio acqueo del campo eolico in cerca di alimentazione, ma non si hanno statistiche sulle eventuali collisioni.

Year	70s	80s	90s	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
No.			1		1	1	8	1	6	5	10	21	13	19	17	17

Source: CWIF

Fig. 5-2r. Computo di incidenti con rischi ambientali

#### 5.2.2.2.2 Numero di eventi incidentali sull'ambiente

Valutazioni statistiche, che sono state esperite dal *Ministero dell'Ambiente olandese*, porterebbe a far annoverare il numero di morti corrispondenti ad un sito di 1.000 MW in confronto con altre attività umane in grado di produrre effetti altrettanto negativi sulla vita dei volatili. Si porterebbe a concludere che

- per la caccia si avrebbero 1.500 volatili morti all'anno;
- per la presenza di tralicci circa 1.000;
- a causa del traffico di ogni genere 2.000 soggetti;
- 20 a causa dell'intervento dei rotor eolici.

La fonte eolica concorrerebbe in minima parte all'impatto sull'avifauna, che essa subisce per una serie di attività umane, legate, o al proprio piacere (caccia, etc.), o alle sue necessità vitali.

I casi, riscontrati da reportage o notizie di stampa e successivamente riportati in banca data, da cui derivano i dati numerici della Fig. 5-2r, incominciano ad essere significativi a partire dal 2007. Non che prima non fossero d'interesse. Probabilmente, o per diversa disposizione dei mezzi d'informazione nei confronti di simili accadimenti, o per una maggior sensibilità negli enti giurisdizionali, o per una conseguente più aperta accettazione dei tecnici del CWIF, sta di fatto che a partire da tale data le segnalazioni si infittiscono. E se ne contano ben 120 di casi incidentali su tutto il periodo di censimento, anche se sino agli anni '90 nulla è stato inserito. Tra essi certamente circa 48 sono da ascrivere a veri incidenti coinvolgenti l'avifauna.

#### 5.2.2.2.3 *Contatti in mare*

E' indispensabile, in assenza di dati probanti locali, riferirsi ad esperienze fatte laddove campagne di osservazione siano state programmate ed eseguite. Dopo sei mesi di indagini attorno al campo di Kentish Flats (anno 2006) non è stata notata alcuna modifica di rilievo o, comunque, degna di esser designata come allarmante.

Nel 2009 un analogo periodo di monitoraggio successivo alla costruzione del campo di Barrow ha raggiunto le stesse conclusioni. Nessuna variazione è stata riscontrata nell'abbondanza e nella diversità della popolazione di pesci e di echinodermi.

Indagini idro-acustiche, svolte ad Horns Rev nel 2005, non hanno dato segnali negativi. Si può ritenere che l'ambiente ittico generale si sia conservato in condizioni molto simili a quello che si incontra attorno ad un relitto di nave affondata.

Si possono rimarcare altri effetti, che sono stati segnalati nelle campagne, appena citate, come

- un incremento nella popolazione di pesci e biomasse da flora/fauna di fondale (anemoni, mitili, etc.), sia a Horns Rev, sia a Barrow;
- nelle indagini a Barrow uno scour evidente (1-5 m) attorno ai monopila;
- nessuna variazione su fauna (granchi, vermi, etc.) e sedimenti attorno alle installazioni a Horns Rev;
- una debole influenza sui delfini ad Horns Rev, dove ad un certo allontanamento durante le fasi installative è succeduto un ritorno a disturbi rallentati o cancellati, come capita durante l'esercizio del campo.

Da quanto appare dalle precedenti conclusioni non si dovrebbero notare significative variazioni in negativo, né nell'abbondanza di specie marine, né nella distribuzione delle stesse attorno alle fondazioni del campo eolico durante il periodo di funzionamento normale degli aerogeneratori.

### 5.2.2.3 *Collisioni tra natanti e strutture portanti*

Un settore raramente esaminato in passato sta a poco a poco prendendo l'interesse che gli spetta e sollevando preoccupazioni tra i progettisti (non ancora tra i gestori) dei campi. E' il contatto di natanti con la parte strutturale delle turbine, in particolare con le fondazioni.

E' evidente che il parco eolico debba trovarsi sufficientemente al di fuori delle rotte (commerciali e passeggeri). Misure preventive come radar, segnali luminosi e segnaletica convenzionale marittima devono essere decise ed applicate costantemente.

Uno studio al riguardo dovrebbe considerare una serie di misure di sicurezza contro

- la intrusione di una nave nel campo eolico, che preveda nel proprio piano di viaggio l'attraversamento del campo con conseguente entrata e possibile collisione con una turbina;
- un guasto a natante per cui questo vada dritto al campo ed a (possibile o) inevitabile collisione con una turbina;
- un passaggio nelle vicinanze di un nave che, o per ragioni di maree o altro, finisca per collidere con una turbina, o direttamente, o attraverso un suo mezzo di salvataggio;
- un mezzo, addetto alla costruzione, arpioni un cavo sottomarino rimasto (anche temporaneamente o parzialmente) scoperto, danneggiandolo;
- caduta tra mezzo navale (di manutenzione o altro) e landing structure di un addetto con conseguenze fisiche dannose.

L'insieme degli accadimenti ipotizzati possono descrivere un ventaglio di eventi possibili e probabili. Sul primo punto un provvedimento essenziale, che il gruppo di progetto deve prendere, è la scelta del sito, che sia adeguatamente ben distinto dalle rotte usuali e che ne sia collocato al di fuori in ogni periodo dell'anno.

### 5.3 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.



*Fig. 5-3a. Perdita di frammento terminale (lungo circa 5 m) di pala nel campo eolico di Clitourp (Fr), lanciato a circa 200 m dalla turbina*

E' noto che il *rischio* sia la combinazione della intensità della rottura o dell'evento incidentale con l'entità dei danni provocati. Le due variabili, incidente ed effetti, marcano di pari passo, in quanto tramite la loro valutazione è possibile risalire alla rilevanza ed alla portata del rischio.

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.



*Fig. 5-3b. Turbina con parte terminale di pala (Gamesa G87) smozzicata, il cui frammento è stato lanciato a circa 200 m dal piede della macchina*

Il principio, che guida le indagini di questo tipo, sta nel *differenziare accuratamente gli ambiti*, ai quali ci si deve riferire gradatamente e progressivamente. E' evidente che il primo gradino sia costituito dall'impianto. Un incidente, che nasce nell'impianto, trova nello stesso impianto, nelle sue componenti e nel suo sito il campo di sviluppo e di attuazione delle conseguenze primarie. La gravità di un incidente si

misura, soprattutto, sulla base della vastità e della rilevanza, che le implicazioni hanno sull'esercizio e sulla sicurezza dell'installazione stessa. Occorre immediatamente esaminare le ripercussioni, che si fanno sentire sul processo e sulla funzionalità della macchina e della centrale.

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 ed, infine, sulla popolazione.

Sfortunatamente nelle centrali eoliche (facendo astrazione per la grande categoria delle anomalie, che potrebbero essere ritenute o siano configurabili come malfunzionamenti più o meno tenuti sotto controllo dai sistemi di regolazione, di allarme e di contoreazione dell'impianto) 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.

La rottura di una pala di un aerogeneratore in funzionamento libera pezzi (Figg. 5-3a/b), che cadono sovente anche all'esterno del campo eolico. Una simile condizione solleva, quindi, la necessità di dover definire quale sia e quale natura abbia il corpo da ritenere "oggetto da proteggere".

Sono certamente da preservare 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 con esclusione di autostrade o delle vie di grandissimo traffico, che non dovrebbero trovarsi nelle immediate vicinanze del sito eolico), come nella Fig. 5-3c;
- *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* (Figg. 5-2o).

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. E' su quest'ultimo, che si devono affrontare e prendere le decisioni opportune per ovviare o per ridurre le conseguenze di eventuali incidenti, sorti nel suo ambito.

La determinazione più corretta della *distanza minima* tra aerogeneratore ed oggetto da preservare da danni è l'argomento del parag. 6.3.1, cui si rimanda, pur se colà ci si limiterà al riferimento di un abitato o di una costruzione a prevalente uso civile od industriale. E' altrettanto evidente che spetti al Concessionario dell'impianto eolico verificare che entro la distanza scelta la probabilità di occasione incidentale non sia superiore a quella prevista. Se così dovesse avvenire, si dovrebbero prendere i provvedimenti del caso. Si potrebbe essere indotti a monitoraggi frequenti dell'esercizio e del sito, a riduzione del livello operativo della centrale, ad attivazione di servizi esterni di allarme e di intervento, etc.

La conseguenza di una simile prassi, che potrebbe correlare la distanza tra l'oggetto e la turbina ad esso più vicina del campo eolico tramite la probabilità di occasione incidentale, impone la fissazione di un *valore di soglia*.

Esso fornisce per ogni oggetto da proteggere una determinata quantità (numero di eventi all'anno) di riferimento, che è relativa ad ogni classe incidentale. Si impone così un sistema di misura probabilistica, in cui il grado di intensità incidentale diviene dipendente dal livello di protezione, che può garantire e che si deve rispettare.



Fig. 5-3c. Campo eolico e via di comunicazione in una regione cinese

A tutt'oggi siffatta graduazione non è fissata da normative, né imperative, né volontarie. Per suffragare in qualche modo la procedura ed avere una qualche indicazione potrebbe essere utile far ricorso a dati di letteratura (tecnica), in attesa che il provvedimento sia, pur sempre, concordato tra le parti o sia inserito nelle

prescrizioni in appoggio alle autorizzazioni. Per il momento *qualunque considerazione di questo tipo è puramente orientativa.*

## 6 INCIDENTI DI NATURA MECCANICA

### 6.1 Incidenti e loro classificazione

#### 6.1.1 Categorie di incidenti meccanici

La classe degli eventi a natura meccanica è indubbiamente piuttosto affollata. Non tanto per la tendenza al cedimento, che possa essere insita nelle parti meccaniche o ne costituisca una estremizzazione, quanto piuttosto per la sensibilità che qualunque osservatore, presente su un sito eolico, ha verso corpi in movimento o in rotazione, come appunto sono le pale dell'aerogeneratore.

Non trattandosi di componenti statici, qualunque persona anche non dotata di specifiche cognizioni tecniche, che per motivi personali, o di lavoro, o di diporto si trovi a passare od a stazionare a distanze relativamente piccole da un aerogeneratore è disposto a dubitare. Immediatamente va con il pensiero a che cosa capiterebbe, se succedesse qualche cedimento strutturale.

E quale potrebbe essere, se non uno di quelli che sono compresi nel presente elenco.



Fig. 6-1a. Piegata secca di una pala

Si esclude da questa previsione la navicella come ulteriore *sorgente di "noie"*, che potrebbero essere trasmesse al mondo esterno. Trovandosi nel suo interno corpi in movimento (generatore elettrico, moltiplicatore di giri, alberi, etc.) a numero di giri

ben superiori a quello cui è sottoposto il rotore, non si dovrebbero escludere anche altre classi di eventi.

Lo sviluppo di rotture, che siano in grado di produrre missili di entità e di energia cinetica tali da superare la barriera, rappresentata dalla pelle della navicella, in prima battuta si tendono a trascurare. La penetrazione ed il superamento del guscio della gondola possono riflettere su corpi, eiettati dall'interno della navicella verso l'esterno, un'azione mitigante e dissipante tale da far ritenere che ad una prima valutazione abbiano una ridottissima capacità di offesa.



*Fig. 6-1b. Inflessione di pala*

Quand'anche riuscissero a superarne lo sbarramento, cui andrebbero incontro nel loro volo, *l'urto anelastico*, che serve per vincere la resistenza della parete della navicella e per perforarla, potrebbe far diminuire in modo decisivo il contenuto energetico del missile, declassandone la forza propulsiva e la capacità danneggiatrice.

L'elenco degli incidenti meccanici dovrebbe prevedere in via sommaria e semplificativa le seguenti occasioni

- *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;*
- *collisioni con corpi estranei,*

- *trasporti*.

Dei casi, appena citati nell'elenco riquadrato, si può avere contezza tramite

- documentazione fotografica degli effetti, da cui sia possibile ricostruire -almeno per le parti salienti- le vicende precedenti;
- ricomposizione del processo incidentale grazie a testimonianze;
- simulazione per ricostruire la successione degli stati, attraverso cui si propaga e si attua l'evento incidentale.

Per capire l'insieme degli eventi, che sono stati inseriti nel riquadro precedente può essere utile riprendere le considerazioni illustrative, che sono state esposte ed anticipate nel Cap. 5. Servono per presentare un quadro d'insieme degli effetti e delle cause ed a formulare una specie di guida per interpretare le illustrazioni, che costituiranno il nocciolo dei capitoli seguenti.

### 6.1.2 Elenco di eventi incidentali meccanici

A supporto dei dati della Tab. 6.2.1 si ritiene opportuno raccogliere i casi di incidenti noti, di cui alcuni saranno esposti nel prosieguo. La Tab. 6.1.1, al pari di quello che sarà fatto per gli incidenti accompagnati da sviluppo di fuoco, propone in unico elenco gli eventi, che sono avviati da cause producenti sull'aerogeneratore effetti prevalentemente di natura meccanica.

Tab. 6.1.1. Selezione di incidenti meccanici

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
	28.6 e 8.7.'04	id.
Lankem bei Dingen (Westphalia, De)	17.12.'05	lancio ghiaccio
Filsumer Wind Park a Filsum bei Leer im	10.01.'06	lancio ghiaccio

*KreisLeer (Basa Sassonia, De)*

(seguito Tab. 6.1.1)

Sito	Data	Evento
<i>Cold Northcott Windfarm, Bondmin Moor (Cornovaglia, Uk)</i>	13.01.'06	rottura pala
<i>Wachusett Wind Site, Princeton, Massachusetts (USA)</i>	21.02.'06	perdita pale e torre
<i>Oldside, Workington (Cumbria, Uk)</i>	02.07.'06	rottura di pala
<i>Lago Wilson (stato di Minnesota, USA)</i>	01.09.'06(?)	rottura pala
<i>Scroby Sands (Norfolk, uK)</i>	06.10.'06	asportazione di punta da pala per urto con jack-up
<i>Bondues (Lille, Francia)</i>	04.12.'06	rovesciamento di torre
<i>Schauenberg-Martinhagen im Landkreis Kasse (Bassa Sassonia, DE)</i>	28.12.'06	lancio ghiaccio
<i>Iwaya Wind Farm (distretto di Higashidori, Ja)</i>	11 01.'07	rottura torre
<i>Windpark Raden in Besdorf im Kreis Steinburg (Schleswig-Holstein, De)</i>	13.01.'07	caduta torre
<i>Fenner, Contea di Madison (stato di New York)</i>	28.01.'07	rottura pala
<i>Parc Cynog a Llanmiloe (Carmarthen, Galles)</i>	25.02.'07	causa dubbia, danni ad una pala
<i>Fairfield nella Contea di Herkimer (stato di New York)</i>	08.03.'07	cedimento di due torri anemometriche
<i>Allegheny Ridge Wind Farm, Contea di Cambria (Pennsylvania, USA)</i>	31.03.'07	cricche in pale
<i>Voe (Shetland, Scozia)</i>	11.05.'07	caduta di torre anemometrica
<i>Cham de Chamlonge, Saint Etienne de Lugdares (Ardèche, Fr)</i>	15.06.'07	rottura di una pala
<i>Uelvesbüll bei Husum a Landkreis Nordfriesland (Schleswig-Holstein, De)</i>	30.07.'7	perduta una pala
<i>Klondike III presso la città di Wasco, Contea rurale di Sherman (stato dell'Oregon, USA)</i>	26.08.'07	rottura torre
<i>Argyll, Beinn an Tuirc (Scozia)</i>	08.11.'07	rottura torre
<i>Fenner, Contea di Madison (stato di New York)</i>	15.11.'07	rottura pala per insufficiente serraggio pala-mozzo
<i>Hersket Newmarket (Cumbria, UK)</i>	30.12.'07	cedimento torre
<i>Alkmaar (NI)</i>	15.05.'08	rottura pala
<i>Cohocton (stato di New York)</i>	27.01.'08	rottura pala
<i>Prince Wind Energy Project, Sault St. Marie (Ontario, Canada)</i>	30.01.'08	perdita di una pala
<i>Isola di Texel (Olanda settentrionale, NI)</i>	07.02.'08	caduta torre
<i>Hyacintvej, Hornslet (Jutland orientale, Dk)</i>	22.02.'08	esplosione turbina
<i>Regioni di Tokai e Kanto (Ja)</i>	09.04.'08	rottura di una pala in due turbine
<i>Searsburg VT (stato del Vermont, USA)</i>	15.09.'08	rottura di torre

Fonte: dati da raccolta Craig [17]



*Fig. 6-1c. Campo eolico di Blyth durante la fase della costruzione (AMEC)*



*Fig. 6-1d. Turbina (Vestas) del sito Hinnerup dopo la perdita di una pala*

## 6.2 Frequenza di occasione e rischio conseguente

### 6.2.1 Frequenze e probabilità

La *separazione di una pala con taglio netto* in una sezione lontana/vicina al mozzo o proprio in corrispondenza dell'inserimento di un pezzo nell'altro è un evento non incredibile. Anzi, ammettendo che per i 90.000 MW (valore arrotondato per difetto e valutato al 2007, avendo alla fine del '08 probabilmente superato i 110.000 MW), in esercizio nel mondo, occorrono unità da 2 MW ciascuna ed, ipotizzando che ciascuna di essa sia dotata di tre pale, si avrebbero in esercizio 135.000 pale/anno ridotte a 120.000 per tener conto di eventuali fuori servizio (*f.s.*) per manutenzione (prevalentemente straordinaria), o di fermate per rinnovi o per migliorie.



Fig. 6-2a. Distacco parziale di pala nel sito scozzese di Crystal Rig

Se in via di prima ipotesi si ritenesse che si spezzasse soltanto un esemplare all'anno, la *probabilità di rottura annua* ammonterebbe a  $0,83 \cdot 10^{-5}$ . L'ipotesi sarebbe valida in situazioni ben diverse dalle attuali. Da valutazioni della raccolta Craig [17], già ricordata in precedenza, il numero di incidenti, che coinvolgono le turbine ed in particolare le pale, è salito nei primi anni di questo secolo rispetto a quelle che si riscontravano in precedenza. Nel 2001 si sono contati -secondo stime inglesi- ben 11 casi relativamente a incidenti direttamente operanti su pale o che hanno coinvolto le pale. Secondo le valutazioni tirate sulla base degli elenchi disponibili si rilevano dati

differenti, come si deduce dalla Tab. 6.2.1 (anche da costruttori vengono raccolti dati e presentati per le loro stime, per cui nell'anno 1999 da un fabbricante di turbine eoliche sono stati valutati rispettivamente 11 casi, 2 nel 2000, 4 nel '01, 10 nel '02, 1 nel '03 e così via; la discrepanza è notevole e volendo in qualche maniera presentare dei valori, su cui ragionare, ci si è gioco forza attenuti alla raccolta di incidenti, che coincide con quella già evocata e che si estende per ben otto anni in un periodo susseguente al 2000, cioè in epoca storica più prossima e probabilmente più documentata).

Se si debbono considerare anche le macchine di taglia medio-piccola, ora meno ricercate dai Committenti e dai proprietari dei parchi eolici in favore di quelle di maggior potenza (da 2/3 MW sino a 5/6 MW ed oltre), si dovrebbe abbassare la taglia media ad almeno ad 1,5 MW/unità. In tale prospettiva le pale sicuramente operative potrebbero essere 155.000, adottando lo stesso criterio di individuazione scelto per l'unità standard di potenza maggiore.



Fig. 6-2b. Distacco di pala da turbina in sito del Finistère (Fr)

Qualche confronto sarebbe utile per circoscrivere e valutare correttamente il valore medio della taglia di potenza degli aerogeneratori. Si consideri la popolazione degli *impianti offshore*, che in Europa ammonta a 506 unità e che corrisponde ad una potenza installata al 2008 di 1.117 MW. Il valore medio si fisserebbe su 2,2 MW/unità, che è superiore alla media utilizzata nelle precedenti stime. Non va dimenticato che i campi eolici a mare hanno incominciato ad apparire nel 1991 con Vindeby e si sono

affermati soltanto con Horns Rev (anno 2002). Inoltre, da sempre ci si è mossi verso maggiori potenze unitarie rispetto a quelli on land e si sono costruiti gli aerogeneratori per regimi di vento superiori. Pertanto, il valore medio di 1,5 MW/unità, che è stato precedentemente indicato, dovrebbe abbastanza corrispondere al reale, tenendo conto che sono in attività macchine ancora degli anni '80.

Se in via di prima ipotesi si ritenesse che se ne rompessero da 10 a 20 all'anno, la probabilità varierebbe tra  $6,45 \cdot 10^{-5}$  ed  $1,29 \cdot 10^{-4}$ . Sono valori, che non si configurano come un segnale di debolezza strutturale numericamente troppo preoccupante. Per il caso peggiore, che è il secondo dei due appena trovati, si avrebbe all'incirca una rottura ogni 10.000 pale, corrispondenti a poco più di un incidente ogni 3.300 macchine all'anno.



*Fig. 6-2c. Distacco di tutte le pale in turbina del sito eolico di Montjoyer a Rochefort en Valdaine (Drôme, Fr)*

Tali entità potrebbero essere significative, se si ponga attenzione agli effetti ed ai danni, che potrebbero provocare. Il rischio è, comunque, commisurato con l'ambiente circostante. Se, come è noto, il rischio è la combinazione della frequenza di occasione di un evento per il danno che esso arreca a cose ed a persone (oltre che all'unità stessa, che ne è sede), sembra abbastanza evidente che su terraferma la configurazione del rischio abbia maggior significato che in mezzo al mare. La considerazione si appoggia sull'evidenza.

Anche a terra, se il sito è posizionato

- in zona isolata con nuclei abitativi collocati ad adeguata distanza (la distanza opportuna non è sempre possibile da mantenere);
- con strade di ridotto/medio traffico non circostanti il campo eolico;
- con destinazione delle aree, su cui insiste il parco, non soggette ad eccessiva frequentazione di umani/selvatici (per agricoltura/industria, attività faunistiche, etc.), etc.

si potrebbe ammettere che il rischio non sia dissimile da quello di un campo offshore.

Tab. 6.2.1. *Eventi incidentali di natura meccanica*

	2000	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08
<i>Rottura pale</i>	4	5	15	13	15	10	7	18	4
<i>Incidente strutturale</i>	8	2	8	2	5	4	4	12	4

*N.B. I dati relativi all'ultimo anno coprono soltanto i primi tre mesi*

Specialmente se nel sito siano vietati pesca ed ancoraggio (che di fatto potrebbe valere come impedimento –se non come espresso divieto- alla navigazione) in forza dei vincoli imposti solitamente alle aree destinate a concessione (e, quindi, anche per campi eolici), l'occasione di colpire mezzi adibiti ad attività continuative e professionali (pesca, etc.) o saltuarie (diporto, turismo stagionale, etc.) con presenza umana è molto incerta o del tutto dubbia od incredibile.

Un'ultima considerazione è indispensabile presentare a proposito del *lancio di frammenti di ghiaccio*. Pur avendo riservato uno spazio non indifferente a trattarne gli effetti, non è stata prevista una linea specifica nella Tab. 6.2.1. La ragione è facilmente individuabile.

Le segnalazioni di distacco di ghiaccio da turbine e della loro dispersione sul territorio sono poche, probabilmente per la minore rilevanza rispetto ad altri incidenti, che, invece, potrebbero produrre conseguenze ben più gravi. Si possono rintracciare segnalazioni di forzata fermata di turbine, che sia stata imposta dalla popolazione tramite le autorità territoriali. Ma anche queste sono poche (2 nel 2001, 4 nel '04, 3 nel '05, 2 nel '06 e così via).

Sul numero di casi si ha una stima che vorrebbe 880 cadute di ghiaccio nel periodo 1990-2003 con una media stimabile attorno a circa 70-100 casi all'anno [48]. Se si dovesse prendere per buono questo numero, la probabilità di occasione al 2007 ammonterebbe a  $100/50.000 = 2 \cdot 10^{-3}$  eventi/turbina, che è di una decade superiore alla probabilità di altri incidenti. Potrebbe essere differente, se si riuscissero a

conteggiare soltanto quei campi che solitamente possono essere soggetti a produzione di ghiaccio sulle pale e la percentuale di macchine esposte a tale fenomeno.

## 6.2.2 Incidenti e relativa probabilità di occasione

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). E' ovvio che in questo momento sono le prime due a farla da padrone.



Fig.6-2e 3-3b. Sottostazione a Churubusco (stato di NewYork, USA) per campi eolici

In mancanza di siffatte prescrizioni è prassi riferirsi ad una probabilità di rottura di  $10^{-6}$  eventi all'anno. Il dato numerico va inteso come un *limite di soglia* da raggiungere o da applicare. E' 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. E' 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  $10^{-6}$  eventi/anno.

E' 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 finale.

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 [51, 84-87]. 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  $10^{-6}$  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.

Sarà opportuno procedere a qualche osservazione aggiuntiva rispetto a quanto si è esposto nei paragrafi introduttivi a proposito dei *dati incidentali*, che sono stati raccolti e che costituiscono qui il documento statistico da impiegare. Non è possibile intervenire per controllare all'origine la determinazione degli eventi e del loro numero, come pure la validità dei rilevamenti che hanno assegnato un determinato evento ad una classe incidentale.

Si è fatta attenzione a non inserire nella categoria dei danni incidentali quelli che sono tipici *danni commerciali*. Non si è certissimi che qualche discrepanza possa essere accaduta. La sostituzione di una o di più pale -per motivi derivanti dalla loro scadente integrità strutturale o dalla capacità parziale a corrispondere alle previsioni progettuali- rientra nei confini di una manutenzione straordinaria. E' effettuata per ridurre il danno commerciale veniente a causa di una ridotta abilità a produrre l'energia attesa.

Un altro fattore tipico di questa selezione è la sua natura. La probabilità di occasione di un evento deriva dalla statistica dei danni o degli incidenti rilevati sugli impianti e non è sostenuta o guidata da un consistente *programma di analisi*

*strutturale*. Una simile considerazione va nel senso delle osservazioni precedenti. L'appartenenza dell'evento alla banca-dati incidentali è di per se stessa una ragione valida per tenerlo in conto, in quanto la statistica dei danni è sostanzialmente impostata sul numero degli eventi.

Nello stimare la probabilità di occasione non si è potuto ricavarla da un *danno medio annuale*, non conoscendo in modo accettabilmente certo il numero delle unità in funzione dall'inizio ed alla fine di ogni anno. Non potendo desumere una probabilità di occasione anno per anno, analogamente non si è potuto determinare una probabilità media per il periodo di anni considerato, che sia la media delle medie.

Nel documento Veenker [51] il gruppo tedesco, che lo ha stilato, determina per il periodo 1999-2003 un rateo di danno medio pari a  $6,09 \cdot 10^{-4}$  per la *rottura di pala*. Lo si confronti con quello, che è stato stimato nel parag. 6.2.1 e che è pari a  $1,24 \cdot 10^{-4}$ . Non sembra di notare una grande discrepanza, se solo si tiene conto dell'impossibilità a spianare le punte e le discontinuità tramite il ricorso a medie continue, come si è fatto nei calcoli esposti in quel paragrafo.

L'ampiezza maggiore del periodo, che è stato assunto a campione, può aver determinato valori meno rilevanti del rateo di danno per un minor peso delle rotture di pala sulla complessiva popolazione degli aerogeneratori. Con il passar del tempo diventano sempre più numerose le turbine eoliche in attività [42]. Divengono anche migliori le prestazioni, incorporandosi nelle nuove costruzioni gli sviluppi e le innovazioni, che si raggiungono gradualmente. Ricorrendo per confronti ad altre valutazioni, come sono di indubbio valore quelle olandesi, si dovrebbe ricordare che si proporrebbero  $8,4 \cdot 10^{-4}$  eventi/anno per lo stesso periodo di anni come rateo di danno per fratture nelle pale.

Per un'ulteriore riprova si potrebbero combinare i dati della Tab. 6.2.1 relativi ai primi quattro anni 2000-2003 con quelli dei valori medi del numero di turbine presenti negli stessi anni, numero tratto dallo studio tedesco. Si otterrà come valore medio del rateo di guasto  $7,62 \cdot 10^{-4}$  eventi/anno contro  $6,04 \cdot 10^{-4}$  eventi/anno per lo studio tedesco.

Le due serie si avvicinano ulteriormente, confermando che sostanzialmente i dati rilevati, pur presentandosi non pienamente analoghi anno per anno nel breve periodo, su un periodo temporale più ampio sembrano concordare.

Si è anche tentato di fare una statistica relativamente alle *dimensioni dei frammenti di pala rilasciati*. Mentre nello studio summenzionato il 36% dei casi coinvolge l'intera pala e la restante percentuale soltanto pezzi di estensione inferiore alla totalità di una pala, un'analogha selezione non è stata riportata, operando sulla raccolta Craig [17].

La ragione è presto detta ed appare facilmente intuibile. La informazione sui frammenti di pala liberati, al pari della distanza cui sono stati lanciati, è molto intermittente e non è presentata e circostanziata con continuità e rigore. Il riportarla sarebbe risultato, statisticamente parlando, poco significativo.

Anche per la *caduta della navicella* lo stesso studio tedesco offre il suo contributo alla determinazione della probabilità di occasione. Si stima, infatti, che nei cinque anni tra il 1999 ed il 2003 siano cadute in totale ben 8 esemplari, di cui 4 nel '99, 1 nel 2000 e nel '03, nessuno nel '01 e 2 nel '02. Il rateo medio di danno nel periodo di tempo tipico dello studio tedesco è pari a  $1,8 \cdot 10^{-4}$  cadute all'anno (ripercorrendo la raccolta Craig [17], si avrebbero 1 evento nel 1998, 3 nel 1999, 1 nel '01, 3 nel '02 con leggera diversità nelle date probabilmente da ascrivere ad una diversa catalogazione di eventi accaduti in coda od all'inizio di ogni anno).

I dati, che non troveranno nella documentazione fotografica molte conferme dirette ed inequivocabili, hanno avuto da queste indagini un'evidente contro prova. Pur avendo espresso qualche dubbio sulla probabilità che un siffatto incidente abbia la rilevanza, che le indicazioni numeriche sembrano attribuirle, non si può in linea di analisi e di stima comportamentale delle strutture in campo non ammettere che l'incidente possa avere una sua specifica attendibilità.

Tab. 6.2.2. Ratei di danno

	1999-2003 <sup>(1)</sup>	2000-'03 <sup>(1)</sup>	2000-'03 <sup>(2)</sup>	2007
Rottura pala	$6,09 \cdot 10^{-4}$	$6,04 \cdot 10^{-4}$	$7,82 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$ <sup>(3)</sup> $4,00 \cdot 10^{-4}$ <sup>(4)</sup>
Lancio di navicella	$1,82 \cdot 10^{-4}$	$0,84 \cdot 10^{-4}$	ND	ND
Cedimento della torre	$1,20 \cdot 10^{-4}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$	$5,37 \cdot 10^{-4}$	$2,20 \cdot 10^{-4}$ <sup>(4,5)</sup>
Lancio di frammenti di ghiaccio	ND	ND	ND	$8,00 \cdot 10^{-3}$ <sup>(4)</sup>

N.B. ND, valore non determinato; <sup>(1)</sup>, calcoli mediati su uno specifico numero di macchine presente in ogni anno del periodo temporale con i dati incidentali di Veenker; <sup>(2)</sup>, aggiornamento del calcolo precedente con i dati incidentali di Craig; <sup>(3)</sup> valore calcolato sul numero di pale presunte con i dati incidentali di Craig; <sup>(4)</sup> valore calcolato sul numero di turbine presunte con i dati incidentali di Craig; <sup>(5)</sup> per i valori incidentali si sono presi quelli, indicati nella seconda linea della Tab. 3.1.

Non sembra assurdo né antitetico collegare il precedente incidente con quello, che si vuole ora analizzare e che riguarda lo *abbattimento della torre*. Nei paragrafi successivi si tenterà di separare il rovesciamento -dalle fondamenta o dalla radice- della torre dall'atterramento parziale/totale della stessa. Nello studio tedesco, di cui si è detto, l'insieme dei due fatti, ora considerati, portano ad un rateo medio di guasto annuo di  $1,2 \cdot 10^{-4}$  cadute/anno. Come ordine di grandezza si stima che soltanto il 30% sia da attribuire alla piega, da posizionarla all'incirca a metà dell'altezza della torre.

Per trovare una analogia con i dati della raccolta Craig (cfr. la Tab. 6.2.3) occorre suddividere la voce "Incidente strutturale" della Tab. 6.2.1 in una serie di eventi minori. Sempre prendendo i dati numerici con molta prudenza -stante la difficoltà di interpretare correttamente le descrizioni incidentali- la proporzione del piegamento della torre rispetto alla caduta conferma la stima tedesca (5 casi su 21).

Come pure avviene per il rateo annuo degli eventi, che vedono la torre parzialmente o totalmente a terra (somma dei numeri delle voci 3 e 4 della Tab. 6.2.3), con un valore al 2007 di  $7/50.000 = 1,4 \cdot 10^{-4}$  eventi/turbina/anno.

Tab. 6.2.3. *Suddivisione degli incidenti strutturali [17]*

Evento	2000	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	2000-'07
1. Rotture rotore	-	-	-	-	1	2	-	-	3
2. Caduta navicella/rotore	-	1	3	-	-	-	-	1	5
3. Piega/rottura torre	3	1	-	-	-	1	-	-	5
4. Caduta torre	4	-	2	1	2	1	4	7	21
5. Fuoco da freno	1	-	-	-	-	-	-	-	1
6. Rotture mecc./fatica materiali/ cricature	3	-	1	1	2	-	-	4	11
7. Fatti mecc. da fulmine	-	-	2	-	-	-	-	-	2
<b>Totale</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>48</b>

Uno specchietto riassuntivo delle diverse valutazioni è proposto nel *prospetto contenuto* nella Tab. 6.2.2, in cui si è tentato di dare una certa sistematica alle durate temporali, scelte da ogni gruppo valutatore, ed alle unità (pale o turbine) di riferimento per la popolazione su cui si devono estendere gli eventi incidentali.

### 6.2.3 Ancora sulle frequenze di occasione con opinioni in merito

Prima di abbandonare i numeri, che commisurano le *statistiche incidentali*, si riconsiderino gli elenchi della Tab. 6.2.1. La prima stringa di dati, pur con un andamento oscillante e con punte parziali attorno ai primi anni di questo secolo, ha un massimo proprio verso gli ultimi anni delle rilevazioni.



Fig. 6-2f 3-3c. Rottura di pale in turbine del sito inglese a Cold Northcott

Nel 2007 si sono raggiunti ben 18 casi di rotture sulle pale, mentre agli inizi del secolo il numero dei cedimenti era leggermente inferiore. Si potrebbe tentare una giustificazione o, meglio, una interpretazione di questa apparente contraddizione. Le unità più recenti dovrebbero essere più resistenti, avendo incorporato le migliori, evidenziate dall'esperienza accumulata con l'esercizio dei precedenti campi eolici.

In questi ultimi anni stanno imponendosi macchine sempre più potenti ed innovative e, di conseguenza, si realizzano torri più alte (che richiedono gru più capaci

e trasporti più solidi, come -Fig 6-2h- non sempre avviene) e pale più lunghe. Si dovrebbero registrare *minori cedimenti*. Il convincimento si attenua, solo se si fa attenzione a due considerazioni.

La prima riguarda le macchine, che sono state costruite negli ultimi decenni del secolo passato e che sono ancora numerose, essendo spesso di potenze unitarie largamente inferiori al MW. Sono anche le più marcate dall'invecchiamento, che può favorire o far temere rotture.



*Fig. 6-2g 3-3d. Notevole perdita di olio da navicella (Aragona, Spagna)*

Lo stesso risultato -e siamo alla seconda motivazione- potrebbe per ragioni opposte coinvolgere le macchine moderne. La mortalità infantile, che è concetto ben noto agli analisti di affidabilità e che colpisce le realizzazioni di più nuova concezione, potrebbe incrementare l'effetto delle fessurazioni, causa prima dei cedimenti.

Pertanto, non dovrebbe sorprendere che le rotture anche in questi ultimi anni possano crescere numericamente per il concorso delle due tendenze, apparentemente antitetiche tra loro.

E' opinione di molti tecnici che i dati danesi siano un po' datati nel senso che siano particolarmente cautelativi e non corrispondano al contesto industriale odierno. Si ricorda che la *certificazione imperativa attuata* imponga prove a scala reale durante le varie fasi realizzative. In aggiunta sono da prevedere indagini dinamiche, che simulino la completa vita della pala.

L'organizzazione di certificazione, inoltre, produce audit di qualità per il costruttore ed analisi sperimentali sui materiali strutturali in modo da accertare che proprio sugli aspetti basilari vi sia la più accorta concordanza con le prescrizioni normative.

Se gli sforzi per tendere al miglioramento della fase di costruzione dovrebbero dare i loro frutti, sembra un po' scoperto il settore delle *interferenze umane* sul sistema di controllo, quando lo si dovesse collegare con condizioni di eccessi di velocità, con cadute di fulmini o con difetti o debolezze strutturali della pala. Al momento attuale dovrebbero queste carenze non essere tali da indurre la tranciatura netta della pala e la sua perdita per distacco e lancio conseguente. Il cedimento strutturale, invece, dovrebbe restare locale ed essere accompagnato da costante e permanente collegamento tra pala e mozzo. La continuità fisica dovrebbe permanere od, almeno, ci si augura che così sia.



Fig. 6-2h 3-3e. Trasporto di gru non proprio sicuro

Proprio l'impegno a livello di progettazione, di normativa (IEC 61400-1 [140]) e di certificazione dovrebbe tendere a rendere affidabile e sicuro il *sistema di controllo*, anche raddoppiandolo, e a separarlo dal sistema di sicurezza e di allarme. Il doppio regime di freno ne è un chiaro esempio. Pertanto, la causa comune di incidente su questa linea dovrebbe esser originata da errore umano, qualora l'operatore faccia interventi soggettivi o impropri, talora anche in campo. Una controprova di queste

osservazioni si avranno dalla paziente lettura degli incidenti, che sono stati raccolti nei capitoli successivi anche con questo spirito.

Una riprova dei miglioramenti, che si sono ottenuti (anche se è argomento esulante dal settore degli eventi a natura meccanica), si hanno proprio nella protezione contro incidenti da *fuoco per fulminazioni dirette delle pale*. Il sistema di raccolta delle correnti, derivanti dalla caduta di un fulmine, e la conseguente messa a terra ha dimostrato -anche grazie alla normativa attuale ed alla applicazione pedissequa delle prescrizioni relative- la sua validità. Il riscontro si ha nella decrescita del numero degli incendi a bordo, che sono causati da simile evento naturale, per altro imprevedibile ed impossibile da sottoporre a limitazioni.

Passando alla seconda stringa della Tab. 6.2.1 l'andamento incostante potrebbe indurre a ripetere le precedenti considerazioni, pur ammettendo che la diversità del tema possa consigliare un approfondimento dei casi, inclusi sotto il titolo di "Incidenti strutturali", come si è fatto con la Tab. 6.2.3. Esaminandone l'ultima colonna, appare che la somma delle voci 2 e 3 corrispondono a circa la metà del totale incidentale. Sembra opportuna qualche precisazione.

In primo luogo, restando nella stringa dei dati della voce 3 sono da segnalare che ben tre casi del 2007 si riferiscono ad *abbattimento di torre anemometrica*. L'evento viene catalogato tra gli incidenti, che si verificano entro il perimetro dei campi eolici e che coprono tutto il periodo di utilizzo del sito a partire dalle fasi preliminari a quelle successive all'avvio e comprendenti l'esercizio.

E', quindi naturale, che venga segnalato anche l'atterramento di una torre anemometrica, pur se questa sia di forma e di struttura molto diverse da quelle dell'analogo componente strutturale destinato a sostenere l'aerogeneratore. La rilevanza ai fini progettuali dell'impianto dei pali anemometrici li fa ritenere degni di essere catalogati in questa raccolta, come d'altronde si opera anche con l'eventuale rovesciamento di gru durante le operazioni realizzative.

In secondo luogo, la relativa preponderanza numerica della voce 4 rispetto alla 6 è soltanto apparente. E' fuor di dubbio che l'importanza della caduta della torre significhi la distruzione dell'unità e che sia nettamente prevalente rispetto a qualsiasi altro fatto incidentale. Il confronto su base numerica delle due voci sembrerebbe far ritenere che, nonostante le molteplici componenti meccaniche presenti entro la navicella, siano numericamente preponderanti i casi della voce 4. In realtà, quando si cita un caso di *malfunzionamento meccanico* nella Tab. 6.2.3 non si riportano anche le macchine, che ne hanno subito le conseguenze.

Valgano alcuni esempi. Per problemi, connessi con la fatica meccanica, sono state fermate nell'Aprile 2000 le turbine (WEG MS-3 da 300 kW) in due siti del Galles ed in uno in Cornovaglia (costituito da 22 unità). Nel Marzo dello stesso anno per difetti nell'isolamento elettrico sono state fermati i 19 aerogeneratori (Micon da 600 kW) del campo di Groetpolder in Olanda. Altrettanto dicasi per gli 80 convertitori eolici (V80 da 2 MW) del campo a mare di Horns Rev, che nel Giugno del 2004 (due anni dopo l'avvio) avrebbero dovuto essere fermati per inconvenienti al generatore ad al

trasformatore di macchina. Nel gennaio del 2007 nel parco eolico di Kentish Flats (30 V90 da 3 MW, operative dall'Agosto 2005) circa un terzo dei moltiplicatori di giri ha mostrato di non funzionare correttamente. I guasti hanno indotto il costruttore a ridurre la potenza generata ed a sostituire quelli più compromessi.

Quanto si è detto per le difettosità di natura meccanica può trovare applicazione anche in altre voci. Sintomatica può essere la rilevazione di un evento, che possa coinvolgere più siti vicini o la cui data possa rappresentare un insieme di accadimenti, avvenuti in un periodo di tempo molto ristretto (uno o due o pochi giorni) o le dimensioni delle unità siano assai ridotte. Queste motivazioni potrebbero consentire ai mezzi di comunicazione di assomarli sotto un'unica notizia.



1)



2)



3)

*Fig. 6-2i. Incidente di distacco di pala da rotore di turbina V66 (9 Febbraio 2004)*

Il 29 Gennaio del 2000 nello Jutland (Dk) si è avuto un danno alla torre di tre turbine. Probabilmente, il malfunzionamento del sistema frenante deve aver prodotto un principio di fuga delle macchine con conseguente incendio e danneggiamento della torre. Anche in questa situazione l'evento, che può essere segnalato nella corrispondente stringa di incidenti della voce 3 o 4, è stato considerato unico, non

precisando quante siano state le macchine coinvolte. Il caso è per vero abbastanza eccezionale, in quanto normalmente la caduta o la rottura della torre serve a descrivere gli effetti su una singola unità. D'altronde, non a caso nella statistica si parla di rateo di guasto per evento.

## 6.3 Distacco parziale/totale della pala

### 6.3.1 Distanza tra turbina eolica ed abitato

L'incidente, innescato dal distacco di gran parte o di tutta una pala, può essere descritto da un insieme di fasi fisiche non sempre univocamente definite e ripetutamente uguali. Il corpo, una volta libratosi in aria, dopo una certa tratta coperta in volo, va a cadere entro una distanza commisurabile con un cerchio di qualche centinaio di metri di raggio con centro nella posizione, occupata dalla turbina incidentata [92-96]. Lo sviluppo del processo fisico, come è stato semplicemente delineato, può non realizzarsi esattamente nel rispetto della sequenza immaginata.



*Fig. 6-3a.1 3-4a.1)*



2)

Fig. 6-3a.2 3-4a.1&2). Lavaggio di torre

Non sarebbe tema di discussione in queste pagine la *distanza da tenere tra aerogeneratore e costruzioni* (Figg. 6-3d/h) in zone frequentate od abitate. Potrebbe illuminare circa alcune indicazioni, che non sembrano avere tutte carattere di prescrizioni cogenti, pur servendo da orientamento per la progettazione.



*Fig. 6-3b. Incidente sul sito vicino al Lago Wilson (Minnesota, USA)*

Si presentano, come sono state rintracciate, senza anteporre o posporre alcuna considerazione, in quanto sono un po' una miscellanea di indicazioni, che possono anche servire come avvertimento o come semplice informazione per chi deve prendere le decisioni sulla collocazione del campo eolico.

*Tab. 6.3.1. Distanze tra turbine ed edifici, raccomandate da varie fonti*

<i>Fonte</i>	<i>Distanza</i>
<i>Manufacturer's Recommendation</i>	<i>1.300 feet</i>
<i>Ice and blade throw</i>	<i>1.750 feet</i>
<i>U.S. National Research Council</i>	<i>2.500 feet</i>
<i>Flicker</i>	<i>3.300-5.000 feet</i>
<i>Germany</i>	<i>1 mile</i>
<i>France</i>	<i>1 mile</i>
<i>Nina Pierpont Study</i>	<i>1,25 miles</i>
<i>Kamperman and James Study</i>	<i>1,2 miles</i>
<i>Rural Manitoba, Canada</i>	<i>6.500 feet</i>
<i>California</i>	<i>2 miles</i>
<i>Michigan Requirement</i>	<i>1.000 feet</i>
<i>Wisconsin</i>	<i>1.000 feet</i>

Un fattore, che ha il suo peso, è la *densità degli insediamenti eolici* - ed eventualmente di quelli industriali- nella zona, nella quale si programma un nuovo campo eolico [97, 98]. La Fig. 6-3h consente di commisurare un po' l'affermazione. L'affollamento di iniziative può anche far affrontare da parte della popolazione *l'aspetto paesaggistico* con molta decisione. Esso incide direttamente e quotidianamente nel panorama "visto" dai residenti (cfr. anche le Figg. 6-3d/e/f/g). Non si dovrebbe trascurare anche ciò che è percepito e fa interpretare la prospettiva osservata dagli abitanti. Un eccesso di progetti, che vengono proposti sull'onda di spinte economico-industriali del momento, possono indurre a reazioni anche preconcepite dettate dalla difesa ad oltranza del territorio, della sua visibilità e delle tradizioni naturali e paesaggistiche volute e vissute dalla popolazione.

Sono avvertimenti, che cadono prevalentemente sui siti terrestri. Non si è trovato molto, invece, per i siti a mare, dove tali distanze trovano altre considerazioni e diverse motivazioni a loro conforto o a loro smentita. In realtà, più che differenti motivazioni si dovrebbe parlare del peso e della validità di certi impatti, come *l'impatto visivo*. Le macchine si vedono come a terra od un po' di più. Grazie ad eventuali schermi da porre attorno agli abitati, che sono il luogo in cui sta l'osservatore, la vista di un campo eolico a terra potrebbe essere mitigata. Meno agevole è prefigurare un simile trattamento per gli aerogeneratori a mare.

Un'altra giustificazione a fissare spazi attorno alle turbine eoliche potrebbe valere per difendere gli abitanti dallo *impatto sonoro*. Con i livelli attuali di tali emissioni i valori consigliati dovrebbero essere sufficienti.

Ad ogni modo l'entità degli intervalli di terreno da lasciare tra macchina e case sono riproposti nella Tab. 6.3.1. Vi si mantengono le stesse unità di misura del documento di origine.



Fig. 6-3c. Incidente sul sito, già indicato nella figura precedente

Almeno in queste note le distanze possono non essere viste esclusivamente in funzione della sicurezza. *L'ombra, proiettata dalle pale*, si muove e succede ritmicamente alla luce piena, che è scandita dallo spazio intercorrente tra due pale contigue. L'alternanza, che avviene con la frequenza imposta dal moto rotativo del rotore, può essere non soltanto foriera di noia e di insofferenza a lungo andare, ma anche può indurre stati di ansietà e di nervosismo, cioè avere effetti se non sulla salute in senso stretto sulla confortevolezza del nostro vivere quotidiano e sulla libertà nell'uso e nella fruibilità del territorio.

Meno marcato è il *movimento dell'ombra della torre*, che si sposta con il moto apparente del Sole in cielo. La sensazione è ben avvertita ed è tanto più viva, quanto più è estesa l'ombra e quanto più il Sole è radente. Specialmente nelle regioni dell'emisfero terrestre settentrionale è la situazione tipica nelle stagioni, che hanno centro nel solstizio invernale ed in cui l'astro solare resta basso sull'orizzonte. E' evidente che le ragioni ecologiche (risparmio di CO<sub>2</sub>, emissioni nulle anche di polveri microniche, etc.), che sostengono le installazioni eoliche [99-104], non possono aver la precedenza rispetto all'esigenza di mantenere confortevolezza e vivibilità alle popolazioni, prospicienti i siti eolici. Analoghe considerazioni vanno fatte per quanto

riguarda gli altri tipi di impatto, come quello acustico [105-107] o quello ambientale, specialmente -ma non soltanto- per i campi a mare [108].

Oltre alla accettazione estetica, ambientale e paesaggistica (cfr. la Fig. 6-3b), che sono state appena delineate e che farebbero sorgere una specie di *limite di confortevolezza* da associare al sito eolico, è opportuno ritornare al concetto fondamentale, che mette la distanza in relazione con gli incidenti possibili e con la difesa da essi.

La si può, infatti, intendere come la *soglia di rischio*, associata all'insieme dei processi incidentali possibili ed agli oggetti da preservare. E' soglia, che non può o non deve essere superata.

Per completezza di indagine la distanza non dovrebbe soltanto fare riferimento agli agglomerati abitativi (singoli o plurimi, piccoli o grandi, composti da un edificio civile/rustico o da più, etc.).

A rigore si dovrebbero considerare anche altri ostacoli od *oggetti da difendere dal danno incipiente* per caduta di pezzi dall'aerogeneratore.

Nel computo della delocalizzazione del sito rispetto agli insediamenti civili ed industriali si dovrebbe tener conto anche di eventuali interventi di lavaggio della torre (Fig. 6-3a), che potrebbero mettere in circolazione vapori od aerosol nocivi alle persone o dannose a certi prodotti (agricoli, alimentari, ortofrutticoli, etc.), che sono utilizzati dall'uomo per le proprie necessità.

Proseguendo sulla linea di graduare la distanza del sito con i rischi territoriali, è prudente considerare le zone, che sono oggetto di potenziali pericoli a causa dei possibili eventi incidentali, e gli interventi per delineare le azioni, che possano mitigarne gli effetti. Uno dei procedimenti più comuni per limitare i rischi è individuare adeguati arretramenti dell'aerogeneratore rispetto a preesistenti oggetti da proteggere. E' opportuno calcolare le aree di pericolo per ogni tipologia di incidente, come già si è detto. Tali stime da parte dei costruttori di aerogeneratori sono condotte con processi valutativi molto approssimati, in quanto i rischi sono molto rari e le informazioni esistenti non sono basate su consistenti dati sperimentali. Pertanto, il ricorso a fattori di sicurezza nella determinazione delle suddette distanze è pratica comune e necessaria.

I *tipi di incidenti* da tener in conto per la determinazione delle distanze possono essere ridotti soltanto a tre e precisamente a

- ❖ *rottura e lancio di una intera pala;*
- ❖ *abbattimento della torre per cedimento al piede;*
- ❖ *formazione e lancio di ghiaccio.*

L'ultimo caso è relativo a quei siti, che realmente ne soffrono, e limitatamente ai periodi dell'anno, che sono favorevoli a tale evenienza.

Dei tre casi quello, che è indubbiamente il più serio ed il più diffuso è da ascrivere all'eventualità di *cedimento totale (o parziale) di pala*. Tenendo conto delle relazioni usuali, è possibile risalire alla distanza percorsa con un calcolo semplificato, ammettendo che la pala sia un corpo uniforme (con il centro di gravità in mezzeria, mentre è in realtà più vicino all'incastro), si muova esclusivamente nel piano di rotazione e non sia sostanzialmente soggetta a forze d'attrito (né nella direzione del moto, né in quella ad essa normale, essendo esse propriamente piccolissime e, quindi, trascurabili).

I valori, determinati con queste assunzioni, possono essere ancora incrementati, imponendo un arrotondamento mediante un coefficiente moltiplicativo opportuno (pari a circa 1,25). In tal modo si approssima il valore peggiore, che sarebbe quello del caso globale ( $104,4 \text{ m} \times 1,25 = 130,5 \text{ m}$  non molto discosto dai 131,6 m della distanza vettoriale, che è la massima).

Si perviene, così, alla stima della gittata. E' una distanza, che naturalmente è funzione della macchina eolica disponibile, del suo regime di funzionamento massimo, dell'altezza della torre, etc.

Per il *collasso della torre* l'area, che è interessata dal crollo di tutta la macchina, corrisponde ad un cerchio di centro nella torre e di raggio pari a torre più altezza dell'asse rotorico più lunghezza della pala. Tale dimensione è presto determinata, conoscendo le grandezze geometriche dell'aerogeneratore.

Se da notizie, raccolte da fonti diverse, si può ritenere che un lancio di frammenti di ghiaccio possa arrivare sui 100 m ed oltre (anche sino a 400 m per casi speciali), l'applicazione di formule può consigliare valori prossimi o addirittura più elevati di quelli raggiunti con il collasso della turbina. E' probabile che il lancio di una pala, opportunamente incrementata per tener conto delle approssimazioni introdotte, possa valere come involuppo di altri incidenti.

### 6.3.2 Casi significativi

Un maggior numero di eventi si dovrebbero annoverare nella classe di incidenti con distacco parziale/totale di una pala, come vorrebbe la Tab. 6.2.1. Alcuni esempi si trovano nelle figure già esposte in precedenza. La Fig. 6-2a evidenzia un evento di rottura, lamentato da un'unità della wind farm scozzese di *Crystal Rig presso Dumbar* (Scozia) nel 2005 (il 15 Aprile per la cronaca).



*Fig. 6-3d. Esempi di mancata osservanza delle distanze di rispetto*

La situazione del sito, localizzato in zona remota e non popolata, ha evitato che l'incidente potesse avere ripercussioni spiacevoli per gli esseri umani. L'unità, che era stata installata soltanto l'anno prima, ha richiesto un intervento di riparazione (manutenzione straordinaria dovuta ad interruzione di esercizio per incidente) abbastanza costoso. E' stato valutato attorno al 50% del valore finale di ogni unità, rilevato a parco costruito ed esercito. L'evento era già stato preceduto da un accadimento simile, riscontrato in un impianto eolico su suolo inglese.

### 6.3.2.1 In impianti a terra

Delle altre documentazioni fotografiche, rappresentate nelle Figg. 6-2, quella contenuta nella Fig. 6-2b segnala un evento simile, accaduto (il 6 Ottobre 2006 nella nottata tra Venerdì e Sabato) nel sito bretone di *St. Thegonnec Pleyber-Christ nel Finistère* (Bretagna, Fr) ad una turbina da 300 kW. Ha ceduto una pala, che nel cadere ha danneggiato una seconda pala. La caduta è stata determinata probabilmente dalle non buone condizioni del materiale. Si sostiene che le macchine acquistate siano di seconda mano. Il pezzo, che è volato via, è caduto non molto lontano anche per il peso (10 m per 2-3 ton). Altri due eventi simili si sono avuti nello stesso sito nel 2004.



Fig. 6-3e. Sistemazione di campo eolico e di linee aree troppo a ridosso di costruzioni civili

La figura successiva si riferisce ad un incidente di radicale perdita delle pale, che risultano tutte e tre mozzate. L'evento incidentale è stato riscontrato in un sito tedesco.

Invece, nel campo eolico inglese di *Cold Northcott a Bondmin Moor* (in Cornovaglia) si è dovuta riscontrare una parziale asportazione di pala da una turbina della potenza di 300 kW (WEG MS-3). Il fatto è avvenuto il 13 Gennaio '06 a causa di una tempesta di vento (Fig. 6-3c). Il pezzo di maggiori dimensioni e del peso di mezza tonnellata (la pala era lunga 18 m) è caduto nella campagna sottostante ed un frammento è stato ritrovato a circa 100 m dal piede della turbina eolica. Nessun danno è stato lamentato da persone o dai mezzi, transitanti su una vicina via di comunicazione.

La foto, scattata e riproposta nella Fig. 6-3l, si riferisce alla centrale di *Fenner nella Contea di Madison* (stato di New York). Il 28 Gennaio 2007 durante una nevicata si è avuto quanto vi è documentato su una turbina eolica da 1,5 MW (GE) in funzione dal 2001. Le cause -al momento della constatazione del danno- non sono state facilmente decifrate. Non si poteva catalogare l'incidente, come se fosse dovuto a vento o a fulminazione (meno probabile) o alle due cause o ad altro.

Un altro evento negativo si è, purtroppo, dovuto ascrivere al *campo eolico di Fenner* [109]. A Novembre dello stesso anno (15 Novembre 2007) a causa di un serraggio insufficiente dell'accoppiamento flangiato della pala al mozzo, la pala si è rotta.



Fig. 6-3f

Non sembra molto diversa la causa di incidenti, riscontrati in turbina Vestas V66 in Niedersachsen (De) il 19 Marzo 2001 nel sito di *Goldenstedt im Kreis* ed il 9 Febbraio 2002 a *Oederquart bei Stade* (Figg. 6-3f). Il cedimento del collegamento tra pala e rotore ha provocato il cedimento e la perdita della continuità tra i due pezzi. Dal distacco la pala è caduta da circa una sessantina di metri alla base della torre.

La perdita inaspettata di una pala ha indotto non soltanto il gestore della centrale del *Prince Wind Energy Project di Sault St. Marie* (Ontario, Canada), ma anche il costruttore (GE) della turbina da 1,5 MW, che ne è stata sede il 30 Gennaio '08, ad una radicale revisione del progetto.

Un distacco totale di pala si è lamentato anche in un campo eolico spagnolo (2 Marzo 2008). Da una macchina eolica la pala è volata via, non restando completamente integra. Il frammento di maggiori dimensioni sembra esser atterrato a discreta distanza dall'unità incidentata (circa 200 metri), mentre pezzi di minor grandezza sono stati raccolti sul terreno circostante.

Altra occasione di consimili danni si è dovuta registrare anche in Olanda. Il 15 maggio 2008 una pala di una macchina, situata in una zona non molto lontana da una via a scorrimento veloce tra Alkmaar e Schagen, si è staccata dal mozzo. E' finita per planare sulla sede stradale in un momento, in cui nessuno la percorreva. L'incidente avrebbe potuto essere potenzialmente molto pericoloso per le conseguenze anche luttuose, che avrebbe potuto generare, essendo il pezzo lungo ben 23 m, pur se di peso non rilevantissimo (3 ton).



*Fig. 6-3g. Prospettiva domestica di un sito eolico canadese*

Analoghe rotture si erano già riscontrate nel 2007, coinvolgendo unità di ben tre campi eolici, tutti situati in Olanda. Stando ancora in Europa il 24 Febbraio '08 nel campo eolico vicino al villaggio di *Sidinge* (Odsherred, Danimarca) si è prodotta la rottura di una pala. Secondo un agricoltore della zona alle 6,30 del mattino è stato indotto ad uscire di casa, avendo avvertito un rumore simile "al bang di un aereo od a quello dell'urto tra due auto". Il frammento maggiore era caduto un centinaio di metri dalla turbina colpita

dall'incidente. Altre testimonianze concordano sul rumore, prodotto da una simile rottura.

La perdita di una pala può lamentarsi anche durante la costruzione, come attesta la Fig. 6-5c. Essa documenta le conseguenze di una simile caduta, avvenuta il 27 Gennaio 2008 nel sito *Cohocton nello stato di New York*.

Nel sito vicino al *Lago Wilson nello stato del Minnesota (USA)* si sono dovuti rilevare alcuni incidenti, che hanno coinvolto macchine approvvigionate da un unico fornitore. Si sono manifestati difetti, che hanno provocato tranciature di pale, sia nel Settembre 2006 (Fig. 6-3b), sia nel Novembre dello stesso anno (Fig. 6-3c).

L'indebolimento e lo sparpagliamento di frammenti, che improvvisamente ed inaspettatamente si sono avuti da una pala del convertitore eolico da 720 kW (NEG Micon), sono accaduti il 25 Febbraio '07 nel *Parc Cynog a Llanmiloe* (Carmarthen, Galles) alle 5 del pomeriggio. La radice della pala è restata attaccata al mozzo.



Fig. 6-3h. Rappresentazione schematica degli impianti eolici nello stato di New York

Più seri e, soprattutto, distribuiti su più turbine eoliche della *Allegheny Ridge Wind Farm nella Contea di Cambria (Pennsylvania, USA)* sono gli eventi, che hanno sollevato dubbi sulla fattibilità di altri progetti nella zona (fatto avvenuto il 31 Marzo 2007). Si sono riscontrate cricche in 7 pale, mentre due hanno subito rottura con lancio di frammenti in un raggio di un centinaio di metri. Il pezzo di maggiori dimensioni, staccatosi e lanciato altrove, aveva una lunghezza di 43 m (praticamente quanto una pala, essendo il rotore di 87 m). La macchina della potenza di 2 MW (Gamesa Eolica G87) è alta -a seconda del modello- tra 67 e 100 m circa

Nel sito di *Uelvesbüll bei Husum a Landkreis Nordfriesland* (Schleswig-Holstein, Germania) una turbina da 250 kW, vecchia di 17 anni, a seguito di un probabile temporale, ha perso una pala.

L'asportazione di una pala si è all'improvviso imposta il 3 Dicembre 2007 in una turbina eolica da 1,5 MW (GE) della *Waymart Wind Farm* (Pennsylvania, USA). Le altre due pale sono restate al loro posto completamente indenni.

Anche a seguito di tempeste di vento (9 Aprile '08) nelle regioni di *Tokai e Kanto* si sono dovuti lamentare tranciatore di pala. A due convertitori eolici alti 103 m circa con pale da 37 m (di 1,5 MW di potenza) ne è stata strappata una ciascuno contemporaneamente.

Prima di abbandonare l'argomento sarebbe da segnalare ancora un accadimento, che è stato rilevato nel Giugno del 2006 nel *sito di Oldside* (Cumbria, UK). La rappresentazione dello stato finale dell'evento è nella Fig. 6-3i.



Fig. 6-3i. Rottura di pala in un turbina del sito di Oldside (Inghilterra)

La causa primaria dovrebbe essere addebitata all'azione di un fulmine. I campi di Oldside e di Siddick sono posti vicino alla strada costiera A596 e non molto distanti dalla ferrovia Carlisle-Workington.



1)



2)

*Fig. 6-3j. Sito eolico di Sellèles Limousis con alcune unità incidentate (1) ed una pala aperta secondo l'asse caduta al suolo (2)*

Per attenuare l'impressione che la tranciatura di pale sia soltanto avvenuta in epoca recente basterebbe ricordare un evento, rilevato nel campo eolico di *Sallèles Limousis presso Carcassonne* (Aude, Fr) il 15 Novembre 2003 su un'unità alta 48 m del diametro rotorico di 43,4 m (Fig. 6-3j.1). Una pala si è staccata dal mozzo. Cadendo, si è aperta secondo la lunghezza (Fig. 6-3j.2). Altre tre unità hanno lamentato lo stesso incidente durante l'anno. La notizia è comparsa sul *Midi Libre*

### 6.3.2.2 *In impianti a mare*

Un caso, che è stato rintracciato per questo tipo di installazioni, è relativo ad alcuni frammenti di pala, che sono stati notati sullo specchio d'acqua del sito di *Borkum* [110].



*Fig. 6-31. Rottura su pala di turbina nel sito Fenner  
(stato di New York, USA)*

Non si hanno particolari in merito alla causa primaria, che possa esser stata l'iniziatrice del danno, né all'entità ed alla tipologia della frattura sulla pala (sempre che non si sia trattato del distacco completo della stessa dal mozzo).

## **7 INCIDENTI A PERSONALE/MATERIALE DURANTE I LAVORI PER LA REALIZZAZIONE E PER L'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO EOLICO**

### **7.1 Criteri di catalogazione**

#### **7.1.1 Alcuni indici di comportamento**

Una *linea di condotta* potrebbe essere suggerita per dare una certa sistematicità nella ricerca e nella raccolta delle notizie riguardanti gli effetti, prodottisi durante le fasi necessarie per il compimento del programma predisposto per costruire un campo eolico.

Una *prima grande divisione* potrebbe essere imposta nel catalogare separatamente gli incidenti, che

- influenzano l'andamento del programma realizzativo ed introducono ritardi a causa del danneggiamento di componenti o per causa del loro f.s. o malfunzionamento;
- producono danni non soltanto a cose od esclusivamente a persone (addetti ai lavori, operai esterni, popolazione civile, etc.) con diverso grado di offesa sino a quello estremo di decesso di esseri umani.

Applicando questa filosofia espositiva, si dovrebbero trattare gli incidenti sul lavoro in due grandi branchie,

- una prima nella quale si devono esaminare gli effetti sulle cose;
- una seconda nella quale si dovrebbe fermare l'attenzione soltanto all'uomo ed ai disturbi (ferite permanenti o temporanee, decessi, inabilità passeggera o definitiva, etc.) ad esso arrecati dagli eventi precedenti.

Con questo processo un evento, che coinvolga cose e persone, dovrebbe essere studiato due volte ed in modo separato, stante la diversa tipologia di indagine richiesta.

Diversamente da quello che è stato ora segnalato, nei prossimi paragrafi accanto alla formalizzazione dell'incidente attraverso le sue ricadute sulle cose sarà inserita la notizia degli effetti, anche quando l'evento ha procurato una conseguenza comunque invalidante durante i lavori. La incongruenza non è dovuta a noncuranza o a superficialità. Si è preferito unificare le due procedure nella convinzione, che sarebbe più facilmente avvertita dal lettore la rilevanza dell'evento, se è proposta una fotografia complessiva del danno prodotto simultaneamente alle cose ed alle persone (lavoratori del campo eolico, personale esterno, etc.).

Non si vogliono creare malintesi o fraintendimenti con questo apparente contravvenire ad una regola, prima suggerita. Si ritiene che indubbiamente la consultazione degli eventi, accaduti ai componenti della turbina eolica durante i lavori, possano essere, o più frequentemente compulsati rispetto a quelli riferentisi esclusivamente alle vittime, o quanto lo sono stati questi ultimi. Gli accadimenti con vittime riguardano una casistica dolorosissima nella sua manifestazione, ma sovente lasciata a coloro che sono addetti alla sanità od alla prevenzione degli infortuni.



*Fig. 7-1a. Interventi su navicella a cielo aperto*

Per evitare di mettere un po' in ombra un evento, che si stima essere decisivo, si è temporaneamente contraddetta la prassi inizialmente avanzata. Negli stessi paragrafi, in cui si propongono e si descrivono i danni alle cose, si esporranno anche i meccanismi o le dinamiche che hanno generato danni alle persone, sia in modo esclusivo, sia in abbinamento con quelli alle cose.

### 7.1.2 Modalità di rilevamento delle incidentalità

Rispetto alle tecniche, che sono state seguite nei precedenti paragrafi, ed alle sorgenti di informazioni, cui precedentemente si è fatto ricorso, non ci sono sostanziali innovazioni. I due capisaldi sono sempre il rapporto degli Sharples e quello del CWIF con il supporto dei capitoli finali dello studio impostato dalla società norvegese SINTEF.

L'unico aspetto degno di nota da rilevare è il maggior interesse, che si pone anche in queste note introduttive sugli eventi durante realizzazione/funzionamento della centrale ai campi eolici a mare. Anche in questo ambito, che dovrebbe coprire parchi eolici a terra ed a mare, con maggior prevalenza ci si interesserà di quanto coinvolge il settore marino.

Il "Caithness Windfarm Information Forum" (CWIF), che è un gruppo di tecnici interessati allo studio dell'energia eolica ("a group of people concerned about the proliferation of windfarms in Scotland") ha realizzato una banca dati, che raccoglie informazioni su tutti i tipi di incidenti (da occasionali danni fisici a lavoratori sino a cedimenti/rotture di natura tecnica) avvenuti in un lasso tempo ampio. Sono, infatti, raccolte notizie dal 1975 sino ai giorni nostri. All'Ottobre 2010 erano stati censiti 936 eventi, che nonostante la grande utilità di una simile iniziativa presentavano qualche pecca. Talora si aveva più di un richiamo allo stesso evento e la descrizione poteva apparire poco accurata o molto scheletrica a causa non tanto di manchevolezze e trascuratezza da parte degli estensori quanto piuttosto a deficienze nei testi consultati, origine delle indicazioni incidentali.

La banca originaria, che è stata integrata con l'analisi da parte degli Sharples, è stata, poi, sottoposta ad analisi per opera di un gruppo di ricercatori (Camilla Knudsen Tveiten, Eirik Albrechtsen, Jørn Heggset, Matthias Hofmann, Erik Jersin, Bernt Leira, Per Kristian Norddal) della norvegese SINTEF Technology and Society (sezione su Safety Research) nel 2011, che si è conclusa con il rapporto "A study of HSE issues related to current and future offshore wind power concepts". L'indagine ha consentito di selezionare gli incidenti più significativi che sono stati raccolti con integrazioni nella Tab. (Tab.9 nel testo di riferimento).

Qualche considerazione può essere utile non tanto per capire il seguente testo, anche se non si sconsiglia affatto la consultazione e lo studio della banca dati iniziale, quanto per rilevarne le criticità conseguenti. Non si può non rilevare che

- ci sono più numerosi rapporti d'incidente (avvertiti con maggior evidenza) per operazioni con mezzi di sollevamento in siti offshore che per altre cause;
- a distanza dalla costa le severe condizioni del mare creano una minaccia (talora sentita rispetto al reale) in modo grave durante le operazioni d'installazione;
- a motivo della distanza (per evento in situ) e delle operazioni di riparazione, seguenti e successive all'incidente, si può accusare un ritardo magari di mesi;

- l'ambiente ostile nei lavori a mare può rendere assai evidenti le conseguenze prodotte dalla corrosione sui materiali;
- il fondale sabbioso può indurre effetti di instabilità in strutture su esso appoggianti.

A conferma di quanto detto si prenda il caso dell'evento, avutosi ad Ijmuiden il 29/7/2009, che non ha causato conseguenze dirette importanti. Ha, invece, influito pesantemente sul morale del personale, che si è messo a lavorare applicando scrupolosamente i protocolli di sicurezza con l'intendimento di giungere allo stop invernale dei lavori.

Come si è osservato, il rapporto dei Sharples ha apportato ulteriori informazioni ed ha concluso con alcune osservazioni, degne di essere considerate in un programma di HSE (che secondo la terminologia inglese significa Health and Safety Executive, cioè Protezione della Salute e della Sicurezza sul Lavoro), quali

- nel periodo 1998-2008 si sono contati nel mondo 14 incidenti su jake-up durante la fase d'installazione con due decessi e numerosi naufragi di natanti;
- da parte di progettisti e di operatori si è data poca attenzione alle collisioni tra mezzi navali di servizio anche di modeste dimensioni con torri/fondazioni delle turbine eoliche;
- statistiche per incidente sono proposte sulle varie cause iniziatrici;
- analisi accurata è condotta sul naufragio della nave vessel 'Russell W Petersen' del Delaware (USA) nel Golfo del Messico e sulle indagini condotte dalla Guardia Costiera statunitense per trarne le dovute conclusioni.

Questi fatti inducono a ripercorrere il progetto, onde attenuare quelle dissonanze che non possono non apparire dall'esame degli incidenti e soprattutto dalla lettura delle Tabb. 7.2.1/7.3.1.

Se ne sono derivate alcune conclusioni, che sono qui di seguito riportate nei loro significati più importanti. Sono così da riconsiderare

- condizioni climatiche estreme, forti tempeste, grandi mareggiate, cicloni sono sovente cause di guasti multipli;
- fulminazione, il fenomeno naturale è frequente sulle macchine a mare;
- processo di certificazione a seguito di sostituzione di equipaggiamento, tale intervento, se avviene dopo 2-3 anni dall'avvio di una macchina garantita per 25 anni, dà luogo all'accensione di una garanzia, che sovente vale soltanto per 5 anni;

- incendio a bordo di navicella, con l'intervento dei vigili del fuoco a causa dell'evento è opportuno non aprire la porta alla base della torre per evitare l'innescò di effetto camino;
- interro dei cavi, la procedura è essenziale per salvaguardarli da eventi di strappo a causa di ancoraggio di natanti su di essi;
- integrità tecnica, è bene assicurarsi in tali interventi che il trasformatore sia operativo;
- perdite d'olio, sono occasioni tutt'altro che improbabili, se originate dalla turbina;
- sollevamento carichi, durante fasi di sollevamento è opportuno stare lontano dall'area di operazione.

## 7.2 Incidenti durante trasporto/installazione

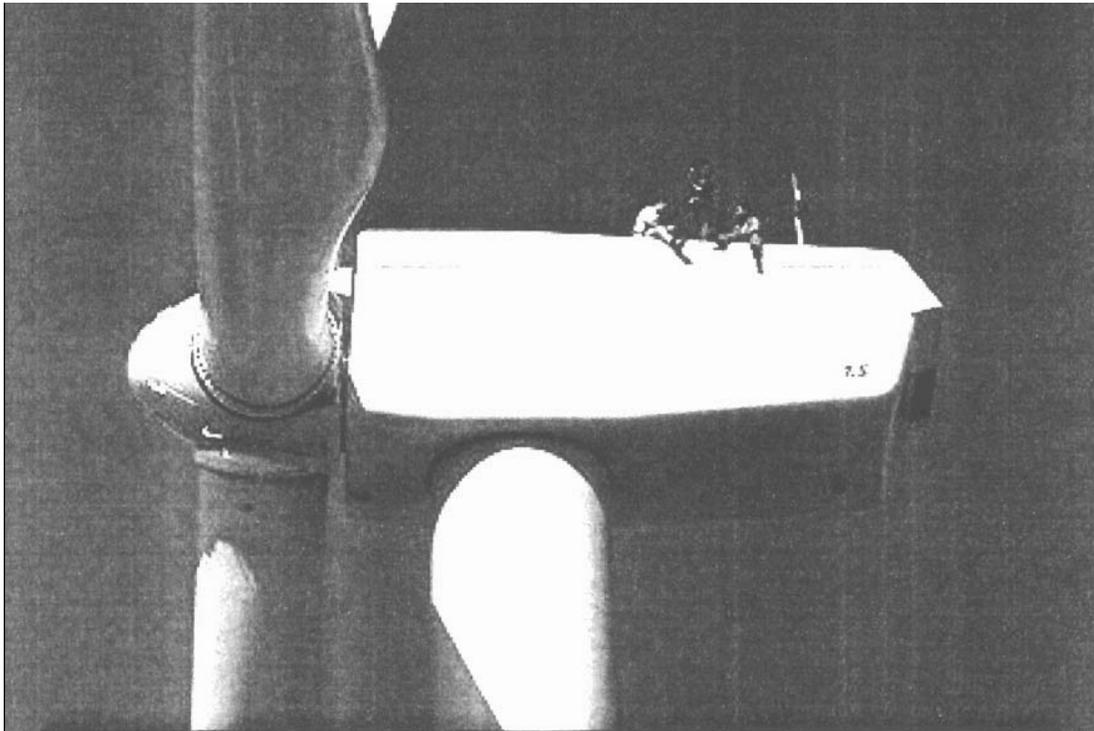
Saranno selezionati gli eventi più significativi, che hanno prodotto effetti, sia sulle unità eoliche in procinto di essere montate, trasportate e posizionate sul sito, sia sul personale, addetto a tali manovre.



*Fig. 7-2a. Interventi manutentivo su turbina eolica*

Si è deciso di separare ciò che può essere capitato durante la realizzazione del campo eolico da ciò che, invece, riguarda il suo esercizio e, cioè funzionamento, interventi preventivi ed ispettivi, manutenzione ordinaria e straordinaria, etc. I danni e le vittime, che siano stati censiti nella prima fase sono rintracciabili in questo paragrafo, e quelli che si riferiscono a questa seconda fase, trovano adeguata catalogazione nel paragrafo successivo. In linea informativa *al 2003 erano stati censiti 23 decessi, causati o riscontrati a vario titolo nei campi eolici o in attività parallele, al 2012 ammontavano a 133* (cfr. la Fig. 7-1e). L'eccesso di 9 unità tra questi dati e quelli della tabella sono da ascrivere a personale esterno in qualche modo riconducibile ad eventi eolici.

Una analoga separazione è stata tentata per dare evidenza o, meglio, per far rilevare la collocazione dei campi eolici e delle loro problematiche. Sfortunatamente -o fortunatamente per altro verso e sotto il profilo dei danni a persone e cose- le rilevazioni sono veramente poche nel caso dei campi eolici a mare.



*Fig. 7-2b. Addetti al lavoro su una navicella*

Va aggiunta una ulteriore annotazione, che potrebbe essere pleonastica. Non si sono raccolti gli eventi, che si sono considerati, secondo le modalità o la caratterizzazione attraverso cui sono stati rintracciati o sono catalogati da varie parti (enti, nazioni, operatori, etc.). Come già è stato variamente ricordato, non si sono attivati *elenchi separati* per contraddistinguere i vari effetti su

- le componenti dei campi eolici;
- le differenti costruzioni, colpite da lanci di frammenti o di pezzi, provenienti da turbine eoliche;
- le persone, che operano durante le fasi di realizzazione/gestione dei campi stessi e che possono aver subito danni fisici/materiali anche relevantissimi;
- gli addetti, che a vario titolo lavorano per le centrali eoliche anche -e soprattutto- fuori o nei dintorni delle stesse.

Non si sono così classificati i casi, che saranno citati, in tali elenchi singoli, per ovvie ragioni pratiche. Il numero di tali liste avrebbe potuto essere inutilmente alto. Si ritiene che ogni argomento sarebbe stato toccato in modo troppo succinto (cioè, sarebbe stato dotato da pochi casi) ed avrebbe finito per interessare soltanto perifericamente il tema della trattazione.

### 7.2.1 Campi eolici a terra

Un accadimento assai singolare, che ha prodotto un handicappato ed una serie di reprimende molto giuste, si è prodotto durante le riprese per un programma educativo il 9 Ottobre '01 nel sito di *Birthingdir Mawr presso Newport (Galles)*. Un tecnico del suono stava lavorando a terra, mentre da una turbina si stava effettuando uno smantellamento del rotore per successivo rimpiazzo. Il pezzo è sfuggito di controllo e, cadendo, ha colpito il tecnico. L'uomo ha subito danni gravi alla colonna vertebrale con conseguente impossibilità di deambulazione con la riduzione permanente in carrozzella.

In data 17 Giugno '04 si apprese che in tutti gli aerogeneratori da 2 MW di potenza (Vestas V 80) si sono lamentati rotture e f.s. nei generatori e nei trasformatori. Per tali gravi disfunzioni si sono dovuti sostituire quei componenti vitali.

Fortunatamente gli incidenti sul lavoro non si concludono sempre con vittime umane. Potrebbe così accadere che l'incidentato soffra almeno per ferite anche di notevole gravità. E' il caso della perdita di una pala (il 28 Luglio '04) nel sito tedesco di *Windpark Schwirzheim nahe Büdensheim bei Prüm im Kreis Bitburg-Prüm*, mentre era sostenuta dal gancio di un gru. Cadendo ha urtato un operaio, che si trovava su una piattaforma, facendolo cadere a terra da un'altezza di 4 m.



*Fig. 7-2c. Rovesciamento di trasporto speciale per sezione di torre (circa 60 ton) su strada provinciale francese causato da sorpasso di un trattore agricolo (1 Febbraio '08)*

Incidenti stradali se ne devono lamentare, forse in numero maggiore di quello che risulta dalle informazioni di stampa, che se ne impossessano quando l'interruzione

o l'ingorgo diventa macroscopico e si prolunga un po' più di quanto possa sperare il trasportatore (Fig. 7-2e.2). La sezione di una turbina eolica è scivolata giù dal mezzo di trasporto ed ha ostruito le due carreggiate dell'autostrada A5 (Germania), bloccando il traffico nelle due direzioni per 14 ore.



*Fig. 7-2d. Incidente, provocato da un autista danese a Niederkirchen nella Saar (21 Novembre '04)*

Accadimenti stradali di questa tipologia (Fig. 7-2a e 3-3e) o di differente motivazione (Fig. 5-2b) se ne sono contati parecchi. Molteplici possono essere le cause dell'incidente; sono da attribuire a manchevolezze/leggerezza, a distrazione, a scarsa avvedutezza, a carenze ispettive e programmatiche (Fig. 7-2d), che hanno preceduto il trasporto, a tracciati accidentati, a banchine cedevoli (Fig. 7-2c), a carreggiate molto strette (Fig. 7-2e.1), etc. Sono guai, che tutti gli utenti della strada conoscono benissimo e dei quali sovente si sono trovati a doverne subire le conseguenze con ritardi, stravolgimento del viaggio, e via discorrendo. Non si vuole minimizzare la rilevanza e la delicatezza dei problemi della logistica. E' soltanto sembrato più utile concentrarsi su ciò che è tipico della macchina eolica.



1)



2)

*Fig. 7-2e. Incidenti ed ingorghi nei trasporti stradali*

Un autista di mezzo stradale, impiegato per il sito di *Dalswinton a Dunfries and Galloway* (Scozia), il 15 Maggio 2007 è uscito di strada, capovolgendosi. E' stato ospedalizzato con prognosi non infausta, pur se gli siano state diagnostiche e rilevate molte fratture in varie parti del corpo.

Durante i lavori di collegamento del rotore alla trasmissione, cui accudivano due operai, il rotore si è avviato, uccidendone uno e ferendo l'altro. L'accaduto, che ha richiesto l'intervento di un elicottero per evacuare le vittime, si è riscontrato in una macchina del sito di *Marsberg-Erlingshausen-Hochsauerlandkreis* (Westphalia, De) il 7 Maggio '05. E talora è anche la fatalità che interviene a cambiare il corso delle cose; il maltempo o un'errato/impreciso posizionamento può far cadere anche un complesso di sollevamento di indubbe proporzioni (Fig. 7-2f), che è descritto nella Tab. 7.2.1, essendo accaduto a terra, ma in un mezzo destinato al campo eolico a mare Q7.



Fig. 7-2f. Caduta di gru nella centrale Q7 (NL) il 29.07.2007

Il primo caso di suicidio in Inghilterra per ragioni, collegate con un possibile campo eolico da realizzare nella zona, si è dovuto lamentare il 21 Maggio '07 a *Kings Lynn* (Norfolk, Scozia). L'uomo, un agricoltore della regione sconvolto per l'incapacità di arrestare il progetto per installare nella zona un campo eolico, si è tolto la vita, probabilmente dandosi la morte in uno stagno.

L'incidente con la prima vittima, che è stata lamentata sul suolo inglese e che è dovuta a caduta da 70 m d'altezza, si è prodotto durante la installazione di turbina eolica da 2,5 MW (Nordex N 80) e del rotore di 80 m. Un lavoratore, mentre era

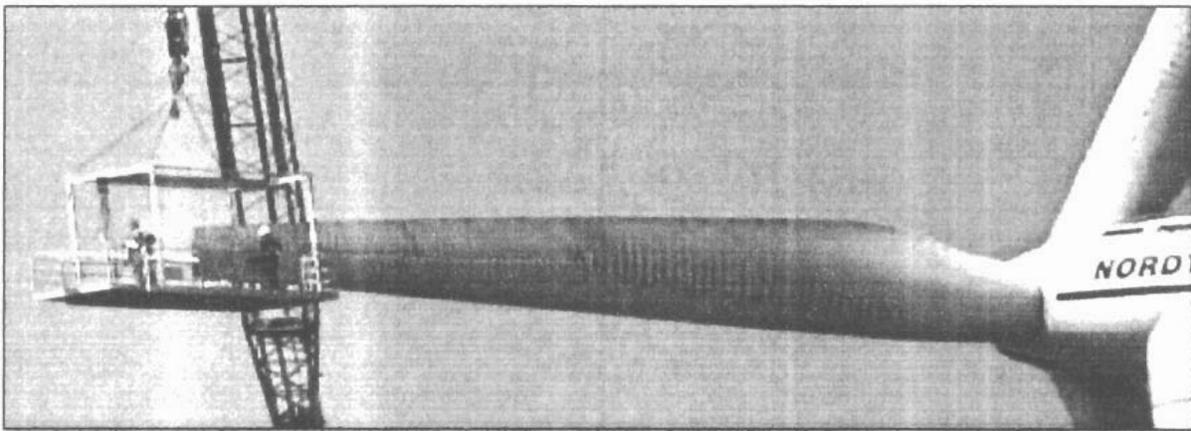
intento al montaggio dell'albero, è caduto a terra. L'uomo, un diciannovenne d'origine brasiliana, è deceduto sul colpo.

## 7.2.2 Campi eolici a mare

### 7.2.2.1 Rilevamento di eventi

Non sarebbe il caso di intervenire in una materia che sembrerebbe riguardare più la sicurezza dal punto di vista della imposizione delle regole e del piano di protezione contro incidenti (il HSE o Health Safety Executive, come in inglese significa la sigla), ma potrebbe valere la pena di ricordare due aspetti di incidenti che riguardano i lavoratori occupati nei campi eolici a mare e che vanno segnalati con la dovuta decisione, riguardando precisamente

- la costruzione e/o gli interventi maggiori di manutenzione, che richiedano in particolare operazioni con dispositivi di sollevamento (magari di grandi dimensioni con lavoratori a notevoli altezze) e con mezzi navali tipici per le installazioni a mare (pontoni e specialmente jack-up);
- esercizio con ispezioni ed interventi minori di riparazione a bordo di aerogeneratori, che in particolare abbisognano di accesso e regresso dalle turbine, di lavori a notevoli altezze (apertura del cielo della navicella, pale, etc.) e di operazioni anche in condizioni di emergenza del funzionamento e/o con regimi climatici avversi.



*Fig. 7-2g. Intervento di indagine su smozzicamento di pala*

Quanto si è osservato diventerà ancora più stressante e potenzialmente più pericoloso per il personale con la tendenza a realizzare parchi con più unità di elevata potenza, sistemati sempre a maggior distanza dalla costa e poggiati su fondali più profondi.

.

**Tab. 7.2.1. Selezione di incidenti in campi offshore in costruzione desunti dalla banca-dati CWIF sino all'anno 2010**

Hazards Involved	Time, place	Phase	Incident description	Consequence			Reference
				Personnel	Environment	Material	
Moving object	25 August 2006 Beatrice Offshore wind farm, UK	Installation, lifting	A worker was injured during installation when a 15-ton structure swung into and crushed his leg. The accident has been investigated by the UK HSE. The HSE state that the companies involved should have foreseen the potential for the load to swing and should have taken measures to prevent such incidents. The HSE brought the case to court; the two companies were fined for the accident.	Permanent injury, amputated leg	-	-	<i>Reference</i>
Lifting operation, falling object	13 October 2006 Barrow, UK	Lifting	Whilst lifting hoses for a generator gearbox oil change from the vessel Amstelestroom up to the nacelle on WTG D5, the deck winch blocked. The chain failed and dropped, 80% landed in the sea and 20% landed on the deck of the vessel.	-	-	-	<i>Barrow Annual The Report 2006/7</i>
Lifting operation, falling object	24 January 2007 Barrow, UK		Whilst using the davit on the transition piece the shackle pin (50g) on the lifting gear came loose and fell approximately 10m on to the vessel	-	-	-	<i>Barrow Annual Report 2006/7</i>

Hazards Involved	Time, place	Phase	Incident description	Consequence			Reference
				Personnel	Environment	Material	
Lifting operation, falling object	29 July 2007, Ijmuiden port, Netherlands	Installation	The operator of a 60-metre high crane aboard the jack-up barge Sea Jack ran out of wire rope. The crane's huge steel boom crashed down onto the quayside. The incident happened at the supply port for the Q7 project (Fig. 7-2f)	Near accident	-	The delay due to the lack of a crane pushed the project closer to the storms of winter, when offshore work becomes difficult. 8	<i>Reference</i>
Loss of vessel	16 Sep 2007 Robin Rigg Offshore wind farm, Scotland	Installation	Thirty-eight wind farm workers were rescued from a jack-up barge, in the Solway Firth last night after it began to capsize. The spokesman said the legs of the jack-up barge appeared to have punctured the sea bed, causing them to bend and the vessel to list badly	Evacuated	-	-	<i>Reference</i>
Technical failure, gearboxes	September 2007		"Danish wind turbine manufacturer Vestas Wind Systems AS is developing a new offshore wind turbine model following recent gear box problems at several of its currently operating turbines, the Swedish magazine Ny Teknik said. Peter Wenzel Kruse said gear boxes are a problem for the entire wind power industry, because strains on the boxes increase as ever bigger windmills are built".	-	-	Gearbox failures	<i>Reference</i>



Hazards Involved	Time, place	Phase	Incident description	Consequence			Reference
				Personnel	Environment	Material	
Environmental Conditions (weather)	Robin Rig, UK. January 2009	Installation	Severe sea conditions made an installation vessel lose three anchor lines. All personnel were evacuated. There were 48 knot winds and sea swell of between 4 and 5 m (13 – 16 ft) in the area at the time.	Evacuation	-	-	<i>Reference</i>
Lifting operation, falling object	13 Nov 2009 Gabbard, UK	Installation Lifting	During construction of a wind farm, an accident occurred when a chain snapped and struck two workers on board the tugboat 'Typhoon'.	1 fatality 1 minor injury	-	-	<i>Reference</i>
Lifting operation, falling object	May 2010 Bard Offshore 1, Germany	Installation/ Transportation Lifting	A 90-metre foundation tube fell back onto the deck of an installation vessel while installing the sixth of 80 tri-pile foundations to be sunk into the seabed.	No human impact	-	Minor repairs on vessel	<i>Reference</i>
Lifting operation, falling object	21 May 2010	Transportation of goods	While loading cargo a cradle collapsed from a crane at a port in Harwich, Essex. A 45-ton crane turbine blade hit two workers.	1 fatality 1 serious injury	-	-	<i>Reference</i>

<sup>8</sup> Related to delay, the importance of good weather conditions for installations is noted: "The weather last autumn was worse than anyone – or any weather statistics – predicted," says Albert Winnemuller. "Much of the wind was from the north, which creates long waves that make it hard for even a big vessel to hold its position."  
Source: "HSE challenges related to offshore renewable energy", SINTEF Report, 2011.

Negli anni successive vanno ricordati i seguenti eventi

21.12.2012	Keppel Veroline yard	incidente mortale ad operaio durante la manutenzione del jack up Sea Jack
23.11.2012	Sheringham Shoal	5 operai feriti nell'urto di mezzo navale contro turbina
13.09.2012	Huaneng windfarm Xinjiang (China)	1 morto e 3 feriti per la caduta di una turbina imperfettamente incastrata al piede
22.04.2012	Bard Offshore 1	3 lavoratori deceduti durante i lavori di installazione
08.01.2012	Greater Gabbard	2 operai feriti, evacuate con elicottero della RAF
2011	Middelgrunden (DK)	incidente con fuoco in turbina
01.12.2011	Bergen	affondamento di modello a scala 1/6 di turbina su struttura flottante
14.11.2011	Greater Gabbard	lavoratore evacuato dal top di navicella con elicottero
15.08.2011	Skegness (GB)	operaio ferito su turbina da motoscafo
10.08.2011	Gwynt y Môr (GB)	interrotta una tubazione del servizio idrico civile
10.06.2011	Porto di Mostyn Walney II	sezione di torre abbattuta nel porto

Oltre ai documenti già più volte citati, anche la lettura di rapporti, come quelli emessi per la realizzazione dell'impianto di Egmond ann Zee (NL) danno ulteriori informazioni. Così la preoccupazione evidente per la sicurezza (HSE imposta dal gestore del progetto NZW) è evidente nei dati della Tab. 7.2.2.

Tab. 7.2.2. Imposizioni per la sicurezza

<b>Incident</b>	<b>Total</b>
Near misses*/safety reports	198
Medical treatment cases	7
Lost Workday cases	0
Partial or total disability cases	0
Fatalities	0
Lost Time Incidents (LTI)**	0

\* Near Miss – An unplanned event or sequence of events that does not have actual consequences but that could have unwanted and unintended effects on people's health and safety, on property, on the environment or on legal or regulatory compliance.

\*\* LTI – Lost Time Incidents include, Fatalities, Permanent Total / Partial Disabilities and Lost Workday Cases (but exclude Restricted Work Cases, Medical Treatment Cases and First Aid Cases)

L'alto numero della prima voce è dovuto al fatto che la società ha incoraggiato a registrare tutte le situazioni che sono sembrate essere poco sicure. La tabella successiva (Tab. 7.2.3) serve a dare un'informativa su sette casi d'intervento medico e sulle relative cause.

Tab. 7.2.3. Motivazioni per intervento medico

	INCIDENT	CAUSE
1	Individual fell down open spud hole on transport barge, and received a laceration to his right knee. Happened at night whilst turning off nav light on barge.	Lack of risk assessment. Lack of proper tools, e.g. flashlight.
2	Individual fell on deck and suffered 3 deep cuts to the back of the right hand.	Could not establish.
3	Individual stumbled backwards over a block and the wire he was pulling landed on top of his leg, causing a hematoma.	Poor housekeeping
4	Individual was torquing bolts inside the tower. The individuals right pinkie finger was caught between the tool and bolt, damaging finger tip.	Not paying attention?
5	During transport pontoon unmooring the right hand of the individual was caught between tug boat fender and stern navigation light holder on the pontoon. Bruised hand.	Poor equipment design.
6	Individual slipped whilst walking up the first stair, and fell back to the deck. To break the fall individual placed the left hand back which hit the deck first.	Did not hold hand rail.
7	The individual was positioning a pin into a shackle. The shackle moved slightly and the individual slammed the pin in and caught his right ring finger between the pin and the shackle. Safety glove did not prevent top of finger being damaged, which needed stitches.	Not aware of risks. Not paying attention.

Va osservato che tutti gli incidenti erano prevedibili e che nessuno di loro deriva dall'impiego di dispositivi o tecnologie innovative.

#### 7.2.2.2 Alcuni casi reali

Da comunicato (31 Dicembre 2002) del costruttore della *wind farm di Horns Rev*, completata durante l'anno 2002, si è appreso che la realizzazione non ha causato alcuna vittima e che si è dovuto lamentare un unico incidente con un ferito. Si sono avuti 6 casi di malfunzionamenti e ben 39 disfunzioni, che hanno portato a rallentamento nei lavori od a temporanea fermata degli stessi.

La nave "Kingfisher", mentre stava conducendo ricerche geologiche per il sito eolico offshore di *Borkum*, il 10 Agosto 2004 è stata sede di un incendio. Non si sono dovuti registrare danni alle persone (equipaggio e tecnici) a bordo.

L'incidente, che ha segnato l'installazione del secondo aerogeneratore Repower 5M sul sito a mare di *Murray Firth* (o progetto Beatrice, costa scozzese del Mar del Nord; Fig. 7-2h), ha lasciato una vittima menomata gravemente. Il 25 Agosto '06, per un urto tra mezzi navali -almeno così sembrerebbe di intuire dalle scarse notizie, che sono state desunte dalle cronache sulla stampa (edizioni del 28 Agosto e del 9 Settembre)- un lavoratore inglese di 40 anni ha subito gravi ferite ad entrambe gli arti inferiori. A seguito dell'accaduto ha subito l'amputazione di tutte e due le gambe.

Inoltre, si ebbe a lamentare -due settimane dopo e precisamente il giorno 11 Settembre- un urto contro una delle pale della prima macchina, destinata appunto al progetto Beatrice. La pala ha subito danni lievi, ma il trasporto della seconda unità ha dovuto essere posposto.

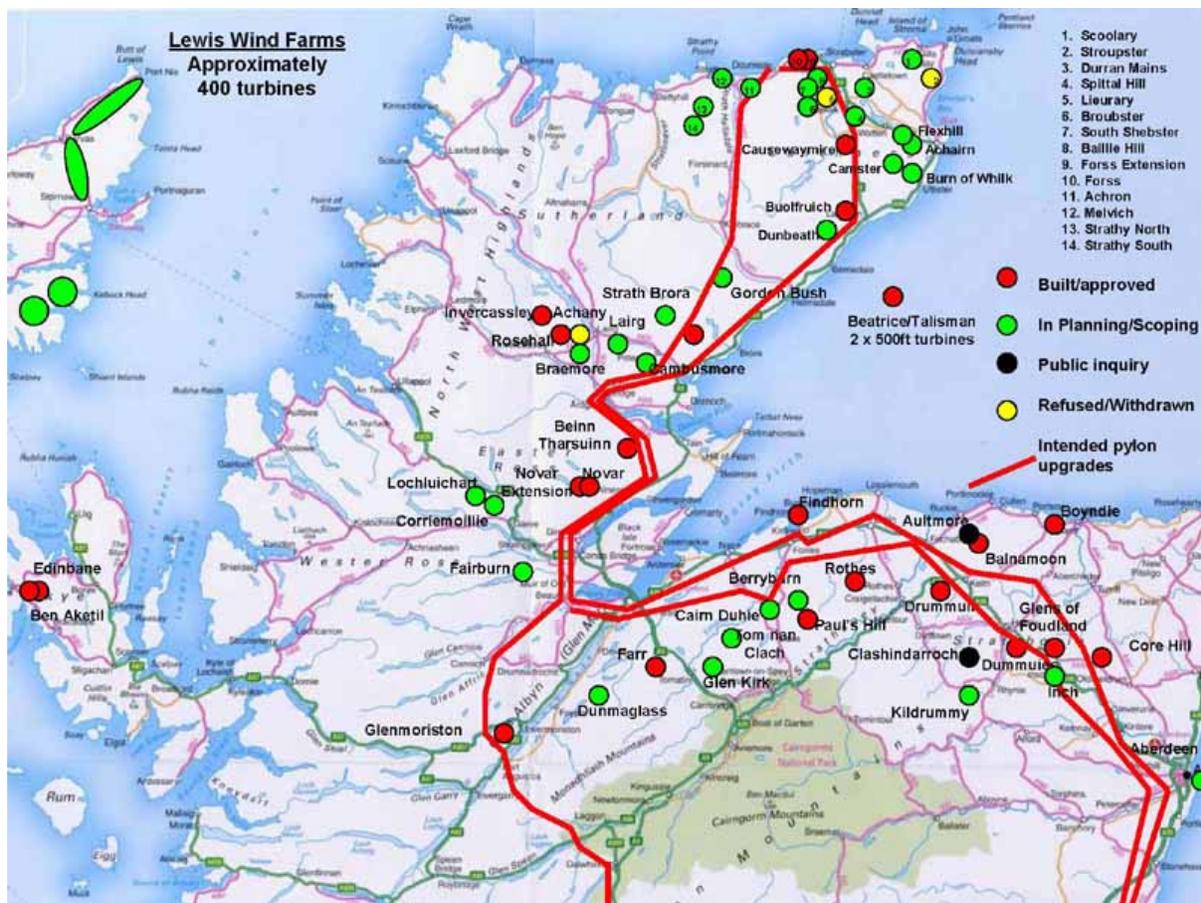


Fig. 7-2h. Campi eolici in terra/mare in Scozia

Un mezzo navale, che nei campi eolici a mare è sovente impiegato per la installazione od il montaggio degli aerogeneratori, è il jack-up. E' un natante autosollevantesi, dotato di alcune (solitamente quattro o più) gambe. Le aste, che negli spostamenti sono sollevate, al momento di lavorare vengono abbassate sino a

toccare il fondale. Il corpo galleggiante può essere alzato, restando completamente fuori acqua. In tal modo, è abbastanza insensibile alle condizioni del mare.

Il jack-up Lisa, spostato dal porto di domicilio (Rotterdam) alla *Robin Rig Wind Farm* a Solway Firth di Dumfries & Galloqay (Scozia) si è inclinato di 30°-35° nella notte tra il 14 ed il 15 Settembre 2007. Nella mattinata successiva l'intervento di due rimorchiatori, presenti nelle vicinanze, e di elicotteri hanno evacuato il personale. La causa è da attribuire ad uno sprofondamento di una delle gambe nel fondale.

Il 25 Settembre '07 il costruttore danese del tipo di generatore da 3 MW (Vestas V 90) ha accusato la necessità di intervenire sui moltiplicatori di giri, presenti sulle sue unità offshore, a causa di malfunzionamenti acuti e diffusi. Sembra che le condizioni di sforzo a regime, sviluppatesi su tali componenti, divengano eccessivi al crescere della potenza delle unità. Il numero delle unità, su cui è opportuno intervenire so più di trecento.

## 7.3 Incidenti durante l'esercizio normale e la manutenzione

### 7.3.1 Campi eolici a terra

Per un incidente di natura elettrica, probabilmente dovuto a corto circuito su fusibili, un operaio ha subito durante un intervento su macchina (Southwest Windpower) del sito di *Palm Springs* (California, USA) bruciature di II e III grado il primo Maggio 2000.

Il 15 Agosto 2003 in una macchina da 850 kW (Vestas V 52) del sito *Schwochel bei Ahresbök im Kreis Ostholstein* (Schleswig-Holstein, Germania) si è acceso un incendio nella navicella per rottura del sistema frenante. I tre uomini, che erano a bordo, sono riusciti ad uscire all'esterno, pur restando parzialmente intossicati dal fumo. Appena a terra la navicella è esplosa.

Mentre seguiva un'operazione di chiusura dell'interruttore di potenza della macchina da 330 kW (Howden, costruita nel 1985) nel sito californiano di *Tres Vaqueros Wind Farm a Byron presso il Passo Alamont* il 18 Settembre 2003 si è verificata un'esplosione. A seguito della deflagrazione e dell'incendio susseguente è stato ferito in modo molto serio un lavoratore. E' deceduto il giorno successivo per i postumi sopportati.

Il 14 settembre '04 nel sito di *Meyersdale Wind Energy Centre* -già salito alle cronache per gli effetti sui volatili, come si è esposto nel parag.3.7.2- vicino a Somerset (Pennsylvania) un addetto alla manutenzione di 46 anni (Andersen Sjolander) ha perso la vita per una fatalità. Dopo aver concluso il suo ciclo di operazioni (su Vestas da 1,6 MW), mentre si accingeva ad esser calato a terra dalla gru, il rotore si è messo a girare. Le pale hanno tranciato i cavi di sostegno del cestello (basket), in cui era trasportato l'uomo, facendolo precipitare a terra.

Sempre con incidenti, che sono provocati da cadute, un lavoratore è precipitato a terra dall'altezza di 63 m in una turbina eolica della *East Ridge Wind Farm, presso Chandler* (stato del Minnesota, USA) il giorno 11 Novembre '05, quando si è sviluppato un incendio dal generatore in navicella. Oltre al decesso per la causa citata, anche un altro operaio è rimasto ferito.

In una unità (Enercon E 66) del sito *Wittmund im Ostfriesland* presso Niedersachsen (Bassa Sassonia) un lavoratore 34ne è caduto a terra (il 16 Luglio 2004), rimanendo ucciso sul colpo.

Il 10 Gennaio '06 un addetto alla manutenzione si è recato nella navicella di un convertitore eolico da 900 kW (NM 52) del sito *Bording & Karup* (Dk) per rimettere in funzione l'argano interno. Ha collegato l'apparecchio con l'albero lento per ottenere il sollevamento voluto, ma il cavo, usato come trasmissione, l'ha ucciso.

Spesso gli incidenti sono comunicati in modo laconico, oltre che approssimativo dai mezzi di comunicazione di massa. Come già si è avuto motivo di ricordare, se non formano un evento da "strillare" con il dovuto risalto o se capitano in giorni, ricchi di altri eventi, la notizia perde la sua capacità di attrarre l'attenzione del grande pubblico. E' il caso della morte di un meccanico durante il suo giro di manutenzioni il 22 Ottobre 2006 nel sito di *Gemeinde Schlagen in Kreis Lippe* (Alto Reno/Westphalia).

Addirittura privo di segnalazioni sembra esser stata la caduta di una pala nel campo di Ally. Durante il programma di sostituzione di pale (avvenuto nel 2006) a sei unità delle 26, che compongono il sito, una pala dell'unità No.11 per una manovra errata è scivolata a terra, infilandosi profondamente nel terreno. Il recupero sembra che non sia stato completo [141].

Per contro, un fatto, che apparentemente non dovrebbe concorrere ad avere grande rilievo, è capace di imporsi. E' quanto è avvenuto al campo eolico di Pleyber-Christ. Le autorità hanno aperto un'inchiesta ed hanno ritirato la licenza al Concessionario in attesa di migliorie da introdurre nelle macchine, anche sotto la pressione dell'opinione pubblica locale allarmata da altri due incidenti accaduti in precedenza.

La fulminazione non evita neppure le apparecchiature elettriche e può creare danni sensibili, nonostante la loro messa a terra. Il caso ha voluto che cadesse su una stazione elettrica il 23 Novembre '07 a *Boimente* (Galizia, Spagna). Sfortuna volle che fosse anche il punto di raccolta di energia prodotta da un insieme di sottostazioni di ben 26 campi eolici. Il f.s per un certo numero di settimane ha imposto anche la mancata erogazione di energia elettrica per una capacità globale di ben 865 MW.

Un operaio trentatreenne ha subito ustioni il 17 Dicembre '08, mentre lavorava ad installazioni elettriche in una unità del campo eolico di *Dexter*. Secondo opinioni di esperti la turbina era carica elettricamente e per tale motivo il lavoratore ha avuto danni al braccio sinistro.

Un elettricista ha dovuto essere ospedalizzato per i postumi da azione di chiusura di un interruttore elettrico di potenza -forse anche per un suo cattivo funzionamento- il 25 Febbraio 2007 nella *Lake Bonney Wind Farm a Tantanoola* (Australia Sud-orientale). Trovandosi l'operaio alla base della turbina (Vestas), ha potuto essere tempestivamente soccorso ed ospedalizzato.

Una esplosione ha avuto luogo nella sottostazione elettrica della centrale eolica di *Maple Ridge Wind Power Project*, il giorno 4 Luglio '07. L'innescò potrebbe essersi localizzato nel trasformatore od in un serbatoio dell'olio.

Un'occasione di mortalità si è avuta a causa di una scarica ad alto voltaggio. Ha colpito una persona, che non era addetta ai lavori e che si era introdotta in una torre del campo eolico del *Passo di Altamont*. Maneggiando per inesperienza e/o per ignoranza dei pericoli possibili alcune apparecchiature elettriche, è stato investito (il 4 Luglio '07) da una scarica, che gli è stata fatale. Il cadavere è stato trovato, quando i gestori dell'impianto, resisi conto che l'unità erogava una energia insufficiente rispetto ai dati di potenza registrati, hanno deciso una ispezione in loco.

A fronteggiare la scarsa produzione, imposta dal funzionamento a ridotta potenza o dall'arresto dei convertitori eolici in attesa del compimento di miglioramenti o di sostituzioni di componenti ha indotto i proprietari di siti ad adire alla Corte per riconoscere i danni subiti. Sono state interessate a queste azioni giudiziarie i responsabili, sia del *sito di Rochester* (Southern Minnesota Municipal Power Agency, proprietaria di quattro unità Vestas), sia del *campo Lackawanna* (New York, USA) per unità da 2,5 MW (Liberty).

## 7.3.2 Campi eolici a mare

### 7.3.2.1 Rilevamento di incidenti

Si segue la stessa prassi, che è stata illustrata per la fase di realizzazione dei campi eolico a mare (parag. 7.2.2) anche per quanto sia stato riscontrato durante il funzionamento normale ed i conseguenti cicli manutentivi. Nella Tab. 7.3.2 sono stati raccolti i casi di malfunzionamento, che la banca-dati CWIF ha segnalato e registrato nel periodo fine 2007-fine 2012.



Fig. 7-3a. 7-5. Aerogeneratori del campo eolico di Scroby Sands

**Tab. 7.3.2. Selezione di incidenti in campi offshore in esercizio desunti dalla banca-dati CWIF sino all'anno 2010**

Hazards Involved	Time, place	Phase	Incident description	Consequence			Reference
				Personnel	Environment	Material	
Environmental Conditions (lightening)	30 April 2007 Scorby Sands, UK	Operation	A blade was destroyed due to a lightning strike	-	-	Blade destroyed	<i>Scorby Sands annual report 07</i>
Technical failure: transformer	June 2007, Nysted offshore wind farm, Denmark	Operation	Major transformer failure. The reason for the failure is not yet known, but a short circuit is probably to blame.	-	-	Several months of no production as the 140 ton transformer was brought ashore for repair	-
Lifting operation, falling object	2007, two incidents at Kentish Flats, UK		Lifting during the mounting of a ballast block there was a misunderstanding between the operator and signalman (no radio was in use). The block was dropped some five metres away from three Vestas engineers working on the gangway. Radios are now to be used for all lifting operations and no personnel are allowed on deck or near the working area when lifts are underway.  Another severe incident occurred during a gearbox change. Crane operations were being undertaken on the deck of the 'Sea Energy' when the boom outrigger cylinder hit and damaged a blade on the WTG.	Near accident	-	-	<i>Kentish Flats offshore wind farm – second Annual report</i>
Lifting operation, falling object	21 February 2008, Barrow, UK	Operation Lifting	When a technician was descending the ladder from the transition piece, the platform hatch dropped down and hit him on the head. The procedure is to be changed so that the hatch is left open when you	1 minor injury	-	-	<i>Barrow Annual Report 2007-8</i>

leave the transition piece.

Hazards Involved	Time, place	Phase	Incident description	Consequence			Reference
				Personnel	Environment	Material	
Structural failure, seabed	Reported April 2010, Horns Rev	Operation/ Maintenance	After examining 20 turbines at Horns Rev 1 and another five at Kentish Flats, Vattenfall concluded that it was necessary to repair the transition pieces connecting the towers to the monopile foundations sunk into the seabed. The same problem was experienced at a Dutch offshore wind farm in 2009.	-	-	Seabed foundation	<i>Reference</i>
	27 July 2010, Bard Offshore 1, Germany	Operation/ maintenance – diving	During work on the fundament of a transformer station, a diving accident happened at 40 m deep. The diver had trouble with the oxygen supply. It is now being investigated why the diver did not use his oxygen cylinder. According to Bard, the company he was diving for, there is no relation between the accident and the work he performed at the wind farm.	1 fatality	-	-	<i>Reference</i>
Environmental effect – internal: corrosion	Reported August 2010. 4 UK Offshore wind farms	Operation/ Maintenance	Siemens are repairing corroded turbine bearings offshore. Routine maintenance discovered that the "protection" (gaskets?) had failed for the hub bearings.	-	-	Corroded turbine bearings	<i>Reference</i>
Environmental effect – internal:	Reported August 2010. Scotland	Operation	Grout injected during the construction of offshore wind farms is breaking up, leading to concerns over their structural integrity. The problem arises with current offshore wind farm designs that use a monopile construction. Grout is injected into the gap between the T-piece and the monopile. The grout transfers axial loads from the T-piece to the monopile, and is critical to prevent movement of the T-piece either downwards or out of alignment	-	-	Structural failure	<i>Reference</i>

Hazards Involved	Time, place	Phase	Incident description	Consequence			Reference
				Personnel	Environment	Material	
Falling object	27 November 2010, Alpha Ventus, Germany	Emergency	A worker was working at a height of 15 metres when a fuse box fell onto him, leading to an occupational accident. Due to high waves (up to 3 metres) it was not possible to rescue him by boat. A naval helicopter rescued the man by dropping a wire from 50 metres, in what was characterised as “a spectacular manoeuvre”.	Minor injury	-	-	<i>Reference</i>

Source: “HSE challenges related to offshore renewable energy”, SINTEF Report, 2011.

Negli anni successive vanno ricordati i seguenti eventi

04.05.2012	Alpha Ventus	morto un sommozzatore durante lavori di manutenzione;
26.01.2012	Thanet	incidente ad un export cable con interruzione del carico elettrico;
22.10.2011	Kentish Flats	affondamento di una gamba di jack up.

### 7.3.2.2 *Alcuni casi reali*

Nell'impianto offshore di *Borkum* [110] sono state rilevate in galleggiamento sull'acqua del Mar del Nord 4 grossi frammenti di pala (21 m x 1,5 m). La notizia è stata diramata il 21 Dicembre 2003 da alcune stazioni radio. I corpi, che restavano sul pelo dell'acqua, potevano rendere problematica o pericolosa la navigazione, se non si fosse in qualche modo provveduto ad intervenire alla loro rimozione od, almeno, alla loro segnalazione e localizzazione.

Nel sito a mare di *Scroby Sands, Caister* (Norfolk, Inghilterra, campo composto da 30 turbine V80, cfr. la Fig. 7-3a) durante il programma di operazioni manutentive un grosso jack-up ha urtato con le alte gambe, che gli servono per aver il posizionamento sul fondale, la pala di una unità eolica da 2 MW (Vestas) il giorno 6 Ottobre '06. E' stata asportata la punta per la lunghezza di circa una ventina di centimetri.

Un accidente similare, seppur si sia svolto a terra, ha coinvolto la seconda turbina eolica del progetto *Beatrice* (Fig. 7-3d) a Nigg in Easter Ross (Highland, Scozia). Un malfunzionamento di una gru avrebbe compromesso la stabilità di una pala (11 Settembre 2006), impedendo la continuazione dei lavori di installazione.

La gestione dell'impianto di *Scroby Sands* (E.on) non è molto fortunata. Il 21 Gennaio '08 ha dovuto ridurre di un terzo la produzione, avendo constatato il f.s. di uno dei tre cavi, che portano l'energia generata a riva.

La stessa tipologia di malfunzionamento ha colpito quasi contemporaneamente anche il cavo sottomarino della centrale di *Blyth* (Northumberland, Inghilterra), che è di proprietà dello stesso gruppo di aziende (Fig. 7-3b).

L'incidente, che è descritto con precisione nei rapporti della soc. DTI [134], è stato provocato da una rottura, che si è riscontrata nella tratta collegante le due macchine (Dicembre 2000) del parco eolico a mare. La causa sembra da attribuirsi ad una carente sistemazione sul fondale, che è stata condotta in condizioni di cattiva visibilità nel mese di Ottobre dello stesso anno. Si riteneva di poter concludere i lavori a primavera, ma i movimenti e l'usura, cui il cavo fu assoggettato urtando contro l'imboccatura del J-tube, hanno portato alla completa tranciatura dello stesso.

Restando sul fondale un tratto di riserva di lunghezza sufficiente, si sono esperiti alcuni tentativi per ripristinare il collegamento con l'unità eolica. Si sono avvalsi del ricorso a sommozzatori per l'aggancio ed a rimorchiatori per il trascinamento del cavo.

Sfortunatamente, non si è raggiunto lo scopo, che è stato, invece, coronato da successo tre mesi dopo la rottura. Le difficoltà sono state acuite dalla natura rocciosa del fondale, che ha imposto una perforazione per ricavare la sede della fondazione e i fissaggi multipli per il cavo elettrico, onde assicurare un posizionamento certo ed inamovibile. Tali bloccaggi non erano stati predisposti attorno alla turbina, ove il cavo si è rotto.



*Fig. 7-3b. Le due turbine del campo eolico a mare di Blyth*

La lezione, che il gruppo di gestione (prevalentemente AMEC Energy Ltd) ha tratto e che ha voluto metter in chiaro, si concentra nelle seguenti considerazioni, che consigliano di

- ricorrere nell'installazione del cavo a procedimenti in grado di annullare l'opera dei sommozzatori o di ridurla al minimo;
- definire con precisione le manovre di posizionamento del cavo lungo il percorso all'intorno della struttura portante grazie ad una fattiva collaborazione tra il progettista della fondazione ed il responsabile della posa del cavo;
- determinare in anticipo le procedure ed i mezzi necessari per accudire ad eventuali strategie di riparazione.



*Fig. 7-3c. Interventi manutentivi sul rotore con personale operante ad elevate altezze rispetto alla base dell'unità eolica*

Nei due anni di esercizio, che vanno dall'inizio del funzionamento (Dicembre 2000) al 2003, si sono dovute prendere numerose azioni a supporto di autentiche revisioni progettuali con

- modifiche ai sistemi idraulici, al rotore, al generatore elettrico (modalità di montaggio, raffreddamento, etc.);
- sostituzione di componenti, specialmente elettrici (relé, etc.) e/o del controllo d'imbardata;

- aggiustamento di difese per il personale attorno ad alcune apparecchiature (interruttori, trasformatore, etc.);
- miglioramenti ai programmi per il controllo della macchina;
- cambio delle metodologie di lubrificazione, etc.

Si è dedicato apparentemente molto spazio -un po' più del necessario- a queste situazioni, che con il tempo dovrebbero essere state oramai assorbite dal Costruttore delle turbine (Vestas), essendo allora le prime uscite di quella taglia di macchine offshore, proprio per evidenziare punti di "crisi", tipici di innovazioni appena apportate.



*Fig. 7-3d. Presentazione della seconda turbina REpower 5M sulla fondazione a jacket del campo eolico di Moray Firth*

Una serie di disturbi e di guai sono stati accertati nel funzionamento del moltiplicatore di giri (in navicella Fig. 7-3c) in 12 unità da 3 MW (Vestas V90) del campo eolico a mare sulle *Kentish Flats al largo della Herne Bay* (Kent, Inghilterra) nel Gennaio '07, per cui alla fine del mese (precisamente il 29 di Gennaio) si decise di intervenire.

Si sono predisposte le riparazioni per quattro di esse, mentre per le altre delle 36 macchine, di cui è costituito il campo eolico, si è proceduto riducendo la potenza per evitare od allontanare il danno economico, derivante da fermata.

Anche nei trasporti per mare si sono dovuti lamentare guai. Una sezione di torre è stata perduta dalla nave *Lass Moon*, appartenente al registro germanico, durante il viaggio dalla Danimarca alla Scozia il 22 Ottobre 2006.

## 8 BIBLIOGRAFIA

Atkinson, P., "Securing the safety of offshore wind workers", *Renewable Energy Focus*. Vol. 11, No.3, pp. 34-36, 2010.

Barrow windfarm, "Construction Monitoring Report Full", 2009.

Caithness Windfarm Information Forum (CWIF), "Summary of Wind Turbine Accident data to 30th September 2012", 2012.

Durstewitz, M. et al., "External Conditions for Wind Turbine Operation - Results from the German '250 MW Wind' Programme", European Union Wind Energy Conference, Goeteborg, May 20-24, 1996.

Sharples, M., Sharples, B.J.M., "Damage and Critical Analysis of Accidents to Assist in Avoiding Accidents on Offshore Wind Farms on the OCS", Report prepared for Minerals Management Service, Department of the Interior, US. Project No. 633, Contract M09PC00015, 2010.

Deutsche WindGuard GmbH, "Case study: European Offshore Wind Farms – A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms", University of Groningen.

Eggen, A.O., Heggset, J., Gjerde, O., Valland, A., Nonas, L.M., "Deep sea offshore windturbine technology. Operation and maintenance – state-of-the-art study", SINTEF, Trondheim, 2008.

European Wind Energy Technology Platform - TPWind, "Strategic Research Agenda - Market Deployment Strategy from 2008 to 2030", 2008.

Fisker Jensen, J., "Jacket Foundations for Wind Turbines, IABSE", Ramboll, 2010.

Goulding, L., "Offshore Wind in Scotland, Session 2A Substructures & Foundations", Britannia House, Arnhall Business Park, Aberdeenshire, AB32 6UF, 2011.

HSE, "The health and safety risks and regulatory strategy related to energy developments. An expert report by the Health and Safety Executive contributing to the Government's Energy Review", 2006.

Knudsen Tveiten, C., Albrechtsen, E., Heggset, J., Hofmann, M., Jersin, E., Bernt Leira, Norddal, P.K., "HSE challenges related to offshore renewable energy. A study of HSE issues related to current and future offshore wind power concept", SINTEF Technology and Society, Trondheim, 2011.

International Electrotechnical Commission, "Wind Turbines, Part 3: Design Requirements for Offshore Wind Turbines", 2005.

Kentish Flats, "*Kentish Flats Offshore Wind Farm 2nd Annual Report*", 2007.

Nitschke, J., Kragelund, N., Thiede, J., Fusselbaugh, M., Johst, M., van de Velde, F., "*Engineering Insurance of Offshore Wind Turbines*", Paper presented at the 39th IMIA Annual Conference on 12 September 2006, Boston, 2006.

Salzmann, David Cerda, "*Amplemann – The development of an offshore access system*", Presentation at We@Sea Conference on 2.12.2009.

Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Ilsted Bech, N., "*Effects of the Nysted Offshore Wind Farm on harbour porpoises*", Annual status report for the T-POD monitoring program, Technical Report to Energi E2 A/S, 2005.

The Crown Estate, "*A guide to an offshore wind farm*", 2009.

Vattenfall, "*Horns Rev Offshore Wind Farm Annual Status Report for the Environmental Monitoring Programme 2005*", 2005.

Per maggiori ragguagli sulle realizzazioni offshore si consideri anche il Global Offshore Wind Farms Database, <http://www.4coffshore.com/offshorewind/> e sugli incidenti [www.iberica2000.org/Es/Articulo.asp?Id=3071](http://www.iberica2000.org/Es/Articulo.asp?Id=3071), [www.caithnesswindfarms.co.uk](http://www.caithnesswindfarms.co.uk), [www.bwea.com](http://www.bwea.com), [www.boemre.gov/tarprojects/633.htm](http://www.boemre.gov/tarprojects/633.htm)