

GENERAL REPORT

Status: (DKQ)	
------------------	--

Doc. No.:	GEN-R-01-00043	Rev:	R01
Title :	(603) Analisi della traiettoria in caso di distacco pala rotore S9X		

This revision was:	Name	Assignment	Department	Date
Made by	KGON	Structural Design Engineer	SD	16-05-2011
Checked by	SERG	Sales Support Engineer	PMT	16-05-2011
Checked by	FGOE	Aerodynamicist/Loads specialist	A&L	16-05-2011
Approved by	HBUL	HOD Structural Design	SD	16-05-2011

Revision history:			
Rev	Creation date	Name	Remarks
00	14-03-2011	KGON	Nuovo documento
01	16-05-2011	KGON	Effetto della resistenza aerodinamica incluso Tavola 1 aggiornata

Le differenze della revisione , di questo documento con le versioni precedenti, sono indicati come segue:

- Nuovi dati o modificati o frasi sono scritte *corsivo e sottolineato*.
- Oggetti eliminati sono stati ~~barriati~~.
- Per i dettagli reali di vecchie revisioni di questo documento, SAP c-cartelle deve essere consultata attraverso il dipartimento DKQ.

Introduzione:

Questo documento fornisce un calcolo della traiettoria di volo delle pale S95 e S97 in caso di guasto della pala. Ipotesi prudenti sono state utilizzate nel calcolo del tempo di volo e degli spostamenti.

Documenti citati: (I documenti a cui si fa riferimento in questo documento sono menzionati qui sotto):

- [1] 470-S-01-00001R02 DRAFT, Product Acceptance Criteria S9x rotor blade - Wind Class IIA, J.W.Kraay, 22-10-2009
- [2] Engineering Mechanics, Volume 2, Dynamics, 2nd edition, J.L.Meriam, L.G.Kraige, Wiley, 1987
- [3] SEG-DB-110-10-00967, Load calculation blades S95 2.1 MW DFIG_11A-18-01.06.05

GENERAL REPORT

CONTENUTO

1 INTRODUZIONE	2
2 S9X DATI TECNICI TURBINA.....	2
3 ASSUNZIONI E CASI DI GUASTO	2
4 DEFINIZIONI	3
5 ANALISI.....	5
6 CALCOLO E RISULTATI PER LA PALA S9X	13
6.1 Calcolo traiettoria pala S95 con o senza resistenza aerodinamica	13
6.2 Calcolo traiettoria pala S97 con o senza resistenza aerodinamica	14
7 CONCLUSIONI.....	15
APPENDICE A: RISULTATO CALCOLI	16

1 Introduzione

Questo documento fornisce un calcolo della traiettoria di volo delle pale S95 e S97 in caso di distacco della pala. E' stato utilizzato un modello analitico per i calcoli. Ipotesi prudenziali sono state considerate nel calcolo del tempo di volo e degli spostamenti.

2 Dati piattaforma turbine S9X turbine

Le dimensioni geometriche delle turbine S95 e S97 sono riportati nella tabella 1, inclusi i parametri di funzionamento caratteristici. Le differenze principali sono la velocità massima di rotazione, massa e la posizione del centro di gravità della singola pala.

Parameter		S95	S97
Rotor diameter	[m]	95	97
Hub height	[m]	100	100
Cut-in wind speed	[m/s]	4	3.5
Cut-out wind speed	[m/s]	20	20
Max. Rotating speed	[rpm]	21.0	21.3
Drive train (tilt) angle	[°]	5	5
Distance hub-tower axis	[m]	4.15	4.15
Blade c.g. (w.r.t. Main axis)	[m]	17.04	16.67
Blade mass	[kg]	7800	8170
Blade area	[m ²]	94	94

Tavola 1

3 Assunzioni e casi di guasto

1. Due scenari di guasto sono stati considerati:
Nel calcolo della traiettoria della pala, la pala è stata considerata come una particella di massa m . L'effetto della resistenza aerodinamica è stata trascurata e con la pala soggetta alla sola forza gravitazionale. Si assume che la pala si distacca durante il verificarsi della velocità massima di rotazione.
2. L'effetto della resistenza atmosferica è preso in considerazione sia nella direzione interna al piano che esterna al piano. E' stata considerata la massima velocità del vento media di $v_{max} = 20$ che si presume si verifichi contemporaneamente alla massima velocità del rotore ω_{max} . Una volta che la pala si stacca dal mozzo, è libera di ruotare. Quindi la massima area della pala è utilizzato per il calcolo della forza di trascinamento insieme al massimo coefficiente di resistenza per il profilo della pala.

In entrambi gli scenari, per la pala si prevede un'avaria all'altezza del collegamento con il mozzo. Queste ipotesi sono considerate molto prudenziali.

GENERAL REPORT

Nel secondo caso è stata considerata è una raffica estrema ($v_{max} = 20$ m/s di velocità con cui si verifica anche alla ω_{max}). Il secondo scenario di guasto analizzato può quindi essere considerato un caso realistico. Tuttavia, la connessione pala-radice è progettata secondo criteri di sicurezza e quindi la probabilità di questo tipo di problemi è molto bassa.

4 Definizioni

Le definizioni qui sotto sono state usate per il calcolo (vedi figure 1 e 2):

a	[m]	Distanza asse mozzo-torre
H	[m]	Altezza mozzo
R	[m]	Raggio della pala
x, y, z		Coordinate sistema globale
x_0, y_0, z_0		Posizione del centro di gravità (c.g.) nel momento del guasto pala
x_1, y_1, z_1		Coordinate sistema locale
α	[°]	Angolo di rotazione
β	[°]	Angolo (inclinazione) drive train
\vec{r}	[m]	Posizione vettore del c.g.
\vec{v}	[m/s]	Velocità vettore del c.g.
$\vec{\omega}$	[rad/s]	Max. velocità angolare vettore

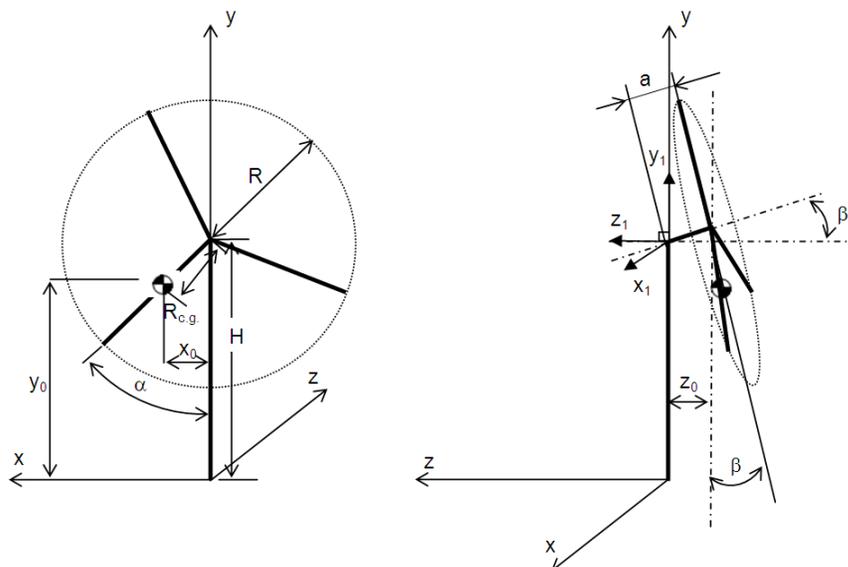


Figure 1: Definizione delle dimensioni e angoli

GENERAL REPORT

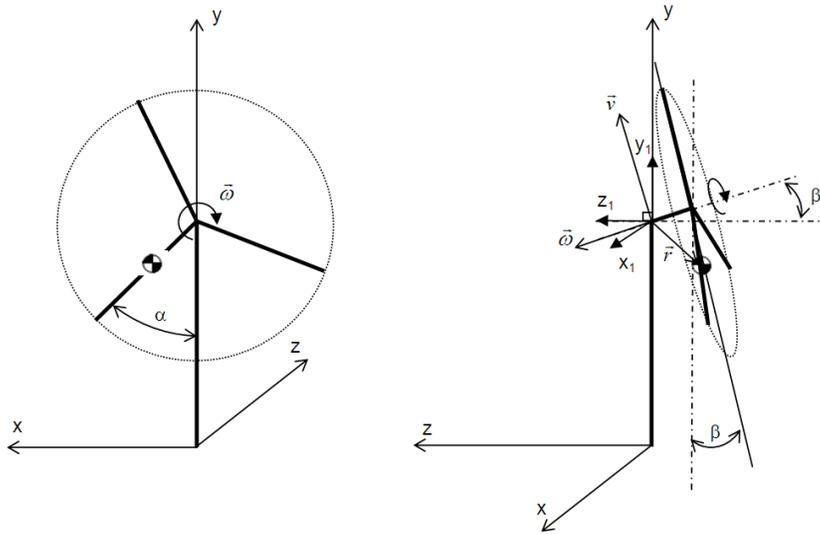


Figure 2: Definizione della velocità angolare, posizione e vettori di velocità

GENERAL REPORT

5 Analisi

Analisi S97

Fondamentalmente l'analisi coinvolge due fasi. Nella prima il vettore velocità a causa della velocità angolare costante è calcolato sulla posizione del c.g. Nella seconda, le relazioni cinematiche sono usate per il calcolo della traiettoria della pala sotto il carico gravitazionale. Qui di seguito la procedura di calcolo per un determinato angolo di rotazione.

Inizialmente si calcola la posizione del vettore r del c.g. rispetto le coord. $x_1y_1z_1$

Per la S97 sono stati utilizzati I seguenti dati:

Altezza mozzo

$$H_{hub} := 100 \text{ m}$$

Distanza radiale del c.g. rispetto l'asse del mozzo

$$R_{c.g} := 16.67 \text{ m}$$

Distanza asse torre-mozzo:

$$a := 4.15 \text{ m}$$

Angolo del c.g. nel momento del guasto:

$$\alpha := 140 \text{ deg} = 2.443 \text{ rad}$$

Angolo drive train:

$$\beta := 5 \text{ deg} = 0.087 \text{ rad}$$

Massa della pala:

$$M := 8170 \text{ kg}$$

Area pala:

$$A_b := 94 \text{ m}^2$$

Densità aria (a H = 80 and 100 m):

$$\rho := 1.148 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La posizione del vettore del c.g. è data da:

$$r_0 := R_{c.g} \cdot \sin(\alpha)$$

$$r_1 := a \cdot \sin(\beta) - R_{c.g} \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

$$r_2 := -a \cdot \cos(\beta) - R_{c.g} \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

$$r := \begin{pmatrix} r_0 \\ r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10.7 \\ 13.1 \\ -3 \end{pmatrix} \text{ m}$$

La velocità angolare del vettore rispetto il sistema di coordinate locale è calcolato usando la Massima velocità angolare che si verifica durante il fenomeno. Il senso di rotazione è positivo in direzione oraria.

Massima velocità angolare:

$$\omega_{max} := 21.3 \text{ rpm} = 2.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Velocità angolare vettore:

$$\omega_1 := 0$$

$$\omega_2 := -\omega_{max} \sin(\beta)$$

$$\omega_3 := \omega_{max} \cos(\beta)$$

$$\omega := \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -0.19 \\ 2.22 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocità del vettore c.g. è calcolata moltiplicando il vettore velocità angolare per la posizione del vettore.

$$v := \omega \times r = \begin{pmatrix} -28.48 \\ 23.81 \\ 2.08 \end{pmatrix} \frac{m}{s}$$

Adesso le velocità sono note nel sistema di riferimento locale x_1, y_1, z_1 . Essendo le pale considerate come particelle soggette all'unica forza di gravità, le relazioni cinematiche possono essere usate Per calcolare il tempo di volo e la distanza raggiunta.

Calcolo tempo di volo

Il gusto pala è considerato esser soggetto alla accelerazione costante della forza di gravità Che agisce sul c.g. della pala. Qui non si tiene conto della resistenza aerodinamica che è Una assunzione conservativa per il calcolo della traiettoria..

Il tempo di volo può essere calcolato considerando la traiettoria verticale del c.g. della pala rispetto il Il sistema globale di riferimento xyz. Sono utilizzati i seguenti dati:.

Altezza iniziale del c.g. nel momento del guasto: $y_0 := H_{hub} + r_1 = 113.1m$

Altezza finale del c.g. $y(t_f) := 0m$

Velocità iniziale verticale c.g. nel momento del guasto: $v_{y0} := v_1 = 23.8 \frac{m}{s}$

Accelerazione verticale del c.g.: $a_{c.g.} := -g = -9.81 \frac{m}{s^2}$

Risolviendo il tempo di volo nell'equazione che governa la traiettoria verticale :

$$y1(t) := y_0 + v_{y0} \cdot t + a_{c.g.} \cdot \frac{t^2}{2}$$

La quale ha due radici:

$$t_1 := \frac{-v_{y0} + \sqrt{v_{y0}^2 - 4 \cdot \frac{a_{c.g.}}{2} \cdot y_0}}{2 \cdot \frac{a_{c.g.}}{2}} = -2.95s$$

$$t_2 := \frac{-v_{y0} - \sqrt{v_{y0}^2 - 4 \cdot \frac{a_{c.g.}}{2} \cdot y_0}}{2 \cdot \frac{a_{c.g.}}{2}} = 7.81s$$

Tempo di volo: $t_f := \max(t_1, t_2) = 7.809s$

Il valore positivo delle due radici è fisicamente significativo e sarà utilizzato nel calcolo della distanza di volo quando la pala cade a terra. La massima altezza è raggiunta quando $dy/dt = 0$:

Tempo a y_{max} : $t_{y.max} := \frac{v_{y0}}{g} = 2.428s$

Massima altezza traiettoria: $y(t_{y.max}) = 0$

GENERAL REPORT

Calcolo dello spostamento della pala

Lo spostamento nel sistema di rif. globale (x e z) si calcola usando la corrispondente velocità dei componenti e il tempo di volo calcolato prima. Le coordinate iniziali e la velocità del c.g. della pala vengono determinate per prime.

Coordinata x del c.g. della pala durante i guasto: $x_0 := r_0 = 10.7\text{m}$

Coordinata y del c.g. della pala durante i guasto: $z_0 := r_2 = -3\text{m}$

Tempo di volo: $t_2 = 7.8\text{s}$

Velocità iniziale c.g. nella direzione x: $v_{x0} := v_0 = -28.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Velocità iniziale c.g. nella direzione z: $v_{z0} := v_2 = 2.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Spostamento pala nella direzione globale x: $x(t_2) := x_0 + v_{x0}t_2 \quad x(t_2) = -211.7\text{m}$

Spostamento pala nella direzione globale z: $z(t_2) := z_0 + v_{z0}t_2 \quad z(t_2) = 13.2\text{m}$

Spostamento totale pala: $d := \sqrt{(x(t_2))^2 + (z(t_2))^2} = 212\text{m}$

Traiettoria della pala includendo l'effetto della resistenza aerodinamica

Equazione di moto

Per analizzare l'effetto della resistenza aerodinamica sulla traiettoria sono state fatte le seguenti assunzioni:

- La pala guasta è orientata perpendicolarmente al piano di volo.
- Nessun componente ascensionale agisce sulla pala.
- La massima resistenza è considerata solo nella direzione x,z e la forza gravitazionale agisce sul centro di gravità della pala.
- Si assume una velocità del vento in funzione dell'altezza. Nel calcolo si utilizza la massima velocità media all'altezza del mozzo.

Le equazioni di moto nel sistema di riferimento globale x,y,z, sono date da:

$$\Sigma F_x = ma_x = -D_x$$

$$\Sigma F_y = ma_y = -mg$$

$$\Sigma F_z = ma_z = -D_z$$

Dove la forza di resistenza aerodinamica D per una sezione di pala di area A è data da:

$$D = c_d \cdot \frac{\rho V^2 A}{2}$$

GENERAL REPORT

La velocità della componente $V(t)$ nel piano dipende dall'angolo della traiettoria. La velocità del componente fuori dal piano dipende dall'altezza e perciò varia in funzione del tempo. Nel calcolo si assume essere costante con l'altezza.

La pala dopo il guasto viaggia con una velocità iniziale costante V_0 e sarà rallentata dalla resistenza Aerodinamica opposta alla direzione del vento. Integrando i componenti dell'accelerazione, si ottiene la velocità e lo spostamento dei componenti. L'angolo della traiettoria di volo è definito come:

$$\theta = \text{atan} \left(\frac{v_y(t)}{v_x(t)} \right)$$

La velocità dei componenti nelle tre direzioni sono pari a :

$$v_x(t) = \left(v_{x0}^{-1} + c \right) t^{-1}$$

$$v_y(t) = v_{y0} + a_{c.g.} \cdot t$$

$$v_z(t) = \left(v_{z0}^{-1} + c \right) t^{-1}$$

Alla fine, gli spostamenti nelle tre direzioni sono :

$$x(t) = x_0 - \frac{\ln \left(\frac{v_x}{v_{x0}} \right)}{c}$$

$$y(t) = y_0 + v_{y0} \cdot t + a_{c.g.} \cdot \frac{t^2}{2}$$

$$z(t) = z_0 - \frac{\ln \left(\frac{v_z}{v_{z0}} \right)}{c}$$

Le equazioni per v_x, v_z, x e z sono valide se $v_{x0}, v_{z0} > 0$, oppure il segno delle equazioni è Opposto in accordo con la definizione del sistema di coordinate.

GENERAL REPORT

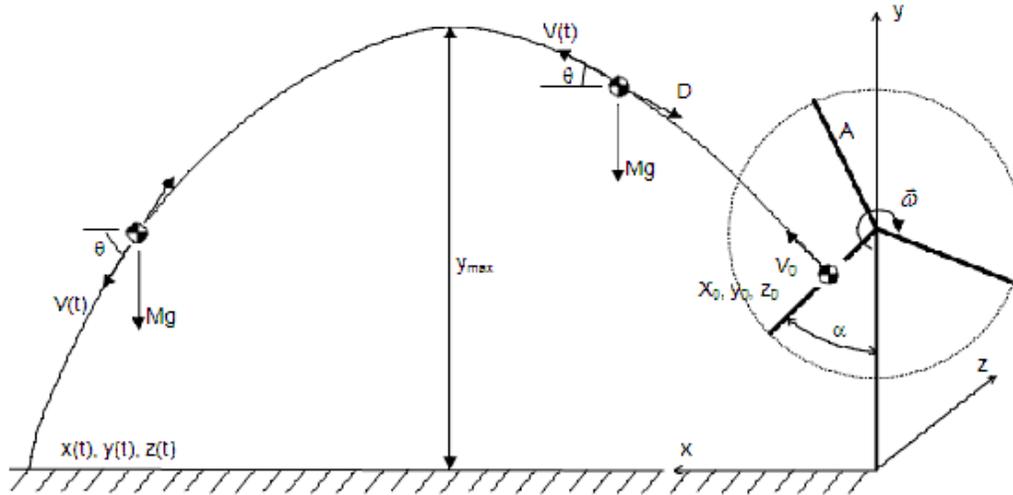


Figura 3: Traiettoria nel piano e carichi che agiscono sul centro di gravità con massa m ed area A .

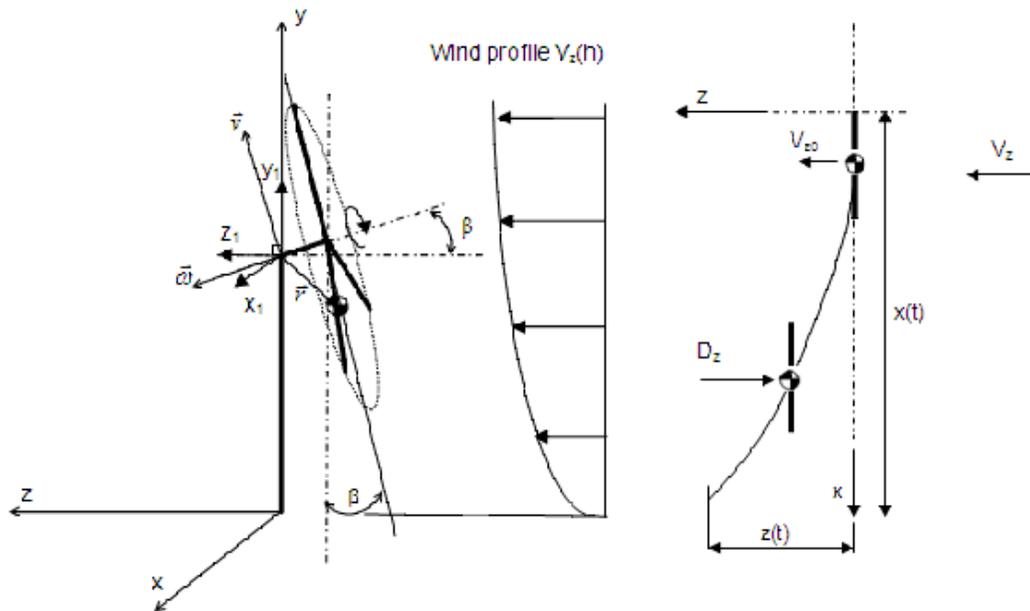


Figure 4: Distribuzione del profilo del vento e traiettoria fuori dal piano.

GENERAL REPORT

Calcolo profilo del vento

La direzione del vento è diretta lungo l'asse z globale e le corrispondenti velocità variano con l'altezza in accordo a $V_z(h)$ basata sulle misure del vento alla altezza di riferimento. In questo caso Le misure sono realizzate a 30 m. La scala di rugosità del sito è tipicamente di un sito eolico è pari a 0.1 m.

La velocità media ad altezza mozzo è calcolata come segue:

Altezza di riferimento: $h_{ref} := 30m$

Altezza mozzo: $H_{hub} = 100m$

Rugosità sito eolico : $zr_0 := 0.1m$

Massima velocità all'altezza di riferimento: $V_{ref} := 20 \frac{m}{s}$

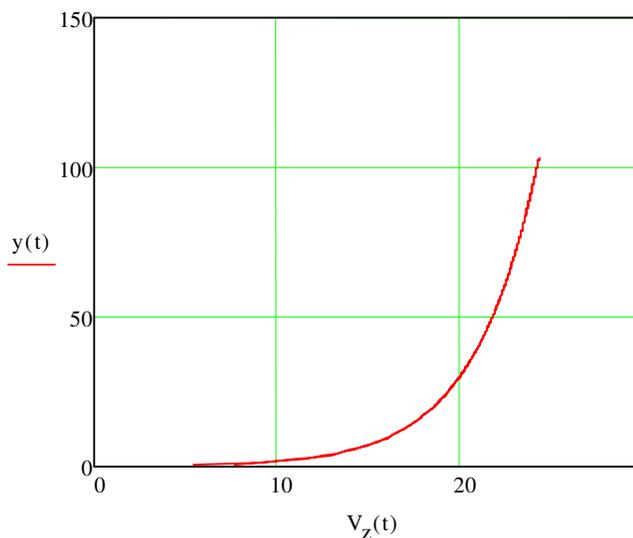
Velocità all'altezza del mozzo:

$$V_{z.hub} := V_{ref} \cdot \frac{\left(\ln \left(\frac{H_{hub}}{zr_0} \right) \right)}{\left(\ln \left(\frac{h_{ref}}{zr_0} \right) \right)} = 24.2 \frac{m}{s}$$

Il corrispondente profilo del vento è calcolato con :

Traiettoria verticale della pala: $y(t) := y_0 + v_{y0} \cdot t + a_{c.g.} \cdot \frac{t^2}{2}$

Profilo del vento per la traiettoria della pala: $V_z(t) := V_{ref} \cdot \frac{\left(\ln \left(\frac{y(t)}{zr_0} \right) \right)}{\left(\ln \left(\frac{h_{ref}}{zr_0} \right) \right)}$



GENERAL REPORT

Calcolo della velocità dei componenti

La velocità dei componenti nelle tre direzioni è calcolato :

Coeff. Resistenza nella direzione x: $c_{d,x} := 1.92$

Coeff. Resistenza nella direzione z: $c_{d,z} := 1.92$

Costante di proporzionalità della forza di resistenza: $c1 := c_{d,x} \cdot \frac{\rho \cdot A_b}{2 \cdot M} = 0.0127 \frac{1}{m}$

Componente velocità orizzontale a $y = 0$:

$$v_x(t_f) := \begin{cases} \left(v_{x0}^{-1} + c1 \cdot t_f \right)^{-1} & \text{if } v_{x0} > 0 \\ \left(v_{x0}^{-1} - c1 \cdot t_f \right)^{-1} & \text{oppure} \end{cases}$$

$$v_x(t_f) = -7.5 \frac{m}{s}$$

Componente velocità verticale a $y = 0$: $v_y(t_f) := v_{y0} + a_{c.g.} \cdot t_f$

$$v_y(t_f) = -52.8 \frac{m}{s}$$

Velocità risultante in direzione z $v_{z.res} := V_{z.hub} + v_{z0} = 26.3 \frac{m}{s}$

Componente velocità fuori dal piano $y=0$: $v_z(t_f) := \left[\left(v_{z.res} \right)^{-1} + c1 \cdot t_f \right]^{-1}$

$$v_z(t_f) = 7.3 \frac{m}{s}$$

GENERAL REPORT

Calcolo dello spostamento

Concludendo, lo spostamento finale è calcolato usando le precedenti componenti di velocità .

Spostamento orizzontale a $y=0$:

$$x_d(t_f) := \begin{cases} x_0 - \frac{\ln\left(\frac{v_x(t_f)}{v_{x0}}\right)}{c1} & \text{if } v_{x0} > 0 \\ x_0 + \frac{\ln\left(\frac{v_x(t_f)}{v_{x0}}\right)}{c1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x_d(t_f) = -95 \text{ m}$$

Spostamento verticale a $y = 0$:

$$y_d(t_f) := y_0 + v_{y0} \cdot t_f + a_{c.g.} \cdot \frac{t_f^2}{2}$$

$$y_d(t_f) = -5.68 \times 10^{-14} \text{ m}$$

Spostamento fuori dal piano a $y=0$:

$$z_d(t_f) := z_0 - \frac{\ln\left(\frac{v_z(t_f)}{v_{z.res}}\right)}{c1}$$

$$z_d(t_f) = 98.1 \text{ m}$$

Totale spostamento finale:

$$d_{total} := \sqrt{x_d(t_f)^2 + z_d(t_f)^2} = 137 \text{ m}$$

GENERAL REPORT

6 Risultati calcolo per le pale S9x

I risultati dei calcoli sono forniti a seguire nella Appendice A.

6.1 Calcolo traiettoria pala S95 con o senza resistenza aerodinamica

I risultati dei calcoli per i componenti di spostamento del c.g. della pala S95 in funzione dell'angolo α è riportato in Figure 3. A causa dell'angolo del drive train lo spostamento è periodico con una rotazione di 360°. Per $\alpha = 40^\circ$ e $\alpha = 150^\circ$ il massimo spostamento della pala risulta essere circa 220 m dalla torre.

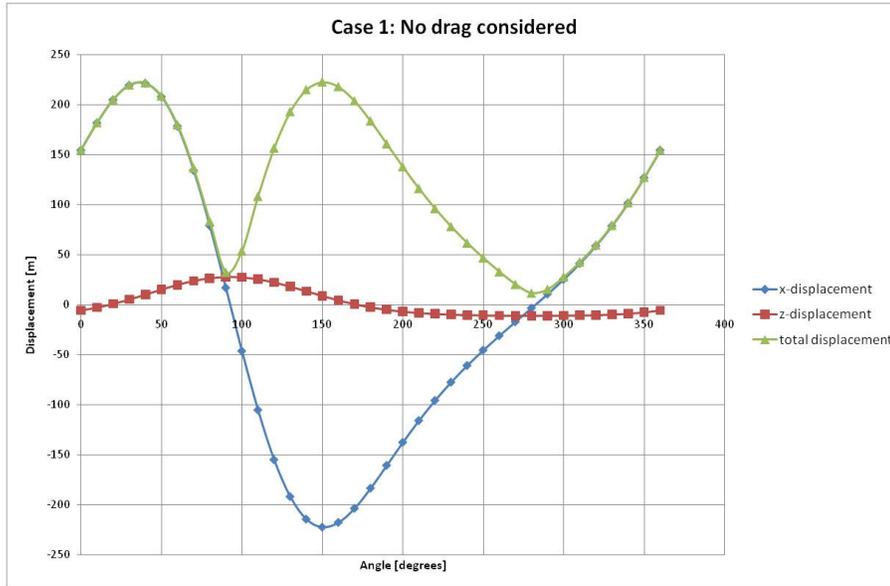


Figure 3: Caso 1 spostamento dei componenti del c.g. della pala S95

I risultati del calcolo dello spostamento dei componenti della pala S95 per il Caso 2 come funzione di α sono riportati nella Figura 4. Come si può vedere, gli spostamenti lungo l'asse x sono inferiori e gli spostamenti lungo l'asse z sono aumentati rispetto i risultati del caso 1. Questo è dovuto a causa dell'effetto di decelerazione nella direzione x e l'effetto spinta nella direzione z. Il massimo spostamento si trova per $\alpha = 50^\circ$ a 164 m dalla torre.

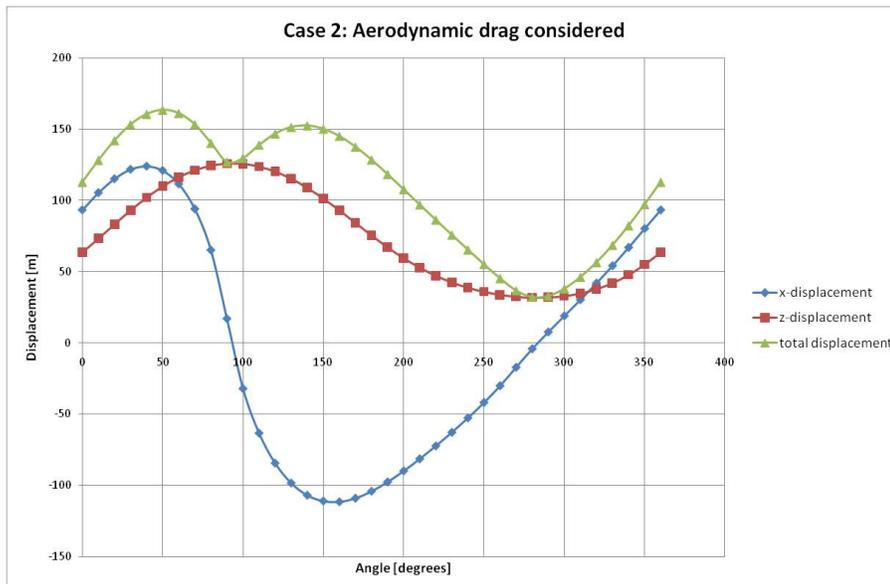


Figure 4: Case 2 spostamento dei componenti del c.g. della pala S95

GENERAL REPORT

6.2 Calcolo traiettoria pala S97 con o senza resistenza aerodinamica

I risultati dei calcoli per i componenti di spostamento del c.g. della pala S97 in funzione dell'angolo α è riportato in Figure 3. A causa dell'angolo del drive train lo spostamento è periodico con una rotazione di 360° . Per $\alpha = 40^\circ$ e $\alpha = 150^\circ$ il massimo spostamento della pala risulta essere circa 220 m dalla torre.

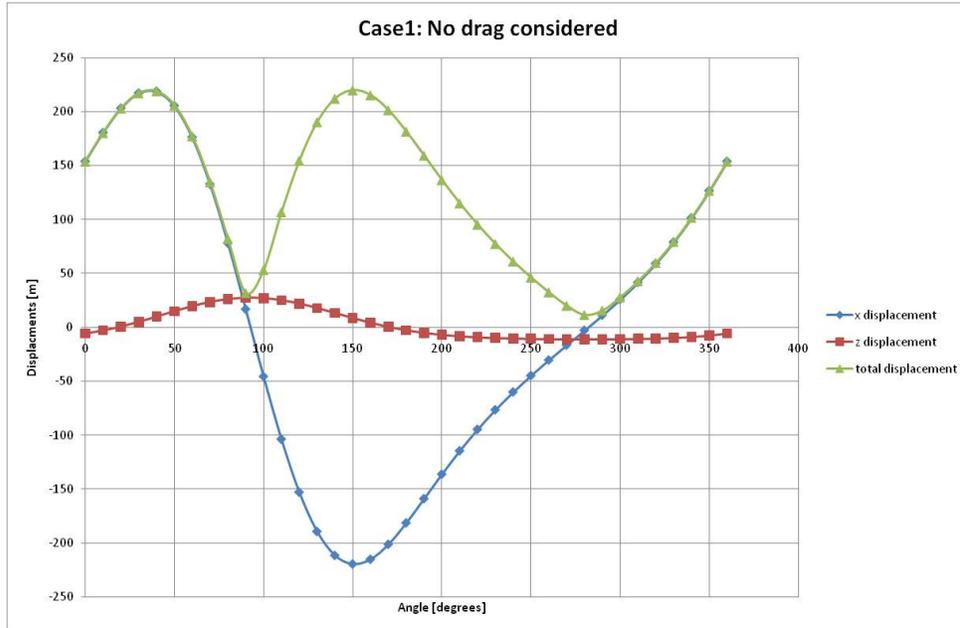


Figure 5: Caso 1 spostamento dei componenti del c.g. della pala S97

I risultati del calcolo dello spostamento dei componenti della pala S97 per il Caso 2 come funzione di α sono riportati nella Figura 6. Come si può vedere, gli spostamenti lungo l'asse x sono inferiori e gli spostamenti lungo l'asse z sono aumentati rispetto i risultati del caso 1. Questo è dovuto a causa dell'effetto di decelerazione nella direzione x e l'effetto spinta nella direzione z. Il massimo spostamento si trova per $\alpha = 50^\circ$ a 148 m dalla torre.

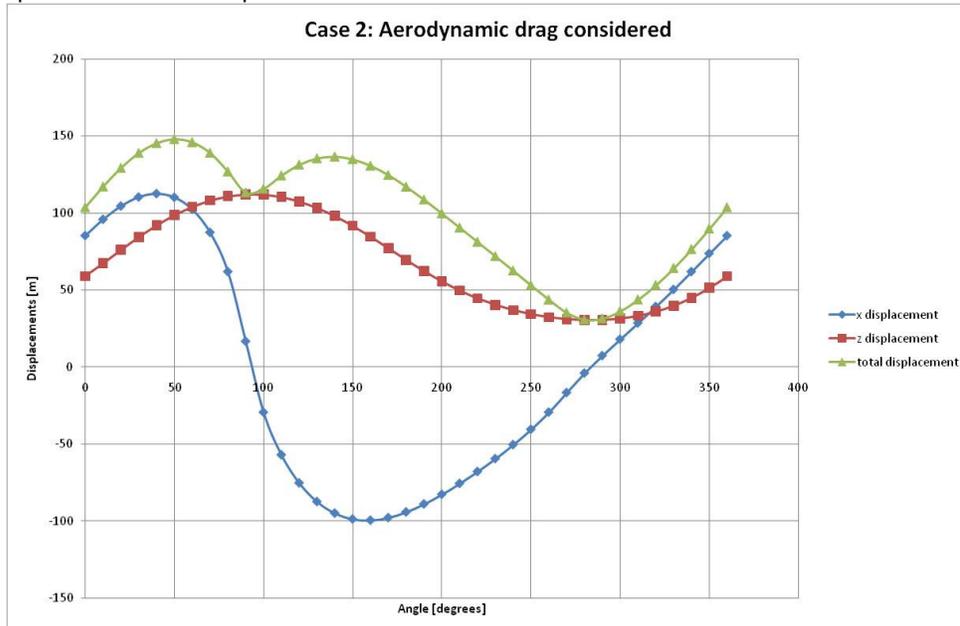


Figure 6: Case 2 spostamento dei componenti della pala S97

GENERAL REPORT

7 Conclusioni

Le traiettorie delle pale S97 e S95 sono state analizzate per due casistiche. La prima analisi è basata sull'assunzione conservativa che la resistenza aerodinamica è nulla e considerando la pala come una particella. La seconda include l'effetto di resistenza aerodinamica.

I risultati delle distanze massime per i due casi di guasto sono presentati e riassunti di seguito. I valori d'ingresso sono relativi alla Tavola 1.

		α [°]	Spostamento x [m]	Spostamento z [m]	Spostamento Totale [m]
S95	Caso 1	40	221.2	10.11	221.5
		150	-222.2	8.759	222.3
	Caso 2	50	121	109.9	163.5
		140	-106.8	108.8	152.5
S97	Caso1	40	218.7	10.0	219.0
		150	-219.7	8.6	219.9
	Caso 2	50	110.2	98.7	148
		140	-94.99	98.1	136.6

Caso 1 = Non considerata resistenza aerodinamica

Caso 2 = Considerata resistenza aerodinamica

Anche il risultato del caso 2 può ritenersi conservativo, perché nell'analisi è stata utilizzata una velocità. In realtà la velocità varia ed è zero all'altezza del suolo. E' lecito aspettarsi che la traiettoria fuori del piano sia inferiore alla distanza stimata di 100 m. In aggiunta, i massimi coefficienti di resistenza sia nel piano che fuori sono relativi alla massima area della pala. Questo è stato fatto perché la pala è libera di ruotare durante il volo.

GENERAL REPORT

Appendice A: Risultato dei calcoli

S95 calculation results

R.c.g. 17.04 m
 a 4.15 m
 5 degrees
 v_max 20 m/s
 _max 21 [rpm]
 H_hub 100 m
 M 7800 kg

	Initial velocity			t f	Case 1: No drag considered			Case2: Drag considered			
	v_x0	v_y0	v_z0		x(t f)	z(t f)	d	x_d(t f)	z_d(t f)	d_total	c_d,max
°	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]
0	37.47	0	0	4.124	154.5	-5.619	154.6	93.33	63.58	112.9	1.45
10	36.9	6.482	0.5671	4.844	181.7	-2.85	181.7	105.4	73.21	128.3	1.45
20	35.21	12.77	1.117	5.651	204.8	0.782	204.8	115.2	83.24	142.1	1.45
30	32.45	18.67	1.633	6.496	219.3	5.187	219.4	121.8	93.03	153.3	1.45
40	28.71	24	2.099	7.326	221.2	10.11	221.5	124	102	160.6	1.45
50	24.09	28.6	2.502	8.088	207.9	15.15	208.4	121	109.9	163.5	1.45
60	18.74	32.33	2.828	8.738	178.5	19.84	179.6	111.6	116.3	161.2	1.45
70	12.82	35.08	3.069	9.241	134.4	23.72	136.5	94.07	121.1	153.3	1.45
80	6.507	36.76	3.216	9.573	79.07	26.4	83.36	65.17	124.3	140.3	1.45
90	2.33E-15	37.33	3.266	9.719	17.04	27.61	32.44	17.04	125.8	126.9	1.45
100	-6.507	36.76	3.216	9.675	-46.18	27.24	53.61	-32.02	125.6	129.6	1.45
110	-12.82	35.08	3.069	9.446	-105.1	25.36	108.1	-63.24	123.7	138.9	1.45
120	-18.74	32.33	2.828	9.047	-154.8	22.2	156.3	-84.28	120.2	146.8	1.45
130	-24.09	28.6	2.502	8.501	-191.7	18.09	192.6	-98.25	115.2	151.4	1.45
140	-28.71	24	2.099	7.842	-214.2	13.47	214.6	-106.8	108.8	152.5	1.45
150	-32.45	18.67	1.633	7.108	-222.2	8.759	222.3	-110.9	101.3	150.2	1.45
160	-35.21	12.77	1.117	6.343	-217.5	4.347	217.6	-111.4	92.99	145.1	1.45
170	-36.9	6.482	0.5671	5.592	-203.4	0.4998	203.4	-108.9	84.21	137.6	1.45
180	-37.47	4.57E-15	4.00E-16	4.892	-183.3	-2.649	183.3	-104	75.43	128.5	1.45
190	-36.9	-6.482	-0.5671	4.27	-160.5	-5.093	160.6	-97.47	67.08	118.3	1.45
200	-35.21	-12.77	-1.117	3.74	-137.5	-6.916	137.7	-89.76	59.49	107.7	1.45
210	-32.45	-18.67	-1.633	3.301	-115.7	-8.239	116	-81.28	52.83	96.94	1.45
220	-28.71	-24	-2.099	2.948	-95.59	-9.186	96.03	-72.23	47.18	86.27	1.45
230	-24.09	-28.6	-2.502	2.669	-77.35	-9.858	77.98	-62.67	42.52	75.74	1.45
240	-18.74	-32.33	-2.828	2.454	-60.73	-10.33	61.6	-52.56	38.78	65.32	1.45
250	-12.82	-35.08	-3.069	2.292	-45.39	-10.66	46.62	-41.76	35.88	55.06	1.45
260	-6.507	-36.76	-3.216	2.178	-30.95	-10.88	32.81	-30.03	33.77	45.19	1.45
270	-6.77E-15	-37.33	-3.266	2.106	-17.04	-11.01	20.29	-17.04	32.4	36.61	1.45
280	6.507	-36.76	-3.216	2.075	-3.277	-11.07	11.54	-4.116	31.77	32.04	1.45
290	12.82	-35.08	-3.069	2.087	10.73	-11.05	15.4	7.681	31.9	32.81	1.45
300	18.74	-32.33	-2.828	2.144	25.42	-10.94	27.68	19	32.86	37.96	1.45
310	24.09	-28.6	-2.502	2.256	41.28	-10.73	42.65	30.31	34.76	46.12	1.45
320	28.71	-24	-2.099	2.432	58.86	-10.38	59.77	41.96	37.75	56.45	1.45
330	32.45	-18.67	-1.633	2.689	78.76	-9.812	79.36	54.17	42.02	68.56	1.45
340	35.21	-12.77	-1.117	3.047	101.5	-8.933	101.8	67	47.73	82.26	1.45
350	36.9	-6.482	-0.5671	3.522	127	-7.594	127.2	80.24	54.96	97.25	1.45
360	37.47	-9.14E-15	-8.00E-16	4.124	154.5	-5.619	154.6	93.33	63.58	112.9	1.45

GENERAL REPORT

S97 calculation results

R.c.g. 16.67 m
 a 4.15 m
 5 degrees
 v_max 20 m/s
 _max 21.3 [rpm]
 H_hub 100 m
 M 8170 kg

°	Initial velocity			t f	Case 1: No drag considered			Case2: Drag considered			
	v_x0 [m/s]	v_y0 [m/s]	v_z0 [m/s]		x(t f) [m]	z(t f) [m]	d [m]	x_d(t f) [m]	z_d(t f) [m]	d_total [m]	c_d,max [-]
0	37.18	0	0	4.133	153.7	-5.587	153.8	85.28	59.04	103.7	1.92
10	36.62	6.432	0.5627	4.847	180.4	-2.838	180.4	95.86	67.42	117.2	1.92
20	34.94	12.67	1.108	5.646	203	0.758	203	104.5	76.07	129.3	1.92
30	32.2	18.52	1.62	6.482	217.1	5.111	217.1	110.4	84.45	139	1.92
40	28.48	23.81	2.083	7.303	218.7	9.966	219	112.6	92.09	145.4	1.92
50	23.9	28.38	2.483	8.057	205.3	14.93	205.9	110.2	98.71	148	1.92
60	18.59	32.08	2.807	8.7	176.2	19.56	177.3	102.4	104.1	146	1.92
70	12.72	34.81	3.045	9.198	132.6	23.38	134.7	87.4	108.2	139.1	1.92
80	6.457	36.48	3.191	9.526	77.93	26.02	82.15	61.89	110.9	127	1.92
90	2.11E-15	37.04	3.241	9.671	16.67	27.21	31.91	16.67	112.1	113.4	1.92
100	-6.457	36.48	3.191	9.627	-45.74	26.84	53.04	-29.42	112	115.8	1.92
110	-12.72	34.81	3.045	9.4	-103.9	24.99	106.8	-57.09	110.5	124.4	1.92
120	-18.59	32.08	2.807	9.004	-153	21.86	154.5	-75.36	107.6	131.4	1.92
130	-23.9	28.38	2.483	8.463	-189.5	17.81	190.3	-87.47	103.4	135.5	1.92
140	-28.48	23.81	2.083	7.809	-211.7	13.25	212.1	-94.99	98.1	136.6	1.92
150	-32.2	18.52	1.62	7.082	-219.7	8.599	219.9	-98.83	91.77	134.9	1.92
160	-34.94	12.67	1.108	6.324	-215.3	4.24	215.3	-99.62	84.69	130.7	1.92
170	-36.62	6.432	0.5627	5.579	-201.4	0.436	201.4	-97.91	77.17	124.7	1.92
180	-37.18	4.54E-15	3.97E-16	4.884	-181.6	-2.681	181.6	-94.22	69.58	117.1	1.92
190	-36.62	-6.432	-0.5627	4.267	-159.1	-5.105	159.2	-89.04	62.3	108.7	1.92
200	-34.94	-12.67	-1.108	3.74	-136.4	-6.914	136.6	-82.77	55.6	99.71	1.92
210	-32.2	-18.52	-1.62	3.304	-114.7	-8.23	115	-75.69	49.67	90.54	1.92
220	-28.48	-23.81	-2.083	2.953	-94.84	-9.173	95.28	-67.97	44.6	81.29	1.92
230	-23.9	-28.38	-2.483	2.676	-76.72	-9.843	77.35	-59.6	40.37	71.99	1.92
240	-18.59	-32.08	-2.807	2.461	-60.2	-10.32	61.07	-50.52	36.96	62.6	1.92
250	-12.72	-34.81	-3.045	2.301	-44.92	-10.64	46.17	-40.55	34.3	53.11	1.92
260	-6.457	-36.48	-3.191	2.187	-30.54	-10.86	32.41	-29.41	32.35	43.72	1.92
270	-7E-15	-37.04	-3.241	2.116	-16.67	-10.99	19.97	-16.67	31.09	35.28	1.92
280	6.457	-36.48	-3.191	2.087	-2.943	-11.05	11.43	-3.977	30.51	30.76	1.92
290	12.72	-34.81	-3.045	2.099	11.03	-11.02	15.6	7.33	30.63	31.49	1.92
300	18.59	-32.08	-2.807	2.158	25.68	-10.92	27.91	18	31.51	36.29	1.92
310	23.9	-28.38	-2.483	2.27	41.49	-10.7	42.85	28.52	33.26	43.81	1.92
320	28.48	-23.81	-2.083	2.447	59	-10.35	59.9	39.23	36	53.24	1.92
330	32.2	-18.52	-1.62	2.705	78.77	-9.776	79.38	50.35	39.87	64.22	1.92
340	34.94	-12.67	-1.108	3.062	101.3	-8.893	101.7	61.9	45.01	76.53	1.92
350	36.62	-6.432	-0.5627	3.535	126.5	-7.554	126.8	73.7	51.45	89.88	1.92
360	37.18	-9.1E-15	-7.9E-16	4.133	153.7	-5.587	153.8	85.28	59.04	103.7	1.92