

REGIONE CAMPANIA
Provincia di Avellino
COMUNI DI Lacedonia (AV) – Monteverde (AV)

PROGETTO

**PROGETTO DI REBLADING DEL
PARCO EOLICO LACEDONIA-MONTEVERDE (39,60 MW)**



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

ERG Wind 4



PROGETTISTA:



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



OGGETTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE DI VERIFICA DEI CARICHI MASSIMI

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	02/2019	/	1 di 10	A4	LCD	ENG	REL	0020	00

NOME FILE: LCD-ENG-REL-0020_00_Relazione di verifica dei carichi massimi.doc

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	PROGETTO DI REBLADING PARCO EOLICO LACEDONIA-MONTEVERDE RELAZIONE DI VERIFICA DEI CARICHI MASSIMI	2
LCD	ENG	REL	0020	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	02/2019	PRIMA EMISSIONE	SPE	LSP	VBR

Analisi della riduzione dei carichi per il rotore V47

Introduzione

Scopo del presente documento è quello di confrontare i carichi stimati per il rotore originale V47 con quelli del rotore con pala ETA4X e mostrare come, in quest'ultimo caso, i carichi complessivi sulla macchina risultano inferiori.

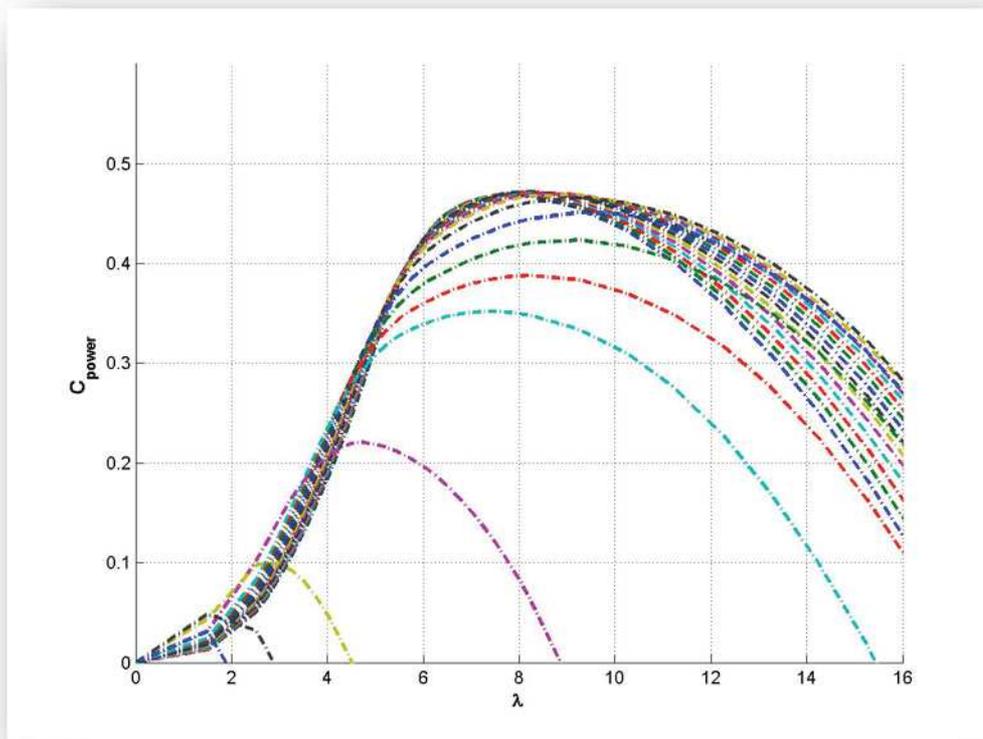
Stima dei carichi della pala originale

La pala originale del rotore V47 è stata studiata sia dal punto di vista aerodinamico che strutturale con l'obiettivo di stimare i carichi massimi gravanti sulla stessa e quindi definire i limiti di impiego per la pala ETA4X.

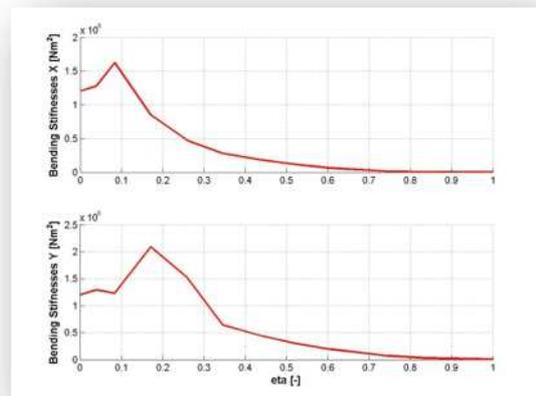
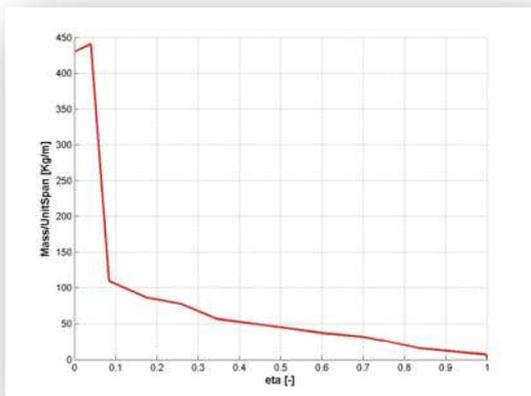
Il rotore V47, dotato di pala da 22.9m di lunghezza ha un diametro di 47m. La tabella seguente mostra le caratteristiche aerodinamiche della pala.

Distanza dalla radice [m]	Corda [m]	Svergolamento [deg]	Spessore [% corda]	Profilo aerodinamico
0,00	0,99	13,53	100,73	RA_cyl
0,66	0,94	13,53	99,68	RA_cyl
1,51	1,22	18,21	67,85	
2,92	1,76	18,87	38,27	RA2
3,92	2,10	15,98	28,06	RA4
5,12	1,98	12,53	25,60	RA5
7,02	1,79	9,16	23,34	
8,52	1,65	7,23	22,29	
10,02	1,51	6,25	21,64	
13,03	1,22	4,36	20,01	
14,75	1,06	3,20	18,66	
16,04	0,94	2,41	17,75	RA8
17,03	0,85	1,85	16,84	
18,01	0,75	1,36	15,97	RA9
18,90	0,66	1,15	15,54	
19,52	0,60	1,04	15,43	RA10
20,40	0,52	0,64	15,50	RA11
21,36	0,43	0,05	15,70	RA13
21,87	0,38	0,00	15,89	RA15
22,32	0,34	0,05	16,15	RA17
22,90	0,03	0,17	16,63	RA23

La figura che segue riporta le caratteristiche aerodinamiche di questa pala, in termini di coefficiente di potenza in funzione del Tip Speed Ratio (TSR).



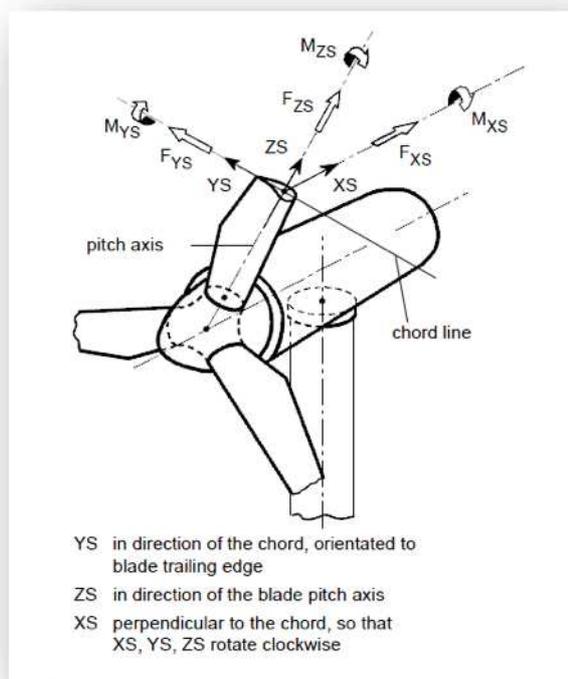
Le figure seguenti mostrano infine le principali caratteristiche strutturali stimate per la pala V47.



I carichi massimi stimati sulla pala nelle diverse condizioni operative sono riassunti nella seguente tabella. Questi carichi tengono conto delle diverse condizioni operative della macchina quali produzione di potenza per diversi regimi di vento, raffiche, possibili scenari di guasti, vento di tempesta, ecc. .

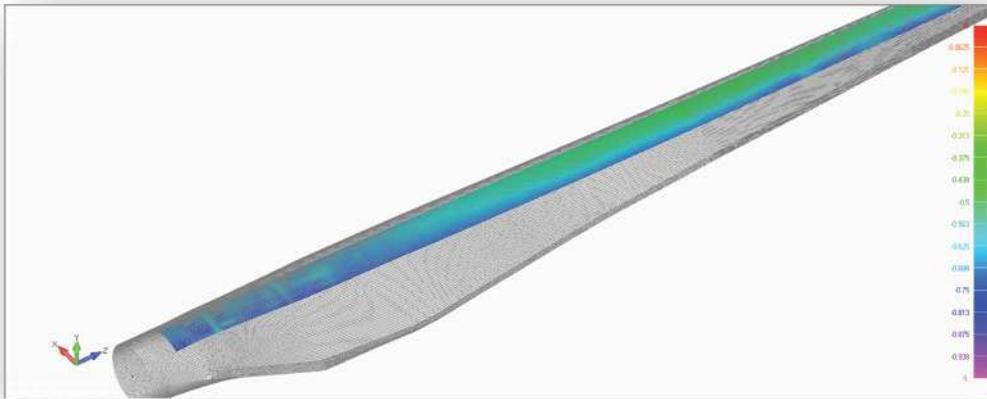
Envelope @ Station 1 - Eta = 0 - SAFETY FACTORS ALREADY APPLIED.										R = 0 [m]				
	Fx	Fy	Fxy	Fz	Mx	My	Mxy	Mz		Blade Nb	DLC	Time	Safety Fac	
	N	N	N	N	Nm	Nm	Nm	Nm				sec	-	
Loads @ max Fx	110377	21608	112473	-6585	-251911	970531	1002691	-44203		Blade 2	DLC62_ID_T_YMdeg-120	129,3	1,1	
Loads @ min Fx	-104052	-26546	107385	11158	296633	-959784	1004578	47605		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg120	131,1	1,1	
Loads @ max Fy	57994	55983	80607	311854	-437948	589368	734270	1231		Blade 1	DLC16_vn+2a	42,3	1,35	
Loads @ min Fy	-15317	-62281	64137	181538	621319	-356072	716118	2899		Blade 3	DLC16_vn+2a	44,7	1,35	
Loads @ max Fxy	110377	21608	112473	-6585	-251911	970531	1002691	-44203		Blade 2	DLC62_ID_T_YMdeg-120	129,3	1,1	
Loads @ max Fz	29083	14595	32540	383116	3003	-350	3023	-8151		Blade 1	DLC16_vn+2a	43,15	1,35	
Loads @ min Fz	54917	9186	55680	-65360	-155314	620441	639585	-26079		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-120	124,9	1,1	
Loads @ max Mx	-14042	-61987	63558	185110	621226	-352312	714175	2783		Blade 3	DLC16_vn+2a	44,65	1,35	
Loads @ min Mx	37056	49709	62002	197231	-447205	472087	650276	4761		Blade 2	DLC15_vn+2e	39,75	1,35	
Loads @ max My	94902	-8610	95292	-35767	10675	1052914	1052968	-13996		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-30	593,2	1,1	
Loads @ min My	-104052	-26546	107385	11158	296633	-959784	1004578	47605		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg120	131,1	1,1	
Loads @ max Mxy	94902	-8610	95292	-35767	10675	1052914	1052968	-13996		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-30	593,2	1,1	
Loads @ max Mz	-102442	-22766	104941	7081	277933	-958681	998156	54209		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-120	177,4	1,1	
Loads @ min Mz	106223	19151	107935	-11805	-231148	934048	962224	-44583		Blade 2	DLC62_ID_T_YMdeg-120	129,2	1,1	

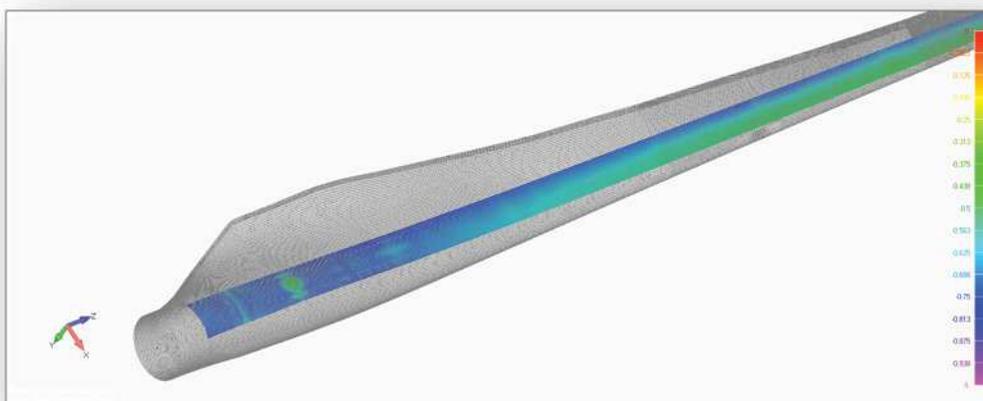
Tali carichi sono espressi in un sistema di riferimento corda locale secondo quanto richiesto comunemente per la certificazione della macchina stessa. Questo sistema di riferimento è stato ruotato in modo tale da coincidere con quello alla radice della pala ETA4X (descritta nel paragrafo successivo) e illustrato nella figura successiva. In questo modo i carichi delle due pale sono direttamente confrontabili.



Stima dei carichi della pala ETA4x

La pala ETA4x viene realizzata utilizzando fibra di vetro per la superficie esterna e le anime. Viene invece utilizzata fibra di carbonio per lo spar cap interno. Questa soluzione costruttiva moderna (mostrata nelle figure successive) permette, a parità di carichi supportati e massima deflessione della pala, un contenimento del peso della pala stessa.

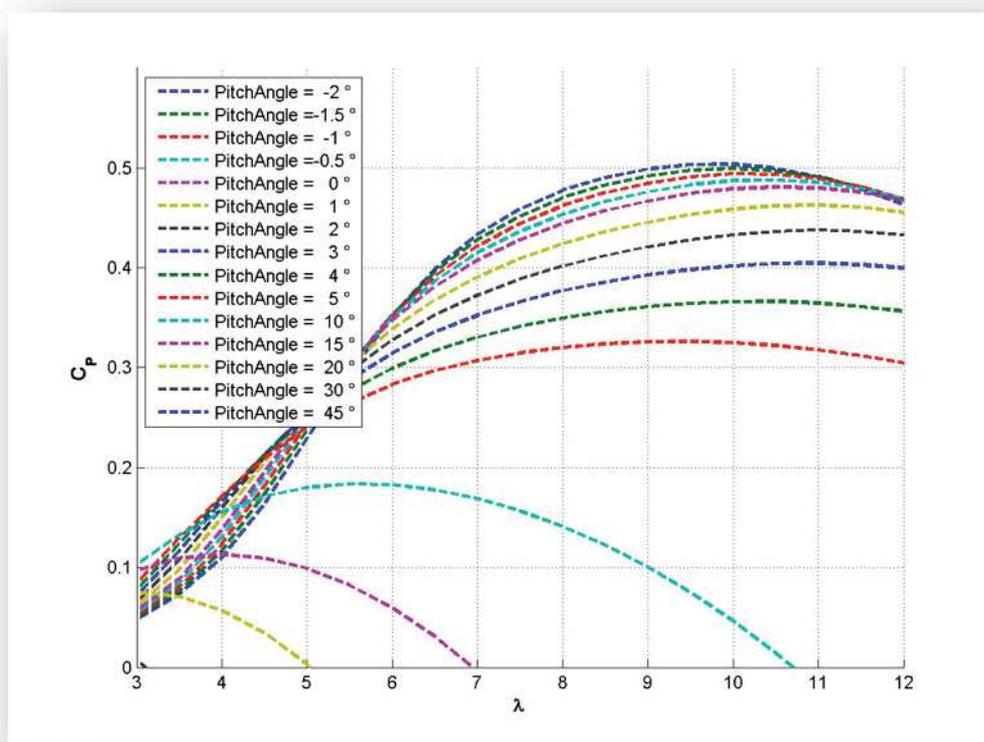




La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche della pala ETA4x.

Distanza dalla radice [m]	Corda [m]	Svergolamento [deg]	Spessore [% corda]
0,00	0,98	21,00	100,00
1,10	1,30	20,89	69,20
2,20	1,84	19,44	40,83
3,05	1,84	17,02	34,41
4,09	1,78	13,88	28,60
5,35	1,55	10,69	26,39
6,75	1,32	8,31	24,48
7,33	1,24	7,49	23,83
8,21	1,16	6,47	22,68
9,79	1,01	5,10	21,14
10,46	0,95	4,65	21,14
11,55	0,86	3,98	21,14
12,38	0,80	3,51	21,14
13,04	0,75	3,18	20,50
14,30	0,68	2,67	20,07
15,39	0,63	2,28	19,18
16,74	0,56	1,81	18,72
17,77	0,52	1,52	18,00
18,80	0,48	1,13	18,00
19,72	0,44	0,79	18,00
20,84	0,40	0,42	18,00
21,79	0,38	0,25	18,00
22,83	0,35	0,19	18,00
23,48	0,28	0,15	18,00
23,90	0,17	0,15	18,00

Nella figura successiva sono riportate invece le curve di prestazioni aerodinamiche del rotore (coefficiente di potenza rispetto al TSR).



La tabella successiva mostra infine i carichi massimi valutati per la pala ETA4X nelle diverse condizioni operative. Ancora una volta questi carichi tengono conto delle diverse condizioni operative della macchina quali produzione di potenza per diversi regimi di vento, raffiche, possibili scenari di guasti, vento di tempesta, ecc. I valori sono sempre valutati nel sistema di riferimento corda locale coerente con quanto mostrato al paragrafo precedente per la pala V47.

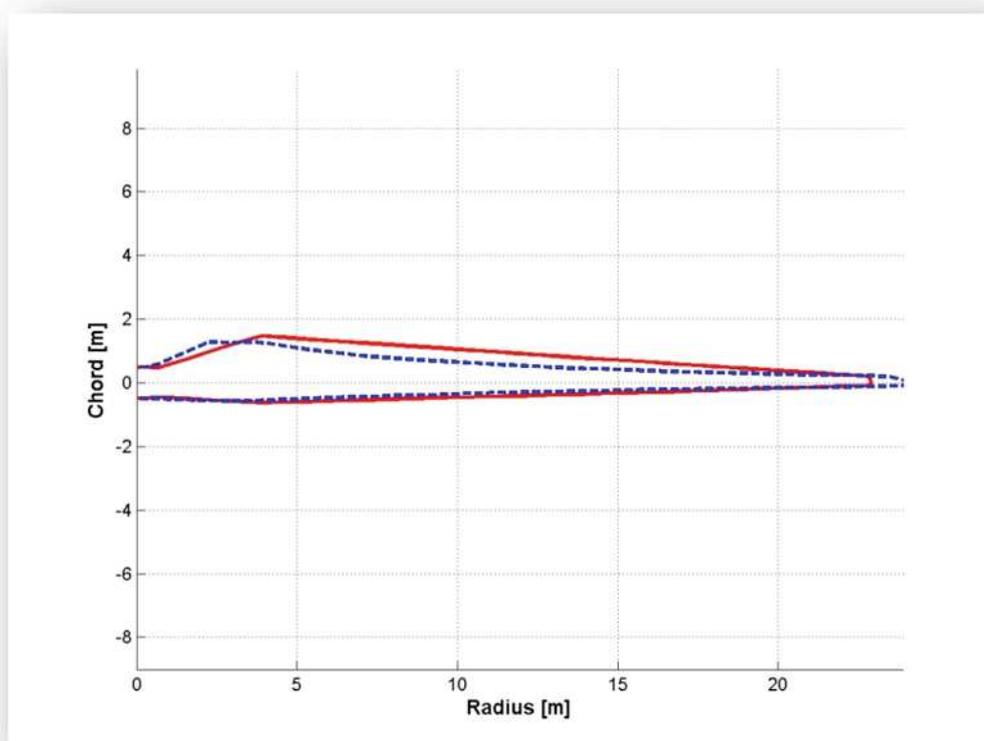
Envelope @ Station 1 - Eta = 0 - SAFETY FACTORS ALREADY APPLIED.									R = 0 [m]				
	Fx	Fy	Fxy	Fz	Mx	My	Mxy	Mz		Blade Nb	DLC	Time	Safety Fac
	N	N	N	N	Nm	Nm	Nm	Nm		-	-	sec	-
Loads @ max Fx	86786	17183	88470	32102	-167917	687079	707300	-18987		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-90	79,00	1,1
Loads @ min Fx	-80859	-14670	82179	-3705	175598	-626409	650556	14576		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg60	79,20	1,1
Loads @ max Fy	34075	43397	55176	188064	-396736	451603	601120	5577		Blade 2	DLC15_vne	40,20	1,35
Loads @ min Fy	-9394	-42304	43334	171705	406931	-181788	445690	1804		Blade 3	DLC15_vnb	43,50	1,35
Loads @ max Fxy	86786	17183	88470	32102	-167917	687079	707300	-18987		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-90	79,00	1,1
Loads @ max Fz	22493	5087	23061	283355	24226	14214	28088	-3845		Blade 1	DLC15_vnf	41,80	1,35
Loads @ min Fz	51904	6280	52283	-41061	-86668	482895	490611	-20053		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg-120	117,80	1,1
Loads @ max Mx	-12261	-41442	43218	213012	445151	-255064	513047	1714		Blade 1	DLC15_vnb	43,10	1,35
Loads @ min Mx	35102	43154	55627	192717	-402444	441428	597344	5560		Blade 2	DLC15_vnc	40,10	1,35
Loads @ max My	76806	5304	76989	143556	-129638	846958	260469	-1800		Blade 1	DLC16_vna	42,30	1,35
Loads @ min My	-74695	-19832	77283	-8000	236563	-648250	690066	28598		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg120	79,00	1,1
Loads @ max Mxy	76806	5304	76989	143556	-129638	846958	856822	-1800		Blade 1	DLC16_vna	42,30	1,35
Loads @ max Mz	-74695	-19832	77283	-8000	236563	-648250	690066	28598		Blade 1	DLC62_ID_T_YMdeg120	79,00	1,1
Loads @ min Mz	62320	12679	63597	14813	-132552	493839	511319	-27677		Blade 2	DLC62_ID_T_YMdeg150	87,80	1,1

Confronto

La tabella successiva mostra un confronto tra la pala originale V47 e la ETA4x.

	V47	ETA4x	Variazione
Lunghezza [m]	22.90	23.90	+4.18%
Massima corda [m]	2.10	1.84	-12.38%
Superficie in pianta [m ²]	28.10	22.26	-20.78%
Peso [kg]	1390	1437	+3.23%

Come si può notare la pala ET4X, più lunga di 1 metro, presenta quasi lo stesso peso a fronte di una riduzione sensibile della superficie in pianta. Questa sensibile riduzione è mostrata anche nella figura successiva (in rosso la pala V47, in blu tratteggiato la pala ETA4x).



Infine si riporta una tabella con il confronto percentuale dei carichi massimi alla radice della pala. Il segno negativo significa una riduzione dei carichi della ETA4x rispetto alla V47.

Envelope @ Station 1 - Eta = 0 - SAFETY FACTORS ALREADY APPLIED.									R = 0 [m]
	Fx	Fy	Fxy	Fz	Mx	My	Mxy	Mz	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
Loads @ max Fx	-27%								
Loads @ min Fx	-29%								
Loads @ max Fy		-29%							
Loads @ min Fy		-47%							
Loads @ max Fxy			-27%						
Loads @ max Fz				-35%					
Loads @ min Fz				-59%					
Loads @ max Mx					-40%				
Loads @ min Mx					-11%				
Loads @ max My						-24%			
Loads @ min My						-48%			
Loads @ max Mxy							-23%		
Loads @ max Mz								-90%	
Loads @ min Mz								-61%	

Come si può notare, la pala ETA4x presenta una riduzione notevole su tutte quante le componenti del carico. Questo confronto è fatto considerando tutte le possibili condizioni operative della macchina, quali produzione di potenza per diversi valori di vento (dalla cut-in alla cut-out), raffiche deterministiche, possibili guasti, macchina in parcheggio con venti di tempesta.

Conclusioni

La pala ETA4X è stata progettata con l'obiettivo di migliorare la produzione annua della V47 a parità di carichi sulla struttura della turbina (navicella, torre, fondazioni).

I carichi alla radice della pala mostrati nei paragrafi precedenti e calcolati in tutte le condizioni operative della macchina stessa mostrano come le forze e i momenti generati dalla pala ETA4x e scaricati sul mozzo siano inferiori in tutte le direzioni a quelli stimati per la pala originale.

Questo risultato è reso possibile grazie alla maggiore efficienza dei profili aerodinamici unitamente all'uso della fibra di carbonio nel rinforzo. Queste soluzioni tecnologiche hanno permesso di allungare la pala di un metro, riducendo al contempo la superficie in pianta della pala stessa (-21%) e permettendo una riduzione dei carichi in radice pala rispetto a quelli originali.