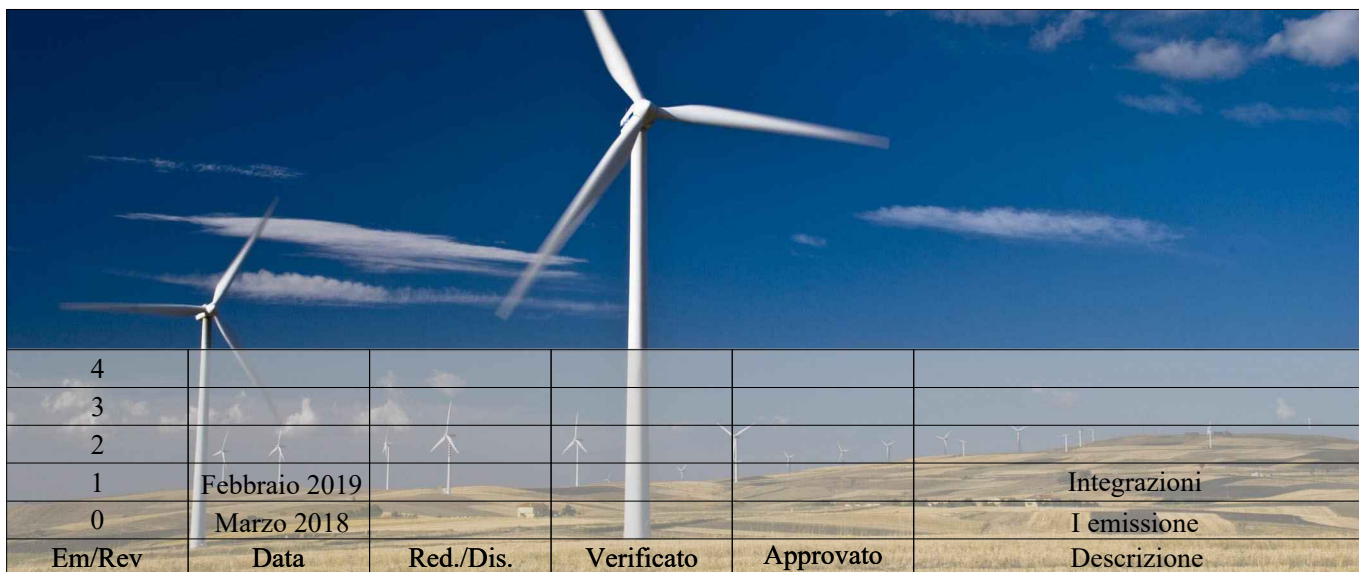


COMUNE DI CERIGNOLA
PROVINCIA DI FOGGIA

PROGETTO DEFINITIVO
DI UN PARCO EOLICO
"CERIGNOLA VENETA SUD" ID_VIP: 4046



Redazione: SIT&A srl - Studio di Ingegneria Territorio e Ambiente
Sede legale: via C. Battisti n. 58 - 73100 LECCE - sito web: www.sitea.info e-mail: info@sitea.info

Sede operativa: O. Mazzitelli n. 264 - 70124 BARI Tel./Fax 080/9909280 e-mail: sedebari@sitea.info

Titolo:

DOCUMENTAZIONE INTEGRATIVA
RICHIESTA dal SERVIZIO V.I.A. e V.Inc.A. della REGIONE
PUGLIA lett. prot. DVA.REGISTRO
UFFICIALE.I.0017933.01-08-2018, nota ARPA Puglia prot. 43339 del
02.07.2018

All:

Par.1-2

Committente:

VENETA ENERGIA S.r.l.
con sede in Via I. Maggio n. 4 I - 31024 Ormelle (TV) P.I. 03954830281

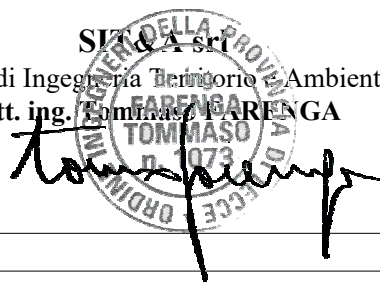
Codice Identificatore Elaborato

ID_VIP4046_Doc_Integrativa_ARPA_Par.1-2

Progettazione:

Consulenze e collaborazioni:
geom. D.Ruggiero

SIT&A srl
Studio di Ingegneria Territorio e Ambiente
dott. ing. **Tommaso Fareniga**



Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
COMMISSIONE TECNICA DI VERIFICA DELL'IMPATTO
AMBIENTALE – VIA E VAS
(R.U. 16-11-2018)

OGGETTO: [ID_VIP:4046] Istruttoria VIA - Parco eolico Cerignola Veneta SUD nel territorio comunale di Cerignola (FG) della potenza complessiva pari a 79,8 MW. Proponente: Veneta Energia s.r.l. – Richiesta di integrazioni

OGGETTO: *Parere ARPA PUGLIA - Parco eolico Cerignola Veneta SUD nel territorio comunale di Cerignola (FG) della potenza complessiva pari a 79,8 MW. Proponente: Veneta Energia s.r.l. – Richiesta di integrazioni (Parere ARPA 0043339-32-02/07/2018)*

– PUNTI 1-2 DEL PARERE

Redatto da: SIT&A srl

- ing. Tommaso Farenga

Consulenze e collaborazioni: ing. Paola Di Lauro

1. PREMESSA

La presente relazione costituisce un'integrazione spontanea per il calcolo della gittata degli elementi rotanti di una turbina eolica facente parte di un parco eolico da realizzarsi nel comune di Cerignola (FG). La presente relazione nasce inoltre dall'esigenza di rispondere alla richiesta formulata da ARPA Puglia (ARPAP), il cui parere è stato acquisito poi dal MATTM e comunicato alla scrivente Società Veneta Energia srl, con il quale l'Agenzia Pugliese formalizza alcune richieste di integrazione; lo stralcio del parere è di seguito riportato (punto 1 e 2 del parere ARPA 0043339-32-02/07/2018, anche se al punto 1 sono contenute delle considerazioni generali):

1. La progettazione è stata condotta per l'installazione di 19 aerogeneratori della potenza ciascuno di 4,2MW, marca e modello Vestas V136, diametro rotore m.140, altezza mozzo m.114, altezza complessiva m.184, velocità di rotazione 11,7 rpm. La definizione del tipo di aerogeneratore nelle sue caratteristiche principali implica una precisa valutazione acustica, della gittata, delle distanze reciproche tra aerogeneratori o delle distanze di quest'ultimi da ricettori e strade. Pertanto, qualora l'impianto sia autorizzato, in fase realizzativa non potrà essere installato un altro tipo di aerogeneratore, pena la perdita di validità della progettazione e di conseguenza della presente valutazione tecnica. Dunque devono essere necessariamente stabilite, e mantenute in fase di realizzazione, le caratteristiche legate al modello di aerogeneratore scelto e per questo indicate nella eventuale autorizzazione.
2. La relazione sulla gittata massima prende in considerazione l'aerogeneratore Vestas V136 che si intende installare indicando una ipotetica traiettoria al variare dell'angolo di lancio. Nell'esposizione si considera una velocità di rotazione ridotta a 10,5 rpm anziché la massima velocità di rotazione dell'aerogeneratore pari a 11,7 rpm. Le considerazioni finali riportate in relazione non sono condivise. Gli aspetti della sicurezza richiamati anche dal DM 10-9-2010 non possono essere sottovalutati e devono, pertanto, porsi in condizioni realisticamente accettabili e concretamente dimostrabili al fine di determinare la gittata massima nelle condizioni peggiori. In definitiva la gittata calcolata si ritiene non corrispondente ad una verifica di sicurezza che cautelativamente deve conformarsi all'ipotesi più gravosa al fine di produrre il valore della gittata massima nelle condizioni peggiorative anche in relazione alle condizioni meteorologiche estreme del sito. Dunque il valore stimato di m.220 non corrisponde alla gittata massima che per le caratteristiche dell'aerogeneratore scelto si ritiene sia oltre i m.400.

La relazione di calcolo precedentemente redatta per il calcolo della gittata, prendeva in considerazione, come richiamato da ARPA, la riduzione della velocità del 10% rispetto alla massima velocità di rotazione dell'aerogeneratore in esame. Pertanto, essendo tale velocità pari a 11.7 rpm, la riduzione applicata di 1.17 rpm, conduceva ad una velocità di rotazione utilizzata nel calcolo di $(11.7 - 1.2) = 10.5$ rpm.

ARPA Puglia, nel corso di in confronto richiesto agli Uffici, ha evidenziato come il calcolo debba proporsi per una velocità di 11.7 rpm, mentre la riduzione del 10% debba invece applicarsi all'oggetto in movimento una volta avviato il distacco dall'aerogeneratore.

Da parte della proponente Società vi è la massima attenzione a ciò, atteso la volontà di non sottovalutarlo perché fondamentale ai fini della sicurezza; pertanto viene riproposto il calcolo con le ipotesi richieste.

L'aspetto sicurezza trova trattazione anche nelle previsioni del DM 10/9/2010 all'allegato 4 recante "Impianti eolici: elementi per il corretto inserimento nel paesaggio e sul territorio".

Di seguito si richiamano alcune possibili misure di mitigazione riportate al p.to 5.3, che incidono indirettamente sul tema della sicurezza per l'eventuale distacco di elementi rotanti o parti:

- a) **minima distanza di ciascun aerogeneratore da unità abitative** munite di abitabilità, regolarmente censite e stabilmente abitate, **non inferiore ai 200 m;**
- b) **minima distanza di ciascun aerogeneratore dai centri abitati** individuati dagli strumenti urbanistici vigenti **non inferiore a 6 volte l'altezza massima dell'aerogeneratore.**

Ulteriori misure di mitigazione riportate al punto 6.3 incidono indirettamente sul tema della sicurezza associata all'eventuale distacco di elementi rotanti, quali quelle individuate per mitigare gli effetti del rumore:

- c) utilizzo di generatori a bassa velocità e con profili alari ottimizzati per ridurre l'impatto sonoro.

Ma sono soprattutto importanti ed orientate le misure di mitigazione associate al tema degli incidenti trattato al par. 7. Con le misure di mitigazione indicate al punto 7.2 si segnala che:

- d) **la distanza di ogni turbina eolica da una strada provinciale o nazionale deve essere superiore all'altezza massima dell'elica comprensiva del rotore e comunque non inferiore a 150 m dalla base della torre.**

D'altronde le **linee guida per la valutazione della compatibilità ambientale – paesaggistica** degli impianti di produzione ad energia eolica edite da ARPA Puglia nel maggio 2013, affrontano il tema della sicurezza ed in merito citano anche che *"Nel gennaio 2012 un panel di esperti indipendenti dei Dipartimenti di Protezione Ambientale e di Sanità Pubblica del Massachusetts ha effettuato una review sistematica degli studi scientifici, invero pochi, disponibili dando la priorità agli studi epidemiologici sugli esseri umani e poi a quelli tossicologici su animali da esperimento"*.

Gli esperti affrontano anche il tema della sicurezza associato al tema del distacco di un elemento rotante o di una porzione dello stesso. Come si legge nelle linee guida, *“Un rischio meccanico è legato al lancio di frammenti di ghiaccio prodotti dai cambiamenti di temperatura nel movimento della pala in particolari condizioni atmosferiche. Nella maggior parte dei casi la gittata è limitata ad un raggio non superiore all’altezza della pala e dipende comunque dall’intensità del vento, dalle dimensioni del frammento di ghiaccio e dalle condizioni operative.”*

Si osserva che quanto prima richiamato è strettamente osservato dagli aerogeneratori di progetto, sia con riferimento alle distanze dalle abitazioni che con riferimento a quelle dalle strade (come si nota dalla tav. ARPAP 1 riportata separatamente tra le integrazioni prodotte per ARPAP.

In tale tavola sono riportate le distanze tra aerogeneratori e ricettori; dalla stessa si deduce l’osservanza della distanza minima di 200 m. La distanza (in km) è riportata nella seguente tabella:

DISTANZE RICETTORI/SORGEN TI	VS0 1	VS0 2	VS0 3	VS0 4	VS0 5	VS0 6	VS0 7	VS0 8	VS0 9	VS1 0	VS1 1	VS1 2	VS1 3	VS1 4	VS1 5	VS1 6	VS1 7	VS1 8	VS1 9
A	8,11	8,83	8,14	6,61	9,48	9,58	10,18	4,71	3,95	3,43	4,22	3,58	3,14	3,45	1,45	0,85	2,40	1,90	1,48
B	8,94	9,37	8,64	7,33	9,75	9,74	10,24	5,45	4,88	4,44	4,92	4,37	4,02	3,47	1,53	1,16	1,93	1,23	0,67
C	9,11	9,09	8,32	7,35	9,15	9,02	9,43	5,56	5,32	5,09	5,00	4,61	4,42	2,82	1,51	1,64	1,01	0,40	0,63
D	8,48	8,97	8,25	6,89	9,44	9,46	10,00	5,00	4,41	3,98	4,48	3,91	3,55	3,22	1,21	0,73	1,89	1,28	0,82
E	8,04	8,22	7,48	6,33	8,53	8,51	9,02	4,50	4,20	3,99	3,95	3,51	3,30	2,24	0,41	0,66	0,99	0,74	0,83
F	7,10	7,16	6,41	5,33	7,49	7,52	8,08	3,56	3,52	3,53	3,00	2,68	2,64	1,35	0,74	1,29	1,30	1,62	1,89
G	7,45	6,70	5,89	5,52	6,43	6,26	6,67	4,14	4,67	4,95	3,62	3,67	3,91	0,66	2,33	2,94	1,77	2,50	3,03
H	6,63	3,80	3,24	5,14	1,74	1,16	1,67	5,60	7,03	7,85	5,54	6,24	6,87	5,17	7,17	7,73	6,89	7,61	8,10
I	8,50	5,46	5,04	7,10	2,91	1,90	1,01	7,55	8,96	9,75	7,46	8,13	8,74	6,65	8,68	9,27	8,19	8,94	9,47
L	7,32	4,29	3,87	5,97	1,78	0,79	0,68	6,55	8,00	8,83	6,52	7,22	7,86	6,11	8,12	8,69	7,78	8,51	9,02
M	8,52	5,37	5,06	7,25	2,75	1,80	0,76	7,87	9,31	10,13	7,83	8,52	9,15	7,23	9,26	9,84	8,82	9,56	10,09
N	7,97	4,77	4,53	6,83	2,16	1,34	0,56	7,61	9,08	9,93	7,62	8,34	8,99	7,33	9,34	9,91	9,00	9,73	10,24
O	6,02	3,04	2,57	4,69	0,95	0,87	1,83	5,41	6,89	7,75	5,45	6,18	6,83	5,53	7,48	8,01	7,31	8,01	8,48
P	6,21	3,09	2,75	5,01	0,57	0,51	1,55	5,87	7,36	8,23	5,94	6,68	7,33	6,10	8,04	8,56	7,87	8,58	9,04
Q	5,28	2,39	1,85	3,95	1,12	1,56	2,56	4,76	6,24	7,12	4,84	5,59	6,25	5,25	7,12	7,62	7,07	7,75	8,18
R	5,06	1,85	1,70	4,11	0,78	1,77	2,79	5,30	6,78	7,70	5,48	6,25	6,91	6,27	8,08	8,55	8,09	8,76	9,17
S	4,23	1,21	0,78	3,17	1,62	2,49	3,54	4,40	5,87	6,79	4,61	5,38	6,04	5,70	7,39	7,84	7,52	8,15	8,53
T	2,37	1,13	1,09	1,60	3,47	4,35	5,39	3,33	4,65	5,58	3,73	4,45	5,06	5,76	7,07	7,39	7,48	8,00	8,28
U	2,23	1,97	1,65	0,78	4,00	4,77	5,80	2,45	3,77	4,71	2,87	3,57	4,18	5,09	6,27	6,57	6,75	7,24	7,49
X	3,18	3,00	2,40	1,23	4,38	4,93	5,88	1,43	2,91	3,83	1,70	2,46	3,11	3,82	4,98	5,30	5,45	5,94	6,19
Z	3,27	4,60	4,15	1,95	6,26	6,81	7,74	0,66	1,14	2,07	1,10	1,31	1,71	4,07	4,41	4,53	5,24	5,51	5,60

Distanze in chilometri

Dalla tabella si evince come anche nell’ipotesi più pessimistica assunta nel parere ARPA sopra richiamato, che stima in oltre i m 400 la gittata massima, si sia in condizioni di ampia sicurezza.

Nel seguito si riporta il calcolo eseguito.

2. CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA IN CASO DI ROTTURA DELLA PALA E DI UN FRAMMENTO DI PALA DI UN AEROGENERATORE

2.1. Cenni sui principi di funzionamento di un aerogeneratore

Nel dettaglio, le pale sono fissate su un mozzo, e nell'insieme costituiscono il rotore; il mozzo, a sua volta, è collegato ad un primo albero di trasmissione, detto albero lento, che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

L'albero lento è, nella maggior parte dei casi, collegato ad un moltiplicatore di giri, da cui si diparte un albero veloce, che ruota con velocità angolare data da quella dell'albero lento per il rapporto di trasmissione del rotismo installato. Tutti i componenti sopra menzionati, ad eccezione, del rotore e del mozzo, sono ubicati entro una cabina, detta navicella la quale, a sua volta, è sistemata su un supporto-cuscinetto, in maniera da essere facilmente orientata secondo la direzione del vento.

Oltre ai componenti su elencati, vi è un sistema di controllo che esegue, il controllo della potenza ruotando le pale intorno al loro asse principale, il controllo dell'orientamento della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad allineare la macchina rispetto alla direzione del vento. Si riporta di seguito una figura che evidenzia il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento che causa tale moto. La conformazione del profilo alare dell'aerogeneratore è fissa, mentre è mobile il rotore sul quale sono ancorate le pale. Questo garantisce il fatto che il rotore possa orientarsi rispetto al vento in modo tale da offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo indipendentemente dalla direzione del vento un verso orario di rotazione. Questa considerazione ci serve per fissare in ogni momento il verso della velocità tangenziale, responsabile della gittata nel piano, rispetto a quello della velocità del vento, ortogonale alla velocità tangenziale ed a sua volta responsabile della gittata fuori dal piano. Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e quindi si capisce la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca percorre il suo moto. Mettendo in relazione la traiettoria del corpo che si distacca con la corografia del luogo si capisce se la pala nella percorrenza della sua traiettoria può essere o meno un elemento di pericolo per la strada e/o altro edificio interessato.



Figura 1: Relazione tra le direzioni del vento ed il verso di rotazione del rotore

3. ROTTURA DELLA PALA

2.1 Aerogeneratore modello VESTASV136

Il calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'Aerogeneratore segue il principio della balistica applicata ai moto dei proiettili. Si evidenzia che i calcoli sono fatti considerando nullo l'attrito con l'aria.

Nel caso in esame (tipologia VESTAS V136) si suppone che l'eventuale rottura della pala avvenga alle peggiori condizioni possibili ovvero:

- alla velocità massima del rotore, pari a circa 11,7 giri/minuto
- nel punto di ascissa e ordinata in cui la gittata è massima, con angolo = $-\pi/4$
- con il centro di massa posizionato ad $1/3$ della lunghezza della pala, in prossimità del mozzo.

L'aerogeneratore di tipo VESTAS V136 previsto, ha altezza al mozzo uguale a 114 m mentre le pale costituenti il rotore sono lunghe 68 m.

Definizioni

H_m = Altezza al mozzo dell'aerogeneratore = 114 m

L_p = Lunghezza della pala dell'aerogeneratore = 68 m

D_{cm} = Distanza dal mozzo del Centro di Massa della Pala = $L_p / 3 = 22.67$ m

V_{ang} = Max Velocità Angolare Rotore = 11,7 Giri/Minuto = $11.7 * 2\pi / 60 = 1.23$ Rad/sec

Formule e Calcoli risultanti

L'Ordinata di Massima Velocità O_{mv} al momento di rottura è data dalla somma dell'altezza del mozzo più la componente verticale del Centro di Massa:

$$\text{➤ } O_{mv} = \text{Ordinata di Massima Velocità} = H_m + D_{cm} * \text{Radice}(2)/2 = \mathbf{130,03 \text{ m}}$$

Analogamente l'ascissa di Massima Velocità A_{mv} al momento di rottura:

$$\text{➤ } A_{mv} = \text{Ascissa di Massima Velocità} = - D_{cm} * \text{Radice}(2)/2 = \mathbf{-16,03 \text{ m}}$$

La Velocità Lineare al Centro di Massa V_{max} è desunta dalla Velocità Angolare V_{ang}

$$\text{➤ } V_{max} = \text{Velocità Lineare al Centro di Massa} = V_{ang} * D_{cm} = \mathbf{27.88 \text{ m/sec}}$$

Le componenti Verticale V_y ed Orizzontale V_x di tale velocità Lineare al Centro di Massa si ottengono moltiplicando per il Seno ed il Coseno dell'angolo:

$$\text{➤ } V_y = \text{Componente Verticale Velocità} = V_{max} * \text{Radice}(2)/2 = \mathbf{19.71 \text{ m/sec}}$$

$$\text{➤ } V_x = \text{Componente Orizzontale Velocità} = V_{max} * \text{Radice}(2)/2 = \mathbf{19.71 \text{ m/sec}}$$

Il tempo necessario T_y perché la componente verticale della velocità sia nullo è dato dalla formula:

- $T_y = \text{Tempo di decelerazione Verticale} = V_y / 9.8 \text{ m/sec}^2 = \mathbf{2,01 \text{ sec}}$

L'altezza Massima H_{max} si ottiene dalla formula:

- $H_{max} = O_{mv} + V_y * T_y - 1/2 * g * T_y^2 = \mathbf{149.83 \text{ m}}$

Il tempo necessario T_{max} affinché l'elemento rotante precipiti a terra dalla sommità si ottiene dalla relazione:

- $T_{max} = \text{tempo di caduta} = \text{Radice}(149,83/9.8 \text{ m/sec}^2) = \mathbf{3.91 \text{ sec}}$

La distanza massima DL_{max} dalla base della torre percorsa dall'elemento rotante distaccatosi è quindi fornito dalla formula:

$$DL_{max} = V_x * (T_{max} + T_y) + A_{mv} + (L_p - D_{cm}) = \mathbf{145.98 \text{ m}}$$

4. CALCOLO DELLA TRAIETTORIA REALE DI UN FRAMMENTO DELLA PALA

4.1 Fondamenti di Calcolo della traiettoria reale

La determinazione di una traiettoria reale che tenga conto della resistenza dell'aria, è fattibile con un calcolo iterativo che consideri la traiettoria come una successione di elementi minimi, per ciascuno dei quali sia possibile ricalcolare la distanza, l'altezza, l'inclinazione e la velocità finali. Il calcolo risulta facilitato se la sequenza dei punti è determinata da incrementi di tempo costanti t_e . Passando dal punto **P** a quello successivo gli elementi della traiettoria possono allora essere così ricalcolati:

Tempo totale

$$t_{p+1} = t_p + t_e$$

Ascissa o distanza in piano

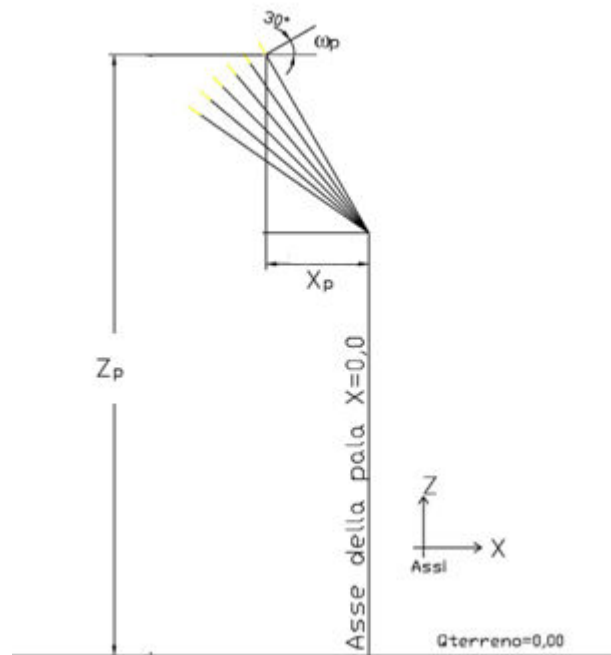
$$X_{p+1} = X_p + \cos \omega_p \times V_p \times t_e$$

Altezza o quota

$$Z_{p+1} = Z_p + \sin \omega_p \times V_p \times t_e - g \times t_e^2 / 2$$

Si precisa che:

1. si assume come origine degli assi la base della torre della turbina ed un sistema di riferimento come illustrato nella figura seguente;
2. X_p e Z_p sono le coordinate di partenza del centro di massa del frammento di pala e variano al variare dell'angolo di partenza;
3. X_p e Z_p sono state ricavate graficamente così come indicato nella seguente immagine:



Inclinazione

$$\omega_{p+1} = \arctan [\tan \omega_p - g \times (X_{p+1} - X_p) / (\cos^2 \omega_p \times V_p^2)]$$

Velocità

$$V_{p+1} = [(V_p^2 - 2g \times (Z_{p+1} - Z_p)) - \sigma_p \times t_e]^{1/2}$$

dove σ la decelerazione (o **ritardazione** come si dice in balistica) causata dalla resistenza dell'aria.

Per valutare la **resistenza R** opposta dall'aria, la formula usata nella meccanica dei fluidi è in genere la seguente:

$$R = 1/2 \times C_r \times \rho \times S \times V^2$$

dove:

R= resistenza (N)

S= sezione del corpo rispetto al movimento (m²)

V = velocità (m/s)

C_r= coefficiente di forma (adimensionale)

ρ= densità del fluido attraversato (kg/m³m)

E' da notare che il **coefficiente di forma C_r** varia esso stesso in funzione della velocità, ma può essere considerato costante per variazioni di velocità che non comportano significativi cambiamenti nei

regimi di turbolenza del fluido attraversato. Oggi sono disponibili numerosi modelli di simulazione che consentono di calcolare con approssimazione il valore di C_r .

Essendo R e σ ovviamente correlati dalla massa m_f (kg) del frammento secondo la relazione $R = m_f \times \sigma$, per un regime uniforme di velocità, la ritardazione (m/s^2) è così esprimibile:

$$\sigma = (1/2 \times C_r \times \rho \times S \times V^2) / m_f$$

ciò significa che a parità di altre condizioni la ritardazione diminuisce con l'aumentare della massa del frammento e aumenta con l'aumentare della sua sezione.

4.2 Applicazione del calcolo della traiettoria reale alla Turbina VESTAS V136

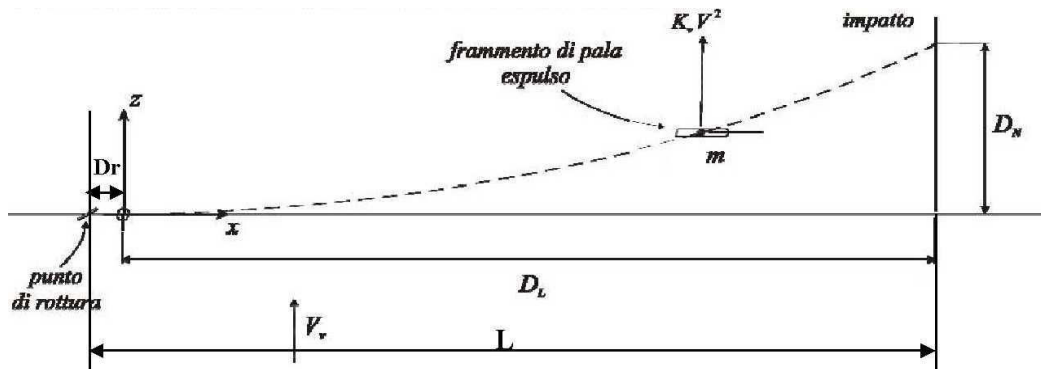
Il calcolo della gittata del frammento di pala è stato condotto considerando i seguenti dati di partenza:

$S = 4,0 m^2$ (sezione del corpo rispetto al movimento)

$V_0 = 79,23 m/s$

Nel Calcolo si considerano le seguenti condizioni:

1. Dalla campagna anemometrica si evince che le velocità del vento sul sito variano prevalentemente da 0 a 10 m/s, quindi la probabile rottura del frammento avverrà in questo range di velocità;
2. Inoltre l'azione dinamica del vento, ortogonale al piano che contiene la parabola, riduce ulteriormente lo sviluppo della traiettoria reale rispetto a quella teorica quindi tanto maggiore è la velocità del vento tanto maggiore è la curvatura fuori dal piano;



V_0 viene ricavato dalla seguente formula:

$$V_0 = V_r \times 2\pi / 60 \times R_f$$

Dove

V_r è la velocità di rotazione

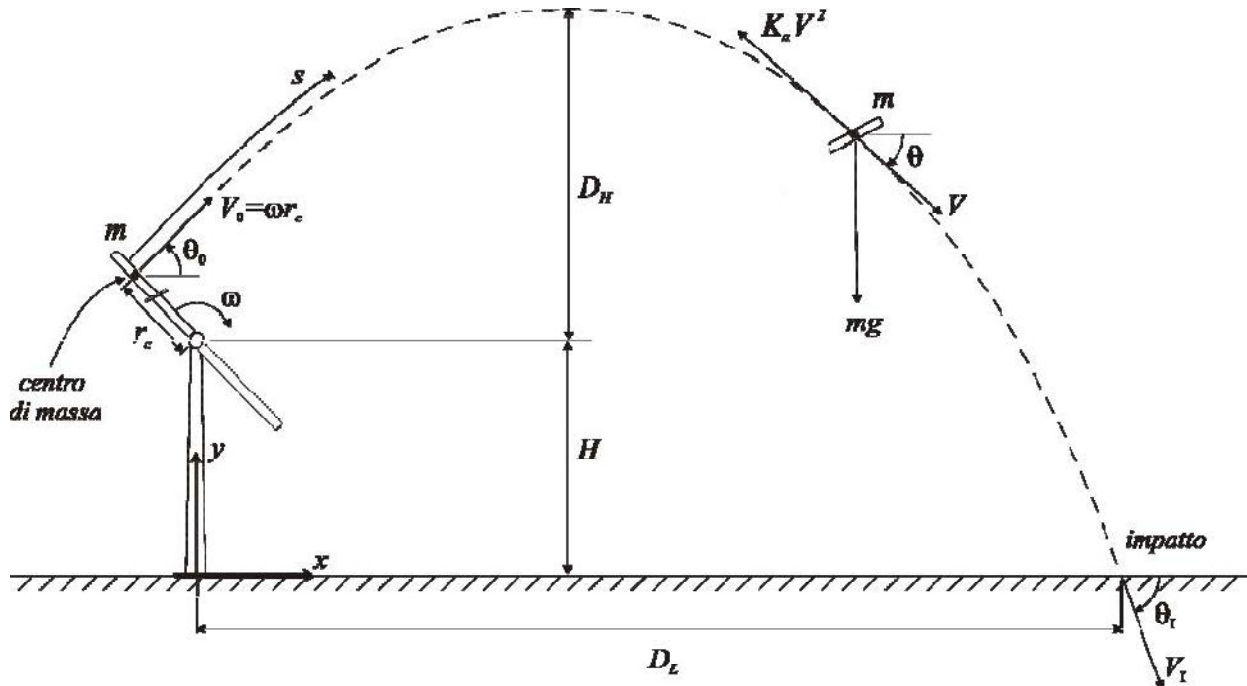
R è il raggio del frammento di pala (dall'asse navicella al centro di massa del frammento)

$V_0 = 79.23 \text{ m/s}$

$C_r = 1,5$ (coefficiente di forma (adimensionale))

$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (densità del fluido attraversato)

$m_f = 150 \text{ kg}$ (massa del frammento)



Vista frontale dell'aerogeneratore e della traiettoria di un frammento di pala espulso

Preme sottolineare che i dati riportati sono altamente cautelativi perché l'aerogeneratore di progetto, modello VESTAS V136, ha un diametro di 136 m ed inoltre è prodotta con una tecnologia moderna che ha consentito di avere pesi ridotti della pala ed avere tutta una serie di dispositivi di protezione atti ad evitare incidenti. Di conseguenza considerando i risultati riportati nella presente relazione si sovradimensiona in modo netto la reale gittata della pala/sezione-di-pala in caso di distacco. Volendo dedurre dei risultati più reali per l'aerogeneratore V136 di progetto si può affermare che i dati riportati nel seguente grafico sono ampiamente esaustivi.

Di seguito sono riportati i grafici delle traiettorie calcolati al variare dell'angolo di lancio con il metodo complesso:

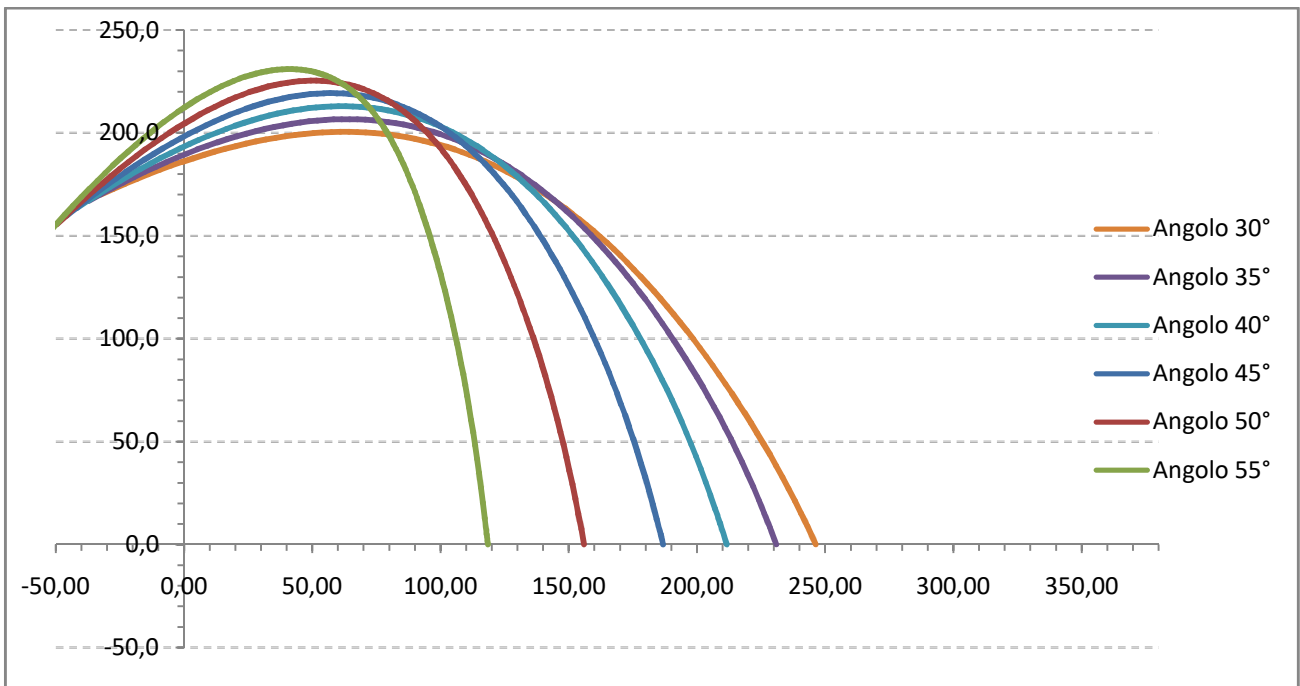


Grafico della traiettoria di un frammento di pala

5. CONSIDERAZIONI FINALI

Ponendoci nella condizione peggiore che un frammento o l'intera pala si possa staccare dal mozzo, si è dimostrato che l'impatto della stessa avviene a distanze molto contenute.

Infatti nel caso si staccasse l'intera pala il suo valore massimo di gittata è di 146 m alla velocità massima di rotazione, nella direzione prevalente di vento e trascurando l'attrito dell'aria.

Nel caso di rottura di un frammento di pala, per il quale vigono solo calcoli di tipo probabilistico, come si evince dai calcoli, si ha un valore di gittata pari a circa 250 m per un frammento pari a 5 m della pala.

Tale valore risultante dai calcoli è perfettamente in linea con quanto dichiarato nel gennaio 2012 da degli esperti dei Dipartimenti di Protezione ambientale e Sanità Pubblica del Massachusetts che hanno affermato "nella maggior parte dei casi la gittata è limitata ad un raggio non superiore all'altezza della pala", come riportato nelle citate Linee Guida ARPA Puglia del maggio 2013.

Si tenga presente che tale valore nella realtà risulta inferiore; difatti è giusto considerare agire simultaneamente le condizioni peggiori di velocità del vento, di angolo di lancio, velocità di rotazione, azione di portanza sul profilo alare dopo il distacco ma le cause che porterebbero ad un eventuale distacco della pala o parte di essa sono rappresentate da un colpo di fulmine o da un urto accidentale di notevole intensità agente alla base della torre.

L'accadimento di tali fenomeni ha un valore di rischio molto basso, resi ancora più bassi dal fattore di contemporaneità. Si tenga conto che tutte le turbine eoliche sono dotate di un complesso sistema parafulmine, e per quanto riguarda l'urto non è pensabile potersi tutelare da un incidente, quale un velivolo o altro, che impatta sul rotore di una turbina o alla base della torre.

Riportando quanto scritto dalla BP POWER nel "Bladethrowcalculation under normal operating" *"esperienze basate su dati reali (su una casistica di 1578 casi) fino all'agosto del 2006 hanno dimostrato che nel caso di distacco della pala o parti di essa l'unico moto che si è registrato è stato un moto di completa rotazione e che le distanze percorse lungo il moto sono risultate sempre inferiori alle lunghezze riportate nella relazione. Il distacco delle parti, in genere piccole, dovuto a guasti causati da eventi eccezionali (quali la straordinaria energia prodotta da un fulmine) ha portato nel peggiore dei casi, a ritrovare le parti stesse a distanze non superiori ai 40-50 metri dalla base della torre."*

Di seguito si riportano i calcoli elaborati con software appositamente scritto.

Angolo di Lancio
30°

tp s	Xp m	ωp °	Zp m
0,00	-32,33	30,00	170,0
0,10	-27,64	29,09	172,7
0,20	-23,00	28,16	175,2
0,30	-18,42	27,20	177,6
0,40	-13,90	26,21	179,9
0,50	-9,44	25,18	182,0
0,60	-5,04	24,13	184,0
0,70	-0,70	23,04	185,9
0,80	3,59	21,92	187,7
0,90	7,82	20,77	189,4
1,00	11,99	19,58	190,9
1,10	16,10	18,36	192,3
1,20	20,15	17,10	193,6
1,30	24,15	15,80	194,8
1,40	28,08	14,48	195,8
1,50	31,96	13,11	196,8
1,60	35,79	11,71	197,6
1,70	39,55	10,27	198,4
1,80	43,26	8,79	199,0
1,90	46,91	7,28	199,5
2,00	50,51	5,74	199,9
2,10	54,04	4,16	200,2
2,20	57,52	2,55	200,4
2,30	60,95	0,91	200,5
2,40	64,31	-0,75	200,5
2,50	67,62	-2,45	200,4
2,60	70,91	-4,16	200,3
2,70	74,18	-5,86	200,0
2,80	77,42	-7,57	199,6
2,90	80,63	-9,28	199,1
3,00	83,83	-10,99	198,5
3,10	87,00	-12,69	197,9
3,20	90,15	-14,38	197,1
3,30	93,27	-16,05	196,3
3,40	96,37	-17,71	195,3
3,50	99,45	-19,35	194,3

14 di 31

3,60	102,51	-20,97	193,2
3,70	105,54	-22,57	192,0
3,80	108,55	-24,14	190,7
3,90	111,55	-25,69	189,3
4,00	114,52	-27,20	187,8
4,10	117,47	-28,69	186,2
4,20	120,40	-30,14	184,6
4,30	123,31	-31,57	182,8
4,40	126,20	-32,96	181,0
4,50	129,07	-34,31	179,1
4,60	131,92	-35,64	177,1
4,70	134,76	-36,92	175,0
4,80	137,58	-38,18	172,9
4,90	140,38	-39,40	170,6
5,00	143,17	-40,58	168,3
5,10	145,94	-41,73	165,8
5,20	148,69	-42,85	163,3
5,30	151,43	-43,93	160,7
5,40	154,15	-44,98	158,1
5,50	156,86	-46,00	155,3
5,60	159,56	-46,99	152,5
5,70	162,24	-47,95	149,6
5,80	164,91	-48,87	146,5
5,90	167,57	-49,77	143,4
6,00	170,22	-50,64	140,3
6,10	172,85	-51,48	137,0
6,20	175,47	-52,30	133,7
6,30	178,08	-53,09	130,2
6,40	180,69	-53,86	126,7
6,50	183,28	-54,60	123,1
6,60	185,86	-55,32	119,5
6,70	188,43	-56,01	115,7
6,80	190,99	-56,69	111,8
6,90	193,54	-57,34	107,9
7,00	196,09	-57,97	103,9
7,10	198,62	-58,58	99,8
7,20	201,15	-59,18	95,6
7,30	203,67	-59,75	91,3
7,40	206,18	-60,31	87,0
7,50	208,68	-60,85	82,5

7,60	211,18	-61,38	78,0
7,70	213,67	-61,89	73,4
7,80	216,15	-62,38	68,7
7,90	218,63	-62,91	63,9
8,00	221,09	-63,47	59,0
8,10	223,56	-64,05	54,0
8,20	226,02	-64,65	48,9
8,30	228,47	-65,27	43,7
8,40	230,91	-65,91	38,3
8,50	233,35	-66,55	32,7
8,60	235,79	-67,19	27,0
8,70	238,22	-67,84	21,2
8,80	240,65	-68,49	15,1
8,90	243,07	-69,13	8,8
9,04	246,36	-69,99	0,0

Angolo di Lancio
35°

tp s	Xp m	ωp °	Zp m
0,00	-37,09	35,00	167,0
0,10	-32,60	34,15	170,1
0,20	-28,17	33,27	173,0
0,30	-23,80	32,37	175,8
0,40	-19,48	31,43	178,5
0,50	-15,22	30,46	181,1
0,60	-11,01	29,45	183,5
0,70	-6,86	28,42	185,8
0,80	-2,77	27,34	188,0
0,90	1,27	26,24	190,0
1,00	5,26	25,09	191,9
1,10	9,18	23,91	193,7
1,20	13,06	22,68	195,4
1,30	16,87	21,42	196,9
1,40	20,64	20,11	198,4
1,50	24,34	18,76	199,7
1,60	27,99	17,37	200,9
1,70	31,59	15,93	201,9
1,80	35,13	14,46	202,9
1,90	38,61	12,93	203,7
2,00	42,04	11,37	204,5
2,10	45,41	9,75	205,1
2,20	48,73	8,10	205,6
2,30	51,99	6,41	206,0
2,40	55,19	4,67	206,4
2,50	58,34	2,89	206,6
2,60	61,47	1,10	206,7
2,70	64,57	-0,72	206,7
2,80	67,64	-2,54	206,6
2,90	70,69	-4,38	206,4
3,00	73,72	-6,22	206,1
3,10	76,72	-8,07	205,8
3,20	79,69	-9,91	205,3
3,30	82,64	-11,75	204,7
3,40	85,57	-13,58	204,1
3,50	88,47	-15,39	203,3

17 di 31

3,60	91,34	-17,19	202,5
3,70	94,19	-18,98	201,5
3,80	97,02	-20,74	200,5
3,90	99,82	-22,47	199,4
4,00	102,60	-24,18	198,2
4,10	105,36	-25,85	196,9
4,20	108,09	-27,49	195,6
4,30	110,80	-29,10	194,1
4,40	113,49	-30,67	192,5
4,50	116,16	-32,20	190,9
4,60	118,80	-33,70	189,2
4,70	121,43	-35,16	187,4
4,80	124,04	-36,57	185,5
4,90	126,62	-37,95	183,5
5,00	129,19	-39,28	181,5
5,10	131,74	-40,58	179,4
5,20	134,28	-41,83	177,1
5,30	136,80	-43,05	174,8
5,40	139,30	-44,23	172,4
5,50	141,78	-45,36	170,0
5,60	144,25	-46,47	167,4
5,70	146,71	-47,53	164,8
5,80	149,15	-48,56	162,1
5,90	151,57	-49,56	159,3
6,00	153,99	-50,52	156,4
6,10	156,39	-51,44	153,4
6,20	158,77	-52,34	150,4
6,30	161,15	-53,21	147,3
6,40	163,51	-54,04	144,1
6,50	165,87	-54,85	140,8
6,60	168,21	-55,63	137,4
6,70	170,54	-56,38	133,9
6,80	172,86	-57,11	130,4
6,90	175,17	-57,81	126,8
7,00	177,47	-58,49	123,1
7,10	179,77	-59,15	119,3
7,20	182,05	-59,79	115,4
7,30	184,33	-60,40	111,4
7,40	186,60	-60,99	107,4
7,50	188,85	-61,57	103,3

7,60	191,11	-62,12	99,1
7,70	193,35	-62,66	94,8
7,80	195,59	-63,18	90,4
7,90	197,82	-63,74	85,9
8,00	200,04	-64,32	81,4
8,10	202,26	-64,93	76,7
8,20	204,47	-65,56	71,9
8,30	206,67	-66,20	67,0
8,40	208,87	-66,85	61,9
8,50	211,06	-67,51	56,7
8,60	213,25	-68,18	51,3
8,70	215,44	-68,84	45,8
8,80	217,61	-69,50	40,1
8,90	219,79	-70,15	34,1
9,00	221,96	-70,79	28,0
9,10	224,13	-71,42	21,7
9,20	226,29	-72,04	15,1
9,30	228,45	-72,65	8,3
9,42	230,99	-73,34	0,0

Angolo di Lancio
40°

tp s	Xp m	ωp °	Zp m
0,00	-41,57	40,00	163,5
0,10	-37,32	39,21	167,0
0,20	-33,13	38,40	170,4
0,30	-29,00	37,56	173,6
0,40	-24,91	36,68	176,7
0,50	-20,88	35,77	179,7
0,60	-16,90	34,83	182,5
0,70	-12,98	33,86	185,2
0,80	-9,10	32,84	187,7
0,90	-5,28	31,79	190,2
1,00	-1,52	30,70	192,4
1,10	2,20	29,57	194,6
1,20	5,86	28,40	196,6
1,30	9,47	27,18	198,5
1,40	13,03	25,91	200,3
1,50	16,53	24,60	202,0
1,60	19,98	23,24	203,5
1,70	23,38	21,83	204,9
1,80	26,73	20,37	206,2
1,90	30,02	18,85	207,4
2,00	33,25	17,28	208,4
2,10	36,44	15,66	209,4
2,20	39,57	13,98	210,2
2,30	42,64	12,25	210,9
2,40	45,66	10,46	211,5
2,50	48,63	8,61	212,0
2,60	51,57	6,74	212,4
2,70	54,48	4,83	212,7
2,80	57,37	2,89	212,9
2,90	60,23	0,93	213,0
3,00	63,07	-1,05	213,0
3,10	65,87	-3,05	212,9
3,20	68,65	-5,06	212,7
3,30	71,40	-7,08	212,4
3,40	74,13	-9,11	212,0
3,50	76,83	-11,13	211,5

20 di 31

3,60	79,50	-13,14	211,0
3,70	82,14	-15,14	210,3
3,80	84,75	-17,12	209,5
3,90	87,34	-19,08	208,7
4,00	89,90	-21,02	207,8
4,10	92,43	-22,93	206,7
4,20	94,94	-24,80	205,6
4,30	97,43	-26,64	204,4
4,40	99,89	-28,44	203,1
4,50	102,32	-30,19	201,8
4,60	104,73	-31,90	200,3
4,70	107,12	-33,57	198,8
4,80	109,48	-35,19	197,2
4,90	111,82	-36,76	195,5
5,00	114,15	-38,28	193,7
5,10	116,45	-39,75	191,8
5,20	118,73	-41,18	189,9
5,30	120,99	-42,56	187,8
5,40	123,24	-43,89	185,7
5,50	125,46	-45,17	183,5
5,60	127,67	-46,41	181,3
5,70	129,86	-47,60	178,9
5,80	132,04	-48,75	176,5
5,90	134,20	-49,85	174,0
6,00	136,35	-50,92	171,4
6,10	138,48	-51,94	168,7
6,20	140,60	-52,93	166,0
6,30	142,70	-53,88	163,1
6,40	144,79	-54,79	160,2
6,50	146,87	-55,67	157,2
6,60	148,94	-56,52	154,1
6,70	151,00	-57,33	151,0
6,80	153,04	-58,11	147,7
6,90	155,08	-58,87	144,4
7,00	157,10	-59,59	141,0
7,10	159,12	-60,29	137,5
7,20	161,12	-60,97	134,0
7,30	163,12	-61,62	130,3
7,40	165,11	-62,24	126,6
7,50	167,09	-62,85	122,8

7,60	169,06	-63,43	118,9
7,70	171,02	-63,99	114,9
7,80	172,98	-64,53	110,9
7,90	174,93	-65,06	106,7
8,00	176,87	-65,56	102,5
8,10	178,80	-66,05	98,2
8,20	180,73	-66,57	93,8
8,30	182,65	-67,11	89,3
8,40	184,57	-67,68	84,7
8,50	186,48	-68,26	80,0
8,60	188,39	-68,86	75,1
8,70	190,28	-69,46	70,1
8,80	192,18	-70,07	65,0
8,90	194,07	-70,68	59,7
9,00	195,95	-71,28	54,2
9,10	197,84	-71,89	48,6
9,20	199,71	-72,48	42,7
9,30	201,59	-73,06	36,7
9,40	203,46	-73,64	30,4
9,50	205,32	-74,20	24,0
9,60	207,19	-74,75	17,2
9,70	209,05	-75,28	10,3
9,84	211,69	-76,00	0,0

Angolo di Lancio
45°

tp s	Xp m	ωp °	Zp m
0,00	-45,73	45,00	159,7
0,10	-41,76	44,28	163,6
0,20	-37,85	43,54	167,4
0,30	-33,98	42,76	171,0
0,40	-30,17	41,96	174,5
0,50	-26,40	41,12	177,9
0,60	-22,68	40,25	181,0
0,70	-19,01	39,35	184,1
0,80	-15,39	38,41	187,0
0,90	-11,82	37,43	189,8
1,00	-8,30	36,41	192,5
1,10	-4,83	35,35	195,0
1,20	-1,41	34,24	197,3
1,30	1,97	33,08	199,6
1,40	5,29	31,88	201,7
1,50	8,56	30,63	203,7
1,60	11,79	29,32	205,6
1,70	14,96	27,95	207,3
1,80	18,08	26,53	208,9
1,90	21,16	25,05	210,4
2,00	24,18	23,50	211,7
2,10	27,15	21,89	213,0
2,20	30,06	20,21	214,1
2,30	32,93	18,47	215,1
2,40	35,74	16,65	216,0
2,50	38,50	14,76	216,8
2,60	41,24	12,82	217,4
2,70	43,94	10,84	218,0
2,80	46,62	8,80	218,5
2,90	49,27	6,72	218,8
3,00	51,89	4,60	219,1
3,10	54,49	2,44	219,3
3,20	57,05	0,24	219,3
3,30	59,58	-1,97	219,3
3,40	62,09	-4,21	219,1
3,50	64,56	-6,47	218,9

23 di 31

3,60	67,00	-8,73	218,6
3,70	69,41	-10,99	218,2
3,80	71,79	-13,25	217,7
3,90	74,13	-15,50	217,1
4,00	76,45	-17,72	216,4
4,10	78,74	-19,93	215,6
4,20	81,00	-22,10	214,7
4,30	83,22	-24,23	213,8
4,40	85,42	-26,32	212,7
4,50	87,59	-28,36	211,6
4,60	89,74	-30,35	210,4
4,70	91,85	-32,29	209,1
4,80	93,94	-34,17	207,7
4,90	96,01	-35,99	206,3
5,00	98,05	-37,76	204,8
5,10	100,06	-39,46	203,1
5,20	102,06	-41,10	201,5
5,30	104,03	-42,68	199,7
5,40	105,98	-44,20	197,8
5,50	107,91	-45,66	195,9
5,60	109,82	-47,06	193,9
5,70	111,71	-48,40	191,8
5,80	113,59	-49,69	189,7
5,90	115,44	-50,93	187,4
6,00	117,28	-52,11	185,1
6,10	119,11	-53,24	182,7
6,20	120,91	-54,33	180,3
6,30	122,71	-55,36	177,7
6,40	124,49	-56,36	175,1
6,50	126,26	-57,31	172,4
6,60	128,01	-58,22	169,6
6,70	129,75	-59,09	166,7
6,80	131,48	-59,93	163,8
6,90	133,20	-60,73	160,8
7,00	134,91	-61,50	157,7
7,10	136,61	-62,23	154,5
7,20	138,30	-62,94	151,2
7,30	139,98	-63,62	147,9
7,40	141,65	-64,27	144,5
7,50	143,31	-64,89	141,0

7,60	144,96	-65,49	137,4
7,70	146,61	-66,06	133,8
7,80	148,24	-66,62	130,0
7,90	149,87	-67,15	126,2
8,00	151,50	-67,66	122,3
8,10	153,11	-68,15	118,3
8,20	154,72	-68,62	114,3
8,30	156,32	-69,08	110,1
8,40	157,92	-69,52	105,9
8,50	159,51	-69,99	101,6
8,60	161,10	-70,48	97,2
8,70	162,68	-70,98	92,7
8,80	164,25	-71,50	88,0
8,90	165,82	-72,03	83,2
9,00	167,38	-72,57	78,3
9,10	168,95	-73,10	73,3
9,20	170,50	-73,64	68,1
9,30	172,05	-74,17	62,7
9,40	173,60	-74,70	57,1
9,50	175,15	-75,22	51,4
9,60	176,69	-75,73	45,4
9,70	178,23	-76,23	39,3
9,80	179,77	-76,71	32,9
9,90	181,30	-77,19	26,3
10,00	182,83	-77,64	19,4
10,10	184,36	-78,09	12,3
10,20	185,88	-78,52	4,9
10,27	186,88	-78,79	0,0

Angolo di Lancio
50°

tp s	Xp m	ω_p °	Zp m
0,00	-49,54	50,00	155,6
0,10	-45,89	49,36	159,9
0,20	-42,28	48,68	164,0
0,30	-38,72	47,99	168,0
0,40	-35,21	47,26	171,9
0,50	-31,74	46,50	175,6
0,60	-28,32	45,71	179,1
0,70	-24,94	44,89	182,6
0,80	-21,60	44,03	185,8
0,90	-18,31	43,14	189,0
1,00	-15,07	42,20	191,9
1,10	-11,87	41,22	194,8
1,20	-8,72	40,20	197,5
1,30	-5,61	39,12	200,1
1,40	-2,55	38,00	202,5
1,50	0,46	36,83	204,8
1,60	3,43	35,59	207,0
1,70	6,35	34,30	209,0
1,80	9,23	32,94	211,0
1,90	12,06	31,52	212,7
2,00	14,84	30,03	214,4
2,10	17,57	28,46	215,9
2,20	20,25	26,82	217,3
2,30	22,88	25,09	218,6
2,40	25,46	23,28	219,8
2,50	28,00	21,38	220,8
2,60	30,50	19,41	221,7
2,70	32,98	17,37	222,6
2,80	35,43	15,26	223,3
2,90	37,85	13,07	223,9
3,00	40,24	10,82	224,4
3,10	42,60	8,51	224,8
3,20	44,92	6,13	225,1
3,30	47,22	3,70	225,3
3,40	49,48	1,22	225,4
3,50	51,70	-1,31	225,4

26 di 31

3,60	53,89	-3,87	225,3
3,70	56,05	-6,46	225,1
3,80	58,17	-9,06	224,8
3,90	60,25	-11,67	224,4
4,00	62,30	-14,27	224,0
4,10	64,31	-16,86	223,4
4,20	66,29	-19,43	222,8
4,30	68,23	-21,96	222,0
4,40	70,14	-24,45	221,2
4,50	72,02	-26,88	220,3
4,60	73,86	-29,26	219,3
4,70	75,67	-31,57	218,3
4,80	77,45	-33,80	217,1
4,90	79,20	-35,97	215,9
5,00	80,92	-38,05	214,6
5,10	82,61	-40,05	213,2
5,20	84,27	-41,98	211,8
5,30	85,91	-43,82	210,2
5,40	87,53	-45,57	208,7
5,50	89,12	-47,25	207,0
5,60	90,69	-48,85	205,2
5,70	92,23	-50,38	203,4
5,80	93,76	-51,83	201,5
5,90	95,27	-53,21	199,6
6,00	96,76	-54,52	197,5
6,10	98,23	-55,77	195,4
6,20	99,68	-56,95	193,2
6,30	101,12	-58,08	191,0
6,40	102,55	-59,15	188,6
6,50	103,96	-60,17	186,2
6,60	105,35	-61,13	183,7
6,70	106,73	-62,05	181,2
6,80	108,11	-62,93	178,5
6,90	109,47	-63,76	175,8
7,00	110,81	-64,55	173,0
7,10	112,15	-65,31	170,2
7,20	113,48	-66,02	167,2
7,30	114,80	-66,71	164,2
7,40	116,11	-67,36	161,1
7,50	117,41	-67,99	158,0

7,60	118,70	-68,58	154,7
7,70	119,98	-69,15	151,4
7,80	121,26	-69,70	148,0
7,90	122,53	-70,22	144,5
8,00	123,79	-70,71	141,0
8,10	125,05	-71,19	137,3
8,20	126,29	-71,65	133,6
8,30	127,54	-72,09	129,8
8,40	128,77	-72,51	125,9
8,50	130,01	-72,91	122,0
8,60	131,23	-73,30	118,0
8,70	132,45	-73,67	113,8
8,80	133,67	-74,06	109,6
8,90	134,88	-74,47	105,3
9,00	136,09	-74,90	100,9
9,10	137,29	-75,33	96,4
9,20	138,49	-75,77	91,8
9,30	139,68	-76,22	87,0
9,40	140,87	-76,66	82,0
9,50	142,06	-77,10	76,9
9,60	143,24	-77,54	71,7
9,70	144,42	-77,97	66,2
9,80	145,60	-78,40	60,6
9,90	146,78	-78,81	54,8
10,00	147,95	-79,22	48,7
10,10	149,12	-79,61	42,4
10,20	150,29	-79,99	35,9
10,30	151,45	-80,36	29,2
10,40	152,62	-80,72	22,2
10,50	153,78	-81,06	15,0
10,60	154,94	-81,39	7,4
10,70	156,04	-81,69	0,0

Angolo di Lancio
55°

tp s	Xp m	ω_p °	Zp m
0,00	-52,97	55,00	151,1
0,10	-49,67	54,43	155,8
0,20	-46,41	53,84	160,3
0,30	-43,19	53,22	164,6
0,40	-40,01	52,58	168,8
0,50	-36,87	51,91	172,9
0,60	-33,78	51,21	176,8
0,70	-30,72	50,47	180,5
0,80	-27,70	49,71	184,1
0,90	-24,73	48,90	187,6
1,00	-21,79	48,06	190,9
1,10	-18,90	47,18	194,1
1,20	-16,05	46,25	197,1
1,30	-13,23	45,28	200,0
1,40	-10,46	44,26	202,8
1,50	-7,74	43,18	205,4
1,60	-5,05	42,05	207,8
1,70	-2,41	40,86	210,2
1,80	0,19	39,60	212,4
1,90	2,75	38,27	214,4
2,00	5,26	36,86	216,4
2,10	7,73	35,37	218,2
2,20	10,15	33,80	219,8
2,30	12,53	32,14	221,4
2,40	14,86	30,38	222,8
2,50	17,14	28,51	224,1
2,60	19,40	26,55	225,3
2,70	21,63	24,50	226,3
2,80	23,83	22,35	227,3
2,90	26,00	20,10	228,1
3,00	28,14	17,74	228,9
3,10	30,24	15,29	229,5
3,20	32,31	12,74	230,0
3,30	34,35	10,09	230,4
3,40	36,35	7,34	230,7
3,50	38,31	4,50	230,9

29 di 31

3,60	40,23	1,59	231,0
3,70	42,11	-1,40	231,0
3,80	43,95	-4,45	230,9
3,90	45,75	-7,54	230,7
4,00	47,50	-10,66	230,5
4,10	49,21	-13,80	230,1
4,20	50,88	-16,93	229,6
4,30	52,51	-20,04	229,1
4,40	54,09	-23,10	228,5
4,50	55,64	-26,11	227,8
4,60	57,14	-29,05	227,0
4,70	58,60	-31,91	226,1
4,80	60,03	-34,66	225,2
4,90	61,41	-37,32	224,2
5,00	62,76	-39,86	223,1
5,10	64,08	-42,28	221,9
5,20	65,37	-44,59	220,7
5,30	66,62	-46,77	219,4
5,40	67,84	-48,84	218,1
5,50	69,04	-50,79	216,7
5,60	70,21	-52,63	215,2
5,70	71,36	-54,37	213,6
5,80	72,49	-56,00	212,0
5,90	73,59	-57,53	210,3
6,00	74,67	-58,96	208,6
6,10	75,73	-60,31	206,8
6,20	76,78	-61,58	204,9
6,30	77,81	-62,77	202,9
6,40	78,82	-63,89	200,9
6,50	79,82	-64,94	198,8
6,60	80,80	-65,93	196,7
6,70	81,77	-66,85	194,4
6,80	82,73	-67,73	192,2
6,90	83,68	-68,55	189,8
7,00	84,62	-69,32	187,4
7,10	85,54	-70,06	184,9
7,20	86,46	-70,75	182,3
7,30	87,37	-71,40	179,6
7,40	88,26	-72,01	176,9
7,50	89,16	-72,60	174,1

7,60	90,04	-73,15	171,3
7,70	90,91	-73,67	168,3
7,80	91,78	-74,17	165,3
7,90	92,64	-74,64	162,2
8,00	93,50	-75,09	159,1
8,10	94,35	-75,51	155,8
8,20	95,19	-75,92	152,5
8,30	96,03	-76,31	149,1
8,40	96,86	-76,67	145,7
8,50	97,69	-77,03	142,1
8,60	98,51	-77,36	138,5
8,70	99,33	-77,68	134,8
8,80	100,15	-77,99	131,0
8,90	100,96	-78,28	127,1
9,00	101,76	-78,56	123,2
9,10	102,57	-78,86	119,2
9,20	103,37	-79,16	115,1
9,30	104,16	-79,48	110,8
9,40	104,95	-79,80	106,5
9,50	105,74	-80,13	102,0
9,60	106,53	-80,46	97,4
9,70	107,32	-80,78	92,7
9,80	108,10	-81,11	87,8
9,90	108,88	-81,43	82,7
10,00	109,65	-81,74	77,5
10,10	110,43	-82,04	72,0
10,20	111,20	-82,34	66,4
10,30	111,97	-82,63	60,5
10,40	112,74	-82,91	54,5
10,50	113,51	-83,18	48,2
10,60	114,28	-83,44	41,6
10,70	115,04	-83,70	34,8
10,80	115,81	-83,94	27,8
10,90	116,57	-84,17	20,4
11,00	117,33	-84,39	12,8
11,10	118,09	-84,61	4,9
11,16	118,55	-84,73	0,0

Bari, 12 febbraio 2019

SIT&A s.r.l.

(ing. Tommaso Farenaga)

31 di 31

SEDE LECCE: via C. Battisti, 58 – 73100 Lecce

SEDE BARI: via O. Mazzitelli, 264 – 70124 Bari

 sito web: www.sitea.info e-mail: info@sitea.info

Tel./Fax: 080/9909280

Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015

