

# REGIONE SARDEGNA

Provincia del Nord-Est Sardegna

## COMUNI DI LURAS E TEMPIO PAUSANIA



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	25/02/22	FURNO C.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	31/01/22	FURNO C.	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:

# VGE 04

## Volta Green Energy

Piazza Manifattura, 1 - 38068 Rovereto (TN)  
Tel. +39 0464 625100 - Fax +39 0464 625101 - PEC vge04@legalmail.it



Società di Progettazione:



Ingegneria & Innovazione

Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409  
Web: [www.antexgroup.it](http://www.antexgroup.it) e-mail: [info@antexgroup.it](mailto:info@antexgroup.it)

Progetto:

### PARCO EOLICO PETRA BIANCA

Progettista/Resp. Tecnico

Elaborato:

### RELAZIONE GITTATA MASSIMA ELEMENTI ROTANTI

Dott. Ing. Cesare Furno  
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Catania  
n° 6130 sez. A

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C20042S05-VA-RT-08-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Livello:

## DEFINITIVO

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.

ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification



## INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	ROTTURA ELEMENTI ROTANTI E CALCOLO DELLA RELATIVA GITTATA .....	5
2.1.	Forze agenti sulla traiettoria .....	6
2.2.	Rottura della pala alla radice e calcolo gittata nel “Worst Case” .....	7
2.3.	Il caso studio e considerazioni nel Real Case.....	15
2.4.	Probabilità di accadimento.....	39
3.	CONCLUSIONI .....	42

## 1. PREMESSA

VGE 04 S.r.l. (di seguito anche la “Società”) è una società appartenente al Gruppo Volta Green Energy (di seguito anche “VGE”).

Volta Green Energy, con sede in 38068 Rovereto (TN), Piazza Manifattura n. 1, iscritta alla CCIAA di Trento al n° 02469060228, REA TN – 226969, Codice Fiscale e Partita IVA 02469060228 opera nel settore della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e nasce dall’esperienza più che decennale di professionisti, con oltre 500 MW di parchi eolici e 100 MW di impianti fotovoltaici sviluppati, costruiti e gestiti.

Ad oggi, Volta Green Energy impiega poco più di una ventina di risorse e svolge in proprio la ricerca, lo sviluppo e la costruzione di nuovi progetti.

Ogni attività è svolta sulla base della conoscenza delle specifiche criticità e nel rispetto degli equilibri sociali, ambientali e territoriali in cui si inseriscono gli impianti in esercizio e le nuove iniziative.

Le attività svolte da Volta Green Energy afferiscono all’intero processo che porta alla produzione di energia da fonti rinnovabili: sviluppo di nuovi progetti, finanziamento, costruzione, Operation & Maintenance, vendita dell’energia; queste attività coinvolgono direttamente l’ambiente e le comunità dove sono presenti gli impianti. Per questo, Volta Green Energy è dotata di un Sistema di Gestione Integrato che include temi etici e legali (D.Lgs. 231/01), requisiti di sistema ambientale (ISO 14001:2015) e di gestione salute e sicurezza (UNI ISO 45001:2018).

Volta Green Energy ha recentemente completato i lavori di una delle prime installazioni eoliche in Italia che, da aprile 2020 con successo, è operativa su base merchant, e cioè si sostiene economicamente senza il ricorso a produzione incentivata.

Si tratta di due ampliamenti di un parco eolico già in esercizio da 48 MW con una potenza aggiuntiva di 18 MW. Tutte le altre attività di realizzazione dei due impianti (ingegneria, permitting, lavori civili ed elettrici, acquisti, consulenze, ecc), le attività di collaudo, nonché gestione, coordinamento e armonizzazione tra tutti i diversi soggetti coinvolti e le rispettive attività, sono state svolte da Volta Green Energy, le cui professionalità avevano portato avanti anche lo sviluppo delle iniziative.

Oggi Volta Green Energy, insieme ad un partner di primaria importanza nel settore delle energie rinnovabili, sta realizzando un impianto eolico della potenza di circa 44 MW, costituito da 9 aerogeneratori dopo aver portato avanti direttamente anche lo sviluppo dell’iniziativa.

VGE 04, anch’essa con sede in 38068 Rovereto (TN), Piazza Manifattura n. 1, iscritta alla CCIAA di Trento al n° 02630420228, REA n° TN - 238605, Codice Fiscale e Partita IVA 02630420228, ha in progetto la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, mediante l’installazione di 14 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6 MW, per una potenza complessiva di 84 MW, sito nei Comuni di Luras e di Tempio Pausania, in provincia del Nord-Est Sardegna (di seguito anche “Parco Eolico Petra Bianca”).

Secondo quanto previsto dalla soluzione di connessione con Codice Pratica 202002705, rilasciata da Terna SpA in data 14/04/2021, poi accettata in data 21/05/2021, l'impianto si collegherà alla RTN per la consegna della energia elettrica prodotta attraverso una sottostazione elettrica utente di trasformazione e consegna (di seguito anche "SSEU") da collegare in antenna a 150 kV sulla nuova Stazione Elettrica (SE) di Smistamento della RTN a 150 kV in GIS denominata "Tempio" da inserire in entra – esce alla linea 150 kV "Olbia - Tempio" previa realizzazione di un nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150 kV tra la SE di Santa Teresa e la nuova SE Buddusò.

Il modello tipo di aerogeneratore (di seguito anche "WTG") scelto, dopo opportune considerazioni tecniche ed economico finanziarie, è il modello tipo Siemens Gamesa SG170 da 6 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questo modello tipo di aerogeneratore è allo stato attuale quello ritenuto più idoneo per il sito di progetto dell'impianto.

L'area interessata dal posizionamento degli aerogeneratori ricade in località Silonis, Calvonaiu, Cae'e Figu/Labias e Bisettara del Comune di Luras e in località La Menta, Monte Cuscuscione, Padru di Lampada, Petra Ruia, Li Espi, Funtana di casa, Tanca Longa e Bonifica Padulo del Comune di Tempio Pausania entrambi in provincia di Nord-Est Sardegna, su una superficie prevalentemente destinata a pascolo.

I terreni sui quali si intende realizzare l'impianto sono tutti di proprietà privata; di questi, quelli su cui è prevista l'installazione degli aerogeneratori sono per lo più già nella disponibilità della Società proponente. Il territorio è caratterizzato da un'orografia prevalentemente collinare, le posizioni delle macchine hanno all'incirca un'altitudine che varia dai 260 m ai 520 m s.l.m.

Il parco eolico in progetto convoglierà l'energia prodotta verso la Sotto Stazione Elettrica (SSEU) in progetto di proprietà di VGE 04 S.r.l. nel Comune di Calangianus, in provincia del Nord-Est Sardegna, nelle particelle 216 e 213 del foglio 45, per la trasformazione e la consegna dell'energia elettrica alla rete di trasmissione nazionale.

Detta Sotto Stazione sarà collegata alla stazione 150 kV "Tempio" nel Comune di Calangianus, in provincia del Nord-Est Sardegna, in catasto nel foglio 45, particella n. 271, da connettere alla rete di trasmissione nazionale.

L'elettrodotto in media tensione ("MT") collegherà tutti gli aerogeneratori e serve per il vettoriamento dell'energia elettrica prodotta dagli stessi fino alla sottostazione elettrica utente. Un breve tratto di elettrodotto, previsto all'interno di una strada pubblica, ricadrà anche nel territorio del Comune di Aggius.

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl, con sede in Siracusa.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale, nel settore della transizione ecologica e non solo.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze tecniche, ingegneristiche, ambientali, gestionali, legali e di finanza agevolata.

La società pone a fondamento delle proprie attività ed iniziative, i principi fondamentali della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

## 2. ROTTURA ELEMENTI ROTANTI E CALCOLO DELLA RELATIVA GITTATA

La seguente analisi scaturisce dai potenziali rischi dovuti alla presenza di componenti di grandi dimensioni in movimento e consiste nello stimare la distanza dall'aerogeneratore entro la quale, in presenza di un'eventuale rottura degli elementi rotanti, un distacco con lancio di una pala possa rappresentare un rischio. Queste possono essere strappate dalla loro sede e lanciate con una quantità di moto abbastanza elevata da raggiungere distanze abbastanza importanti. La traiettoria dipende dall'energia cinetica iniziale al momento del rilascio, dalle condizioni anemologiche, dalle proprietà aerodinamiche dell'elemento e dalla sue dimensioni e dal punto della circonferenza di rotazione da cui si stacca, oltre dall'altezza della torre e dalla potenza della macchina eolica. Nella trattazione che segue si adopereranno delle semplificazioni come, ad esempio, considerare all'interno del calcolo il contributo degli effetti gravitazionali ed escludere, invece, i contributi aerodinamici. Tener conto di questi ultimi significherebbe considerare un numero significativo di variabili come, tra le tante, la pala che viene lanciata sia in termini di massa sia in termini di contributi aerodinamici oltre a dover fissare le condizioni di vento all'atto della rottura, la distribuzione delle velocità lungo il pezzo staccato e la distribuzione delle velocità del vento lungo la traiettoria. È vero che i contributi aerodinamici potrebbero aumentare il tempo di volo e quindi la gittata ma è anche vero che, per compensare, non verrà tenuto conto della presenza dell'aria che genera comunque delle forze di resistenza viscosse che agendo sulla superficie della pala ne riducono tempo di volo e distanza. Inoltre, queste ipotesi risultano conservative considerando che in letteratura si registra, a causa degli effetti di attrito, una diminuzione del tempo di volo anche del 20% ("Blade throw calculation under normal operating conditions" VESTAS AS Denmark July 2001), ponendoci in una situazione di maggiore sicurezza.

Le pale di un aerogeneratore sono fissate al mozzo e vi è un sistema di controllo che ne modifica costantemente l'orientamento rispetto alla direzione del vento, per offrire allo stesso sempre il medesimo profilo alare garantendo, indipendentemente dalla direzione del vento, un solo verso di rotazione.

La tipologia di macchina di riferimento per il nostro calcolo avrà le seguenti caratteristiche:

Altezza al Mozzo	115 m
Diametro Rotore	170 m
Lunghezza singola Pala	83,50 m
Area Spazzata	22.698 m <sup>2</sup>
Numero Pale	3

Senso di Rotazione	Orario
Velocità di Rotazione Max a regime del Rotore	10,6 rpm
Potenza Nominale Turbina	6,0 MW
Cut-Out	25 m/s
Cut-in	3 m/s
Posizione Baricentro della pala a partire dalla radice	27,83 m

Le modalità di rottura della pala possono essere assai diverse. Essendo un organo in rotazione è soggetto alla forza centripeta che va equilibrata con l'azione della struttura della torre stessa. Per minimizzare tale forza, la pala è costruita in materiale leggero; normalmente si utilizzano materiali compositi che sfruttano le caratteristiche meccaniche così da far fronte ai carichi aerodinamici imposti.

Le modalità di rottura che più frequentemente si potrebbe venire a verificare è del tipo "Rottura alla Radice".

## 2.1. Forze agenti sulla traiettoria

La determinazione delle forze e dei momenti agenti sulla pala a causa di una rottura istantanea durante il moto rotazionale, come detto precedentemente, è molto complessa.

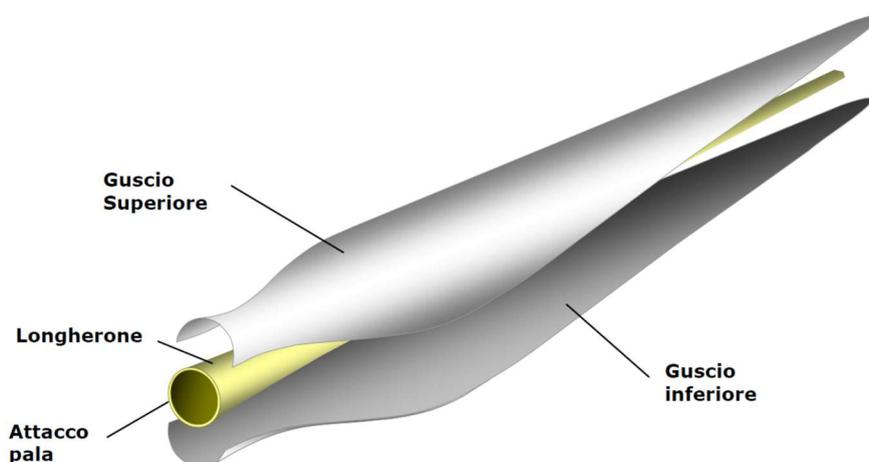
La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dalle forze generalizzate inerziali agenti sulla pala. La pala quindi, quando inizierà il suo moto, continuerà a ruotare (conservazione della quantità di moto).

L'unica forza inerziale agente in questo caso è la forza di gravità. La durata del volo considerato è determinata considerando la velocità verticale iniziale applicata al centro di gravità. Il tempo risultante è usato per calcolare la distanza orizzontale (gittata) nel piano e fuori dal piano. La gittata è determinata dalla velocità orizzontale al momento del distacco. Non prendendo in considerazione le caratteristiche aerodinamiche proprie della pala, la gittata maggiore si avrebbe nel caso di distacco in corrispondenza della posizione a 45 gradi e di moto "a giavellotto" del frammento. Nella realtà la pala ha una complessità aerodinamica tale per cui il verificarsi di queste condizioni è praticamente impossibile: le forze di resistenza viscosa, le azioni del vento ed il moto di rotazione complesso dovuto al profilo aerodinamico della pala, si oppongono al moto riducendone tempo e distanza di volo.

## 2.2. Rottura della pala alla radice e calcolo gittata nel “Worst Case”

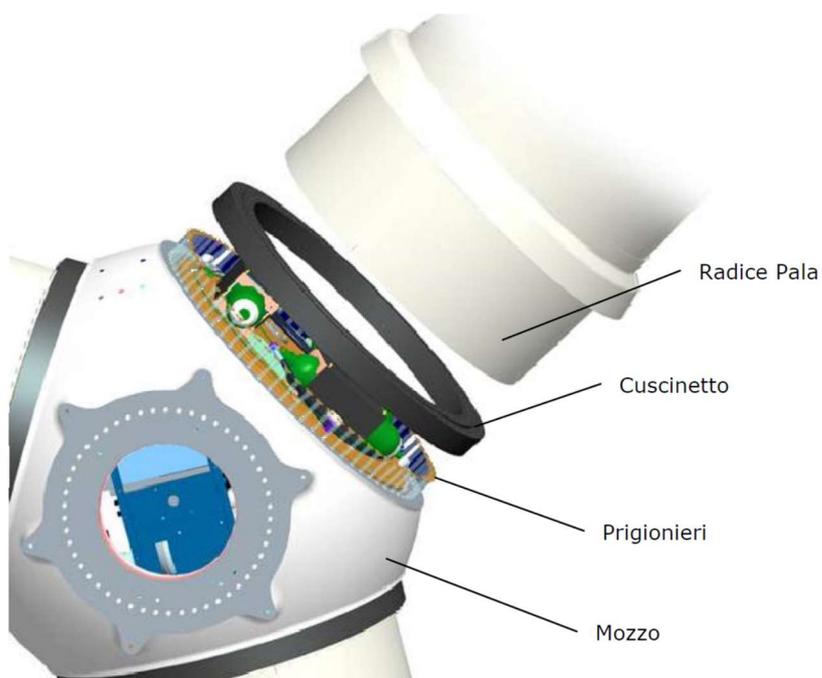
Questo tipo di incidente, che comporta il distacco di una pala completa dal rotore dell’aerogeneratore, può essere determinato dalla rottura della giunzione bullonata fra la pala ed il mozzo.

Le pale sono costituite da una parte strutturale (longherone) posizionata all’interno della pala e da una parte esterna (gusci) che ha sostanzialmente compiti di forma. Le tre parti, il longherone e i due gusci, sono uniti fra loro mediante incollaggio e, alla fine del processo produttivo, costituiscono un corpo unico.



**Figura 1** Stratificazione della struttura di una pala

Il longherone è dotato di attacchi filettati che consentono di collegarlo al mozzo con bulloni (prigionieri) serrati opportunamente durante l’installazione della turbina. Il precarico conferito ai prigionieri durante il serraggio ha un’influenza determinante sulla resistenza dei prigionieri stessi ai carichi di fatica, per questo motivo è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina. L’errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono determinare la rottura per fatica dei bulloni e al distacco della pala.



**Figura 2** Collegamento pala-mozzo

Per la stima della gittata massima dell'intera pala si impongono alcune ipotesi semplificative:

- distacco netto ed istantaneo di una intera pala alla sua radice;
- assenza di attriti viscosi durante il volo;
- distacco alla rotazione massima di funzionamento;
- vento presente durante tutto il volo della pala con velocità corrispondente alla velocità massima di funzionamento;
- assenza di effetti di "portanza" del profilo alare.

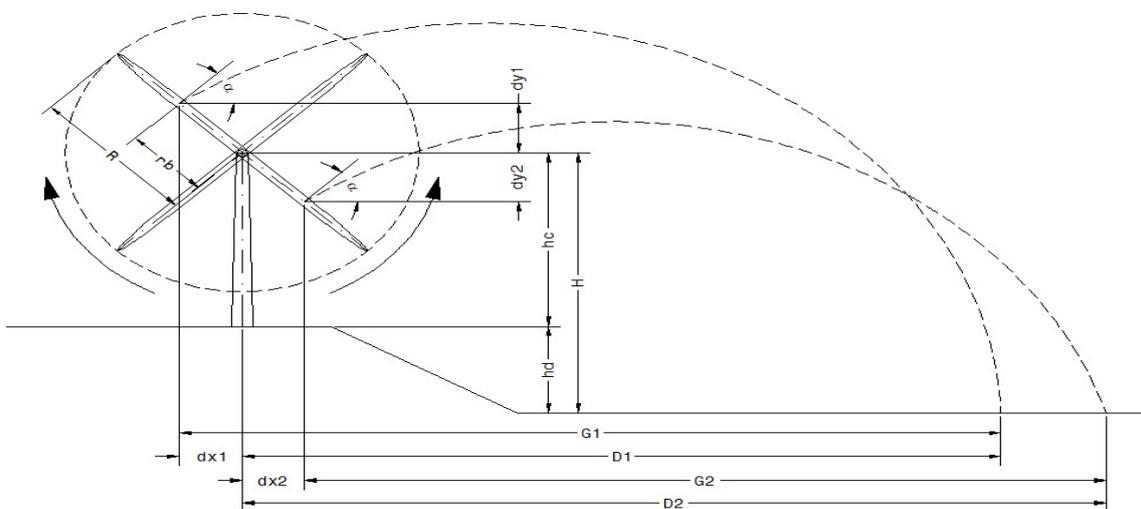


Figura 3 Schema grafico di gittata

Il moto considerato è di tipo rotazionale, cioè quello fisicamente più probabile. Non viene considerata la possibilità, puramente teorica, che il corpo assuma una traiettoria "a giavellotto".

Inoltre, ponendosi nelle condizioni peggiori possibili (WORST CASE) e come precedentemente illustrato, viene trascurata la presenza dell'aria che nella realtà genera forze di resistenza al moto che ne ridurrebbero tempo di volo e distanza di caduta.

$$\left\{ \begin{array}{l} z = -g \text{ nella direzione verticale} \\ x = 0 \text{ nella direzione orizzontale} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z = h + vt \sin\alpha - \frac{1}{2} gt^2 \\ x = vt \cos\alpha \end{array} \right.$$

Il corpo tocca terra per  $z=0$  per cui risulta:

$$h + vt \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{2} gt^2 = 0$$

La soluzione dell'equazione di secondo grado per tempi positivi è:

$$t = \frac{1}{g} \left( v \operatorname{sen} \alpha + \sqrt{v^2 \operatorname{sen}^2 \alpha + 2gh} \right)$$

Pertanto, quando il corpo raggiunge terra è:

$$x = \frac{v}{g} \cos \alpha \left( v \operatorname{sen} \alpha + \sqrt{v^2 \operatorname{sen}^2 \alpha + 2gh} \right)$$

Ovvero:

$$\frac{x}{h} = \frac{v^2}{2gh} 2 \cos \alpha \operatorname{sen} \alpha \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2gh}{v^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}} \right)$$

Il valore massimo di  $x_G$  (indicato nel grafico precedente con G e rappresentante la massima gittata del baricentro del corpo), dipende dall'angolo di lancio  $\alpha$  e bisognerà quindi trovare il massimo della funzione:

$$x_G(\alpha) = \frac{\omega^2 L^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{2g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2g(H + L \cos \alpha)}{\omega^2 L^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}} \right] + L \operatorname{sen} \alpha$$

Chiamiamo con "n" il numero di giri al minuto primo compiuti dal corpo in movimento circolare. Tenuto conto che ad ogni giro l'angolo descritto dal corpo in movimento è pari a  $2\pi$  radianti, per n giri avremo  $2\pi n$  radianti/minuto, che è appunto la velocità angolare  $\omega$  del corpo in movimento. Volendo esprimere la velocità angolare in radianti al secondo avremo:

$$\omega = 2\pi n / 60 \text{ rad/sec}$$

Il baricentro della pala verrà assunto a circa un terzo della lunghezza della pala stessa e cioè a circa 27,83 m a partire dalla radice della stessa, e ad una distanza dal centro di rotazione pari a circa  $r_b = 29,33$  m, dovendo aggiungere ulteriori 1,50 m considerando che il diametro dell' Hub è pari a circa 3,0 m.

Il produttore dichiara che la velocità massima del rotore a pieno regime è di  $n = 10,6$  rpm.

Per determinare la velocità del baricentro della pala basta moltiplicare la distanza del baricentro dal centro di rotazione

per la velocità angolare. Per questa velocità angolare, la velocità periferica del baricentro della pala risulta pari a:

$$v_o = \omega r_b = 2\pi n/60 r_b = 32,56 \text{ m/sec}$$

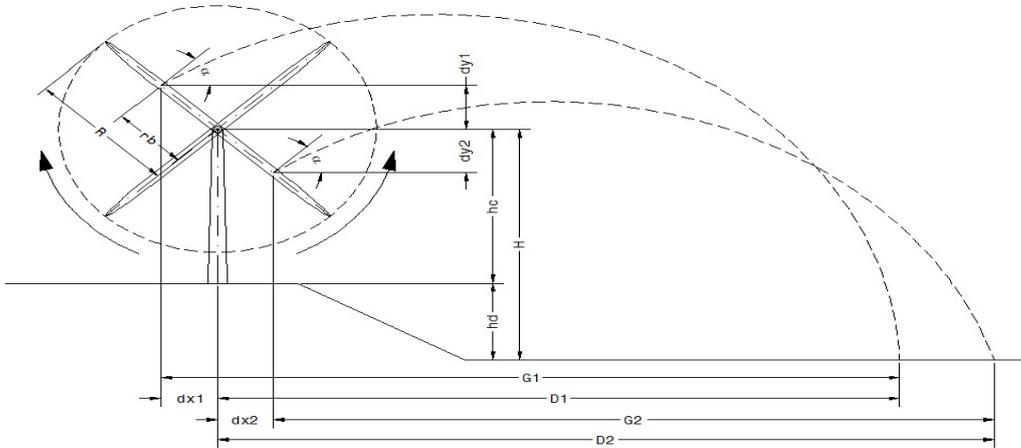
posizione e velocità iniziale sono determinati anche dall'angolo  $\alpha$  (angolo con l'orizzontale e la normale al moto) della pala al momento del distacco. Sostituendo all'espressione ricavata per T e interpolandola con i diversi valori assunti dall'angolo di lancio  $\alpha$ , si ottiene il tempo di volo e il valore massimo di gittata del baricentro del corpo:

t1	x1	y1
[s]	[m]	[m]
0,00	-24,58	131,01
0,07	-22,59	132,28
0,15	-20,60	133,49
0,22	-18,62	134,66
0,29	-16,63	135,77
0,36	-14,64	136,83
0,44	-12,65	137,84
0,51	-10,66	138,79
0,58	-8,67	139,70
0,66	-6,69	140,55
0,73	-4,70	141,35
0,80	-2,71	142,10
0,87	-0,72	142,79
0,95	1,27	143,44
1,02	3,26	144,03
1,09	5,25	144,57
1,17	7,23	145,06
1,24	9,22	145,49
1,31	11,21	145,87
1,38	13,20	146,21
1,46	15,19	146,48
1,53	17,18	146,71
1,60	19,16	146,89
1,68	21,15	147,01
1,75	23,14	147,08
1,82	25,13	147,10
1,89	27,12	147,06
1,97	29,11	146,98

t2	x2	y2
[s]	[m]	[m]
0,00	26,56	102,55
0,06	28,39	103,39
0,12	30,21	104,19
0,19	32,04	104,95
0,25	33,87	105,67
0,31	35,69	106,36
0,37	37,52	107,01
0,43	39,34	107,62
0,50	41,17	108,19
0,56	42,99	108,73
0,62	44,82	109,23
0,68	46,65	109,69
0,74	48,47	110,11
0,81	50,30	110,50
0,87	52,12	110,84
0,93	53,95	111,16
0,99	55,78	111,43
1,05	57,60	111,66
1,11	59,43	111,86
1,18	61,25	112,02
1,24	63,08	112,14
1,30	64,91	112,23
1,36	66,73	112,27
1,42	68,56	112,28
1,49	70,38	112,25
1,55	72,21	112,19
1,61	74,04	112,08
1,67	75,86	111,94

2,04	31,10	146,84	1,73	77,69	111,76
2,11	33,08	146,65	1,80	79,51	111,55
2,19	35,07	146,41	1,86	81,34	111,29
2,26	37,06	146,11	1,92	83,17	111,00
2,33	39,05	145,77	1,98	84,99	110,67
2,40	41,04	145,37	2,04	86,82	110,30
2,48	43,03	144,92	2,11	88,64	109,90
2,55	45,01	144,42	2,17	90,47	109,46
2,62	47,00	143,86	2,23	92,29	108,98
2,70	48,99	143,25	2,29	94,12	108,46
2,77	50,98	142,60	2,35	95,95	107,90
2,84	52,97	141,89	2,42	97,77	107,31
2,91	54,96	141,12	2,48	99,60	106,68
2,99	56,94	140,31	2,54	101,42	106,01
3,06	58,93	139,44	2,60	103,25	105,31
3,13	60,92	138,52	2,66	105,08	104,56
3,21	62,91	137,55	2,72	106,90	103,78
3,28	64,90	136,53	2,79	108,73	102,96
3,35	66,89	135,45	2,85	110,55	102,11
3,43	68,88	134,32	2,91	112,38	101,21
3,50	70,86	133,14	2,97	114,21	100,28
3,57	72,85	131,91	3,03	116,03	99,31
3,64	74,84	130,63	3,10	117,86	98,31
3,72	76,83	129,29	3,16	119,68	97,26
3,79	78,82	127,90	3,22	121,51	96,18
3,86	80,81	126,46	3,28	123,34	95,06
3,94	82,79	124,97	3,34	125,16	93,90
4,01	84,78	123,42	3,41	126,99	92,71
4,08	86,77	121,83	3,47	128,81	91,48
4,15	88,76	120,18	3,53	130,64	90,21
4,23	90,75	118,48	3,59	132,47	88,90
4,30	92,74	116,73	3,65	134,29	87,55
4,37	94,72	114,92	3,72	136,12	86,17
4,45	96,71	113,06	3,78	137,94	84,75
4,52	98,70	111,15	3,84	139,77	83,29
4,59	100,69	109,19	3,90	141,59	81,80
4,66	102,68	107,18	3,96	143,42	80,26
4,74	104,67	105,11	4,03	145,25	78,69
4,81	106,66	103,00	4,09	147,07	77,08

4,88	108,64	100,83	4,15	148,90	75,44
4,96	110,63	98,61	4,21	150,72	73,75
5,03	112,62	96,33	4,27	152,55	72,03
5,10	114,61	94,01	4,34	154,38	70,27
5,17	116,60	91,63	4,40	156,20	68,47
5,25	118,59	89,20	4,46	158,03	66,64
5,32	120,57	86,71	4,52	159,85	64,77
5,39	122,56	84,18	4,58	161,68	62,86
5,47	124,55	81,59	4,64	163,51	60,91
5,54	126,54	78,96	4,71	165,33	58,93
5,61	128,53	76,26	4,77	167,16	56,90
5,68	130,52	73,52	4,83	168,98	54,84
5,76	132,51	70,73	4,89	170,81	52,75
5,83	134,49	67,88	4,95	172,64	50,61
5,90	136,48	64,98	5,02	174,46	48,44
5,98	138,47	62,03	5,08	176,29	46,23
6,05	140,46	59,03	5,14	178,11	43,98
6,12	142,45	55,97	5,20	179,94	41,69
6,19	144,44	52,86	5,26	181,77	39,37
6,27	146,42	49,70	5,33	183,59	37,01
6,34	148,41	46,49	5,39	185,42	34,61
6,41	150,40	43,23	5,45	187,24	32,17
6,49	152,39	39,91	5,51	189,07	29,70
6,56	154,38	36,54	5,57	190,89	27,19
6,63	156,37	33,12	5,64	192,72	24,64
6,70	158,35	29,65	5,70	194,55	22,05
6,78	160,34	26,13	5,76	196,37	19,43
6,85	162,33	22,55	5,82	198,20	16,76
6,92	164,32	18,92	5,88	200,02	14,06
7,00	166,31	15,24	5,95	201,85	11,33
7,07	168,30	11,51	6,01	203,68	8,55
7,14	170,29	7,73	6,07	205,50	5,74
7,21	172,27	3,89	6,13	207,33	2,89
7,29	174,26	0,00	6,19	209,15	0,00



g	V. pale	R	rb	hc
[m/s <sup>2</sup> ]	[giri/min]	[m]	[m]	[m]
9,81	10,60	85,00	29,33	115,00

Vo	H
[m/s]	[m]
32,56	115,00

L. pala	D. rotore
[m]	[m]
83,50	170,00

H + rb	D (SIA)
[m]	[m]
144,33	176,63

$\alpha$	Vox	Voy	dx1	dy1	H1	t1	G1	D1
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
33,07	27,29	17,77	24,58	16,01	131,01	7,29	198,84	174,26

$\alpha$	Vox	Voy	dx2	dy2	H2	t2	G2	D2
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
25,11	29,48	13,82	26,56	12,45	102,55	6,19	182,59	209,15

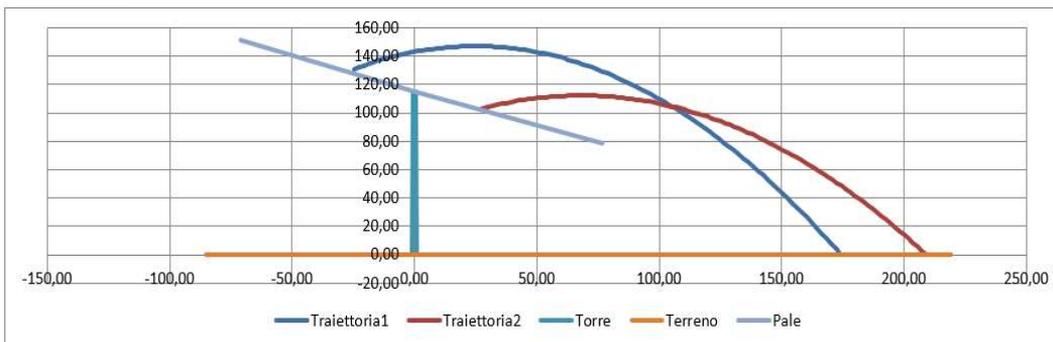


Figura 4 Calcolo della gittata mediante interpolazione dei valori assunti dall'angolo di lancio  $\alpha$  in WORST CASE

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.

Comm.: C20-042-S05

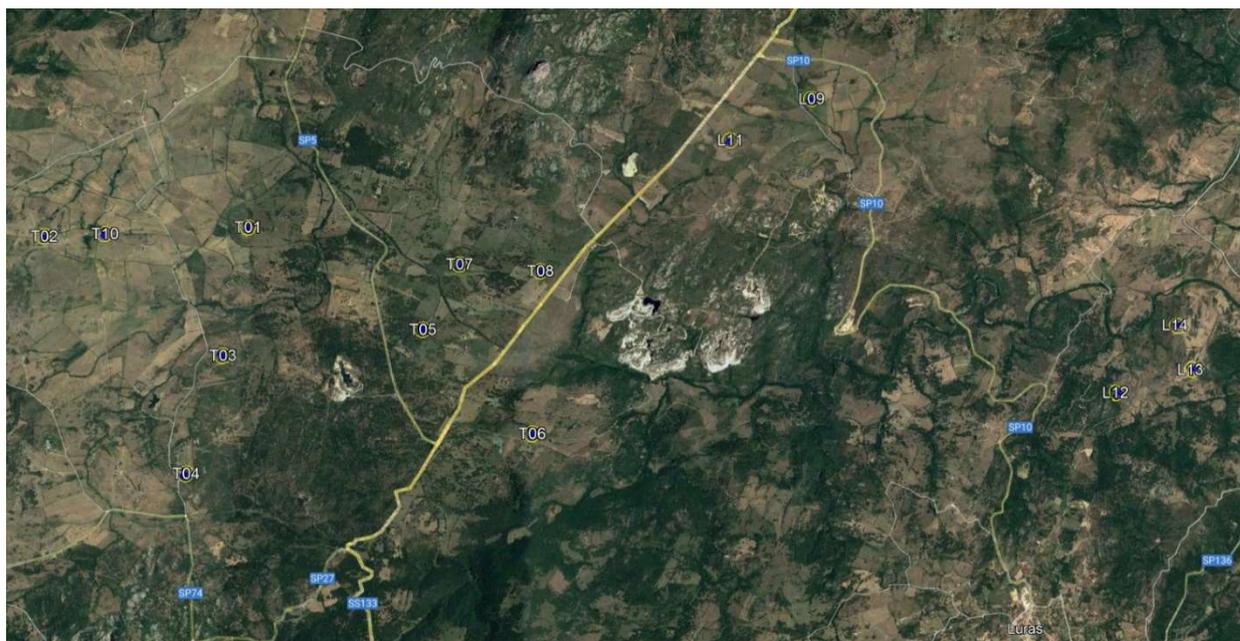
ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification



come si evidenzia dal grafico e dalle tabelle sopra riportate il valore massimo che assume la gittata al baricentro è  $G_2$ , pari a 182,59 m, con un angolo di distacco  $\alpha$  con l'orizzontale e la normale al moto pari a  $25,11^\circ$ , ai quali bisogna aggiungere la componente orizzontale  $d_{x2}$  come distanza del baricentro dall'asse torre al momento del distacco pari a 26,56 m per una distanza  $D_2$  totale pari a 209,15 m. Nell'ipotesi che la pala, a seguito di rottura accidentale, continui a spostarsi lungo l'asse ortogonale al proprio piano e che arrivi a toccare il suolo con la sua estremità più lunga nel verso del moto, a tale valore dovrà aggiungersi la distanza del vertice della pala più distante dal baricentro e cioè circa 55,66 m, per un valore complessivo della gittata pari a circa  $D_{tot}$  di 264,81 m.

### 2.3. Il caso studio e considerazioni nel Real Case

Nello specifico, il presente elaborato ha lo scopo di valutare la possibilità di impatto generato dalla rottura di un elemento rotante di uno dei 14 aerogeneratori proposti su eventuali ricettori posti nelle vicinanze.



**Figura 5** Inquadramento satellitare delle posizioni degli aerogeneratori proposti

La disposizione prevista per i 14 aerogeneratori oggetto di studio è riportata nella tabella sottostante in coordinate UTM WGS84.

**Tabella 1** Coordinate dei 14 aerogeneratori oggetto di studio.

Turbine	Easting	Northing
T-01	506480,000	4536204,000
T-02	504365,000	4536101,000
T-03	506251,000	4534856,000
T-04	505938,000	4533637,000
T-05	508322,000	4535131,000
T-06	509471,000	4534051,000
T-07	508691,000	4535822,000
T-08	509538,000	4535751,000
L-09	512397,000	4537601,000
T-10	505013,000	4536122,000
L-11	511532,000	4537148,000
L-12	515567,000	4534488,000
L-13	516376,000	4534732,000
L-14	516245,000	4535206,000

Di seguito si riporta l'elenco dei ricettori regolarmente censiti al Catasto Fabbricati presenti all'interno del buffer di 300, 500 e 700 metri dalle posizioni delle turbine di impianto come indicato dalla Delib.G.R. n.59/90 del 27.11.2020:

**Tabella 2** Elenco ricettori regolarmente censiti nel raggio di 700 m e oltre dagli aerogeneratori di progetto

CODICE RICETTORE	COORDINATE WGS84		COMUNE	MAPPALE	PARTICELLA	CATEGORIA CATASTALE	WTG DI INFLUENZA	BUFFER (m)
R-01	506761.80 m E	4536186.92 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	59	D/10	T01	300
R-02	506834.00 m E	4536312.00 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	60	D/10	T01	500
R-03	506871.00 m E	4536323.00 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	61	A/4	T01	500
R-04	506399.42 m E	4536601.98 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	71	A/3	T01	500
R-05	506002.75 m E	4537070.63 m N	TEMPIO PAUSANIA	151	224	D/10	T01	1000

*Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
È Vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.*

Comm.: C20-042-S05

ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification



R-06	506096.18 m E	4536766.14 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	66	D/10	T01	700
R-07	505861.79 m E	4536470.50 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	62	C/6	T01	700
R-08	506620.98 m E	4536703.62 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	64	C/6	T01	700
R-09	505781.00 m E	4536366.75 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	62	C/2	T01	1000
R-10	505723.95 m E	4535798.26 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	63	D/10	T01	1000
R-11	504534.21 m E	4536003.05 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	138	F/2	T02	300
R-12	504425.62 m E	4535996.33 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	132	D/10	T02	300
R-13	504569.57 m E	4536421.85 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	142	D/10	T02	500
R-14	504256.40 m E	4536203.93 m N	AGGIUS	153	141	F/2	T02	300
R-15	504208.29 m E	4536302.88 m N	AGGIUS	153	140	F/2	T02	300
				42	99	F/2		
R-16	504193.00 m E	4536310.00 m N	AGGIUS	42	101	F/2	T02	300
R-17	504176.83 m E	4536303.37 m N	AGGIUS	42	102	F/2	T02	300
R-18	503968.84 m E	4536676.47 m N	AGGIUS	42	107	D/10	T02	700
R-19	503969.77 m E	4536662.67 m N	AGGIUS	42	108	D/10	T02	700
R-20	504326.94 m E	4536910.82 m N	AGGIUS	42	86	D/10	T02	1000
R-21	504142.30 m E	4535160.33 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	117	D/10	T02	1000
R-26	504983.31 m E	4535240.45 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	126	C/6	T02	1000
R-27	505067.58 m E	4535269.35 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	134	D/10	T02	1000
R-28	505393.27 m E	4536012.71 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	128	D/10	T10	500
R-29	505381.93 m E	4535979.48 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	129	A/4	T10	500
R-30	505416.03 m E	4536006.90 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	130	C72	T10	500

R-31	505487.08 m E	4536358.50 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	65	D/10	T10	700
R-32	505325.03 m E	4536438.42 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	67	D/10	T10	500
R-33	505401.97 m E	4536523.48 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	68	D/10	T10	700
R-34	505368.48 m E	4536649.94 m N	TEMPIO PAUSANIA	151	159	D/10	T10	700
R-35	507166.62 m E	4534708.93 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	86	D/10	T03	1000
R-36	507236.83 m E	4534640.72 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	81	D/10	T03	1000
R-37	507198.36 m E	4534615.88 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	57	D/10	T03	1000
R-38	507213.70 m E	4534596.78 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	23	D/10	T03	1000
R-39	506340.38 m E	4534092.43 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	34	D/10	T04	700
R-40	506296.30 m E	4534165.25 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	32	D/10	T04	700
R-41	506291.55 m E	4534072.96 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	33	D10	T04	700
R-42	506256.56 m E	4534050.85 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	28	D/10	T04	700
R-43	506373.99 m E	4534060.46 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	38	D/10	T04	700
R-44	506334.50 m E	4534048.15 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	39	D/10	T04	700
R-45	506303.16 m E	4534021.20 m N	TEMPIO PAUSANIA	157	40	D/10	T04	700
R-47	505371.08 m E	4534492.79 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	145	A/3 - D/10	T03	1000
R-48	505356.94 m E	4534532.04 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	135	D/10	T03	1000
R-49	505951.17 m E	4533160.01 m N	AGGIUS	81	458	D/10	T04	500
R-51	506122.80 m E	4533052.19 m N	AGGIUS	81	479	F/2	T04	700
R-52	506143.22 m E	4533071.96 m N	AGGIUS	81	480	F/2	T04	700
R-53	505272.38 m E	4533657.57 m N	AGGIUS	56	77	A/4 - D/10	T04	700

R-54	505390.88 m E	4533788.83 m N	AGGIUS	56	70	D/10	T04	700
R-55	506535.95 m E	4533059.48 m N	AGGIUS	81	443	D/10	T04	1000
R-57	508488.30 m E	4535129.56 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	125	F/2	T05	300
R-58	508479.07 m E	4535097.65 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	141	F/2	T05	300
R-59	508490.41 m E	4535094.18 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	142	F/2	T05	300
R-60	507922.91 m E	4535322.43 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	103	C/2	T05	500
R-62	508775.31 m E	4534947.21 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	100	A/3 - D/10	T05	500
R-63	508732.24 m E	4534886.11 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	99	D/10	T05	500
R-64	508718.31 m E	4534871.33 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	106	D/10	T05	500
R-65	508383.45 m E	4534715.57 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	134	D/10	T05	500
R-66	508399.47 m E	4534700.57 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	130	D/10	T05	500
R-67	508420.44 m E	4534704.73 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	132	D/10	T05	500
R-68	508449.90 m E	4534697.01 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	131	D/10	T05	500
R-69	508481.33 m E	4534680.27 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	135	D/10	T05	500
R-70	508586.99 m E	4534548.92 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	133	D/10	T05	700
R-71	508651.02 m E	4534597.84 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	129	A/3	T05	700
R-72	508670.81 m E	4534617.87 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	136	D/10	T05	700
R-73	508896.33 m E	4535210.56 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	126	D/10	T05	700
R-74	508913.16 m E	4535214.85 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	144	D/10	T05	700
R-76	507739.66 m E	4534780.00 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	105	A/2	T05	700
R-79	508642.21 m E	4534405.23 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	113	C/2	T05	1000

R-80	508644.64 m E	4534395.02 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	112	C/3	T05	1000
R-82	508665.29 m E	4534419.77 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	122	A/4	T05	1000
				155	123			
				155	124			
R-83	509037.12 m E	4534462.52 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	128	C/2	T06	700
R-84	509145.08 m E	4534911.06 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	152	A/3 - E/3	T05	1000
R-85	509171.51 m E	4534983.17 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	151	E/3	T08	1000
R-86	507683.43 m E	4535723.92 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	93	FR	T05	1000
R-87	507719.76 m E	4535748.11 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	94	FR	T05	1000
R-88	507760.90 m E	4535810.81 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	95	FR	T05	1000
R-90	507722.61 m E	4535702.22 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	4	FR	T05	1000
R-92	509683.73 m E	4534096.58 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	132	D/10	T06	300
R-93	509356.55 m E	4534318.48 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	143	C/6	T06	300
R-94	509871.98 m E	4534091.80 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	131	A/3	T06	500
R-95	509166.20 m E	4534438.60 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	130	C/2	T06	500
R-96	509209.62 m E	4534579.44 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	172	A/3 - D/10	T06	700
R-97	510042.56 m E	4533844.45 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	140	D/10	T06	700
R-98	510123.64 m E	4533814.97 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	138	A/4 - D/10	T06	700
R-99	510080.60 m E	4533799.45 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	141	D/10	T06	700
R-100	509897.49 m E	4533595.11 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	157	C/6	T06	700
R-101	509950.49 m E	4533577.00 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	165	A/4	T06	700
R-102	509928.53 m E	4533574.21 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	161	A/4	T06	700

R-103	509148.98 m E	4533686.63 m N	TEMPIO PAUSANIA	160	156	D/10	T06	500
R-104	509136.32 m E	4533657.66 m N	TEMPIO PAUSANIA	160	157	D/10	T06	700
R-105	509107.89 m E	4533621.51 m N	TEMPIO PAUSANIA	160	158	D/10	T06	700
R-106	509073.11 m E	4533613.28 m N	TEMPIO PAUSANIA	160	159	A/4 - D/10	T06	700
R-107	509095.83 m E	4533594.42 m N	TEMPIO PAUSANIA	160	160	D/10	T06	700
R-108	510179.53 m E	4534224.18 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	155	D/10	T06	1000
R-109	508512.61 m E	4534004.73 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	116	D/10	T06	1000
R-110	508495.01 m E	4534029.54 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	121	A/4	T06	1000
R-111	508473.53 m E	4534076.47 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	118	D/10	T06	1000
R-112	508652.66 m E	4536187.27 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	238	D/10	T07	500
R-113	508406.82 m E	4536410.86 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	240	D/10	T07	700
R-114	508715.48 m E	4536468.31 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	242	D/10	T07	700
R-116	509095.82 m E	4536372.96 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	55	FR	T07	700
R-117	509081.29 m E	4536363.10 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	100	FR	T07	700
R-120	509417.45 m E	4536009.90 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	251	C/6	T08	300
R-121	509556.05 m E	4536068.19 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	256	C/2	T08	500
R-122	509499.11 m E	4536231.38 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	257	C/2	T08	500
R-124	508734.27 m E	4536849.12 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	269	D/10	T07	1000
R-125	507879.84 m E	4536131.61 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	301	D/10	T07	1000
R-126	507859.80 m E	4536028.88 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	302	A/3	T07	1000
R-127	509820.87 m E	4536661.73 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	259	D/10	T08	1000

R-128	509817.03 m E	4536614.77 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	260	C/2	T08	1000
R-129	509932.33 m E	4536615.47 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	314	D/10	T08	1000
R-130	509941.13 m E	4536594.21 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	298	A/4	T08	1000
R-131	509984.12 m E	4536456.51 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	320	D/10	T08	1000
R-132	509964.24 m E	4536442.52 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	322	A/3	T08	1000
R-133	509936.80 m E	4536393.87 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	316	D/10	T08	1000
R-134	509675.81 m E	4535058.36 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	145	D/10	T08	700
R-158	511347.90 m E	4536438.05 m N	LURAS	15	52	C/2	L10	500
R-159	511390.86 m E	4536425.74 m N	LURAS	15	53	A/4 - C/2	L10	500
R-160	511380.66 m E	4536389.28 m N	LURAS	15	54	C/2	L10	500
R-161	511395.68 m E	4536358.81 m N	LURAS	15	55	C/6	L10	500
R-162	511231.57 m E	4537192.36 m N	LURAS	5	263	C/2	L10	500
R-163	510801.37 m E	4536868.54 m N	LURAS	5	265	C/6	L10	500
R-164	511999.75 m E	4536319.51 m N	LURAS	15	64	F/2	L11	1000
R-165	511869.54 m E	4536531.44 m N	LURAS	15	66	C/2	L11	700
R-166	511875.84 m E	4536540.72 m N	LURAS	15	65	F/2	L11	700
			LURAS	15	59	F/2	L11	
R-167	511853.74 m E	4536785.52 m N	LURAS	15	74	C/2	L11	500
R-168	511802.85 m E	4536868.30 m N	LURAS	15	71	C/7	L11	500
R-169	511586.29 m E	4537412.64 m N	LURAS	5	278	F/2	L11	300
R-170	511529.90 m E	4537424.40 m N	LURAS	5	272	F/2	L11	300
R-171	511146.51 m E	4537505.80 m N	LURAS	5	165	A/4	L11	700

R-172	510445.05 m E	4536469.11 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	236	D/1	L10	1000
R-173	512173.72 m E	4537152.53 m N	LURAS	5	223	D/10	L09	500
R-174	512158.75 m E	4537166.63 m N	LURAS	5	224	D/10	L09	500
R-175	512187.19 m E	4537185.78 m N	LURAS	5	225	A/3	L09	500
R-176	512206.13 m E	4537143.20 m N	LURAS	5	222	D/10	L09	700
R-177	511835.80 m E	4537750.52 m N	LURAS	5	219	C/6	L09	700
R-178	511543.03 m E	4537792.60 m N	LURAS	5	244	A/3	L11	700
R-179	511554.93 m E	4537806.92 m N	LURAS	5	273	A/3	L11	700
R-180	511456.14 m E	4537816.28 m N	LURAS	5	274	C/6	L11	700
R-182	511481.87 m E	4537862.47 m N	LURAS	5	276	C/6	L11	700
R-183	512260.92 m E	4536460.81 m N	LURAS	12	222	F/2	L11	1000
R-184	512388.30 m E	4536672.12 m N	LURAS	12	271	D/1	L11	1000
R-185	512611.12 m E	4537075.19 m N	LURAS	12	217	D/10	L09	1000
R-186	512465.73 m E	4537334.94 m N	LURAS	12	219	D/10	L09	1000
R-187	512578.53 m E	4537601.03 m N	LURAS	12	249	F/2	L09	1000
R-188	512572.60 m E	4537592.94 m N	LURAS	12	250	F/2	L09	1000
R-189	512116.19 m E	4537987.57 m N	LURAS	5	213	C/6	L09	1000
R-190	512104.87 m E	4537991.71 m N	LURAS	5	215	C/6	L09	1000
R-191	512027.91 m E	4538043.48 m N	LURAS	6	386	C/7	L09	1000
R-192	512036.00 m E	4538040.85 m N	LURAS	6	387	C/2	L09	1000
R-193	511934.04 m E	4538048.43 m N	LURAS	6	203	A/3	L09	1000

R-194	511431.94 m E	4537954.28 m N	LURAS	5	206	F/3	L11	1000
R-195	511471.82 m E	4537953.74 m N	LURAS	5	207	F/3	L11	1000
R-196	511490.36 m E	4537924.83 m N	LURAS	5	208	A/3	L11	1000
R-197	511498.86 m E	4537982.34 m N	LURAS	5	209	C/6 - F/3	L11	1000
R-198	511234.73 m E	4537798.88 m N	LURAS	5	243	D/10	L11	1000
R-199	515585.59 m E	4534933.00 m N	LURAS	17	90	D/10	L12	500
R-200	515967.32 m E	4534730.21 m N	LURAS	17	75	D/10	L13	500
R-201	515980.93 m E	4534716.86 m N	LURAS	17	76	D/10	L13	500
R-202	516142.96 m E	4534581.04 m N	LURAS	17	65	D/10	L13	300
R-203	516194.29 m E	4534581.61 m N	LURAS	20	136	D/10	L13	300
R-204	515216.91 m E	4534209.24 m N	LURAS	17	69	D/10	L12	500
R-205	515188.36 m E	4534188.89 m N	LURAS	17	70	D/10	L12	500
R-206	515213.41 m E	4534178.80 m N	LURAS	17	71	D/10	L12	500
R-207	514922.24 m E	4534491.07 m N	LURAS	17	57	A/3 - F/3	L12	700
R-208	515056.36 m E	4534797.41 m N	LURAS	17	91	F/2	L12	700
R-209	515195.05 m E	4533889.18 m N	LURAS	20	153	D/10	L12	1000
R-211	514823.99 m E	4533975.65 m N	LURAS	20	130	C/6	L12	1000
R-212	514888.59 m E	4534450.48 m N	LURAS	17	58	D/10	L12	700
R-213	514841.78 m E	4534906.22 m N	LURAS	16	288	D/10	L12	1000
R-214	515323.26 m E	4535262.91 m N	LURAS	17	86	D/10	L12	1000
R-215	515335.39 m E	4535332.05 m N	LURAS	17	87	D/10	L12	1000

R-216	515362.78 m E	4535359.51 m N	LURAS	17	78	D/10	L12	1000
R-217	516428.41 m E	4534958.26 m N	LURAS	17	84	D/10	L13	300
R-218	516553.19 m E	4534751.67 m N	LURAS	17	85	D/10	L13	300
R-219	516848.36 m E	4534216.51 m N	LURAS	20	141	C/2	L13	700
R-220	516541.47 m E	4533997.99 m N	LURAS	20	20	FB	L13	1000
R-221	516470.60 m E	4535487.39 m N	LURAS	17	67	D/10	L14	500
R-222	516536.70 m E	4535591.22 m N	LURAS	17	80	D/10	L14	500
R-223	516157.89 m E	4535678.45 m N	LURAS	13	119	C/7	L14	500
				13	120	C/7		
R-224	515751.67 m E	4535552.48 m N	LURAS	13	111	C/2	L14	700
R-225	515762.20 m E	4535562.26 m N	LURAS	13	112	C/2	L14	700
R-226	516335.05 m E	4535781.42 m N	LURAS	13	121	A/4	L14	700
R-227	515445.65 m E	4535563.96 m N	LURAS	16	282	A/3 - F/3	L14	1000
R-228	513083.71 m E	4537611.78 m N	LURAS	12	B	ENTE URBANO	L09	700
R-229	512790.94 m E	4537778.99 m N	LURAS	12	A	ENTE URBANO	L09	500
R-230	512688.25 m E	4537759.65 m N	LURAS	12	221	C/6	L09	500
R-231	512533.22 m E	4537869.87 m N	LURAS	12	256	F/2	L09	500
R-232	512564.48 m E	4537927.90 m N	LURAS	6	358	C/6	L09	500

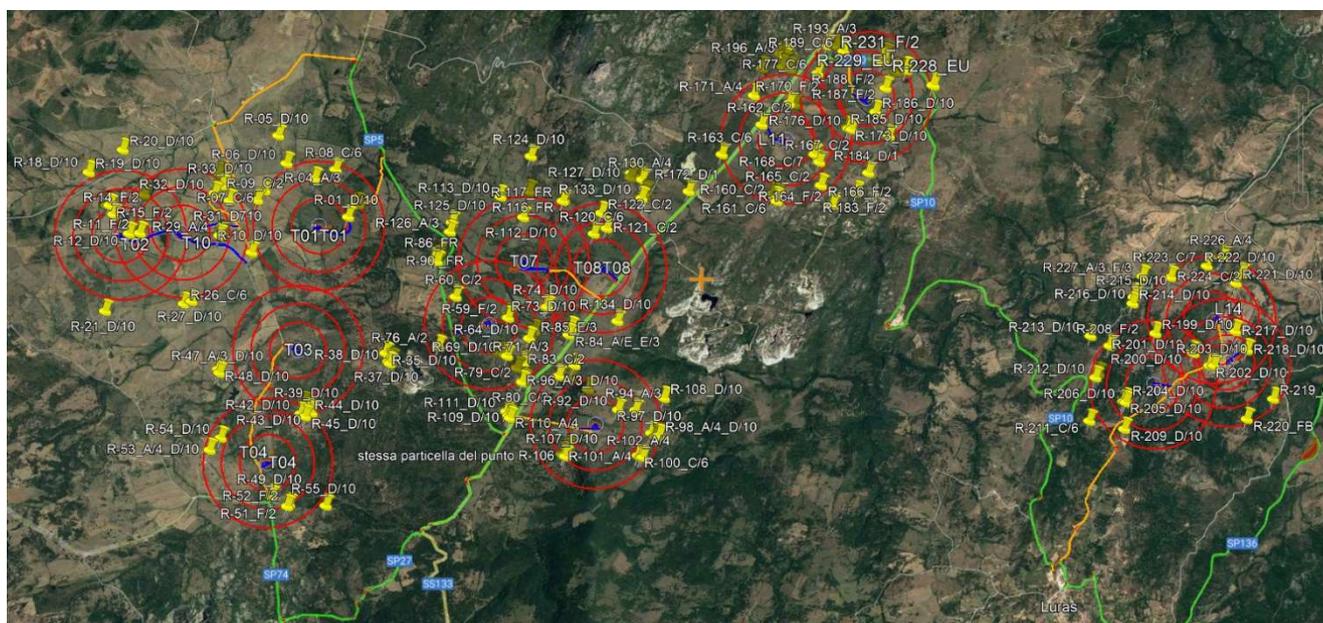


Figura 6 Disposizione dei ricettori (tabella 2) rispetto le Turbine con relativi buffer di 300, 500 e 700 metri

In prima battuta, per restringere il campo d'indagine tra tutti quelli censiti nelle aree di impianto, sono stati selezionati quelli che vengono a trovarsi all'interno del primo livello di buffer (300 m) visto che comunque la gittata precedentemente calcolata nel "worst case" non supera tale valore.

Nella seguente tabella si riportano i ricettori ricadenti in tale buffer:

Tabella 3 Elenco ricettori regolarmente censiti nel raggio di 300 m dagli aerogeneratori

CODICE RICETTORE	COORDINATE WGS84		COMUNE	MAPPALE	PARTICELLA	CATEGORIA CATASTALE	WTG DI INFLUENZA	BUFFER (m)
R-01	506761.80 m E	4536186.92 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	59	D/10	T01	300
R-11	504534.21 m E	4536003.05 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	138	F/2	T02	300
R-12	504425.62 m E	4535996.33 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	132	D/10	T02	300
R-14	504256.40 m E	4536203.93 m N	AGGIUS	153	141	F/2	T02	300
R-15	504208.29 m E	4536302.88 m N	AGGIUS	153	140	F/2	T02	300
				42	99	F/2		

R-16	504193.00 m E	4536310.00 m N	AGGIUS	42	101	F/2	T02	300
R-17	504176.83 m E	4536303.37 m N	AGGIUS	42	102	F/2	T02	300
R-57	508488.30 m E	4535129.56 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	125	F/2	T05	300
R-58	508479.07 m E	4535097.65 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	141	F/2	T05	300
R-59	508490.41 m E	4535094.18 m N	TEMPIO PAUSANIA	155	142	F/2	T05	300
R-92	509683.73 m E	4534096.58 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	132	D/10	T06	300
R-93	509356.55 m E	4534318.48 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	143	C/6	T06	300
R-120	509417.45 m E	4536009.90 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	251	C/6	T08	300
R-169	511586.29 m E	4537412.64 m N	LURAS	5	278	F/2	L11	300
R-170	511529.90 m E	4537424.40 m N	LURAS	5	272	F/2	L11	300
R-202	516142.96 m E	4534581.04 m N	LURAS	17	65	D/10	L13	300
R-203	516194.29 m E	4534581.61 m N	LURAS	20	136	D/10	L13	300
R-217	516428.41 m E	4534958.26 m N	LURAS	17	84	D/10	L13	300
R-218	516553.19 m E	4534751.67 m N	LURAS	17	85	D/10	L13	300

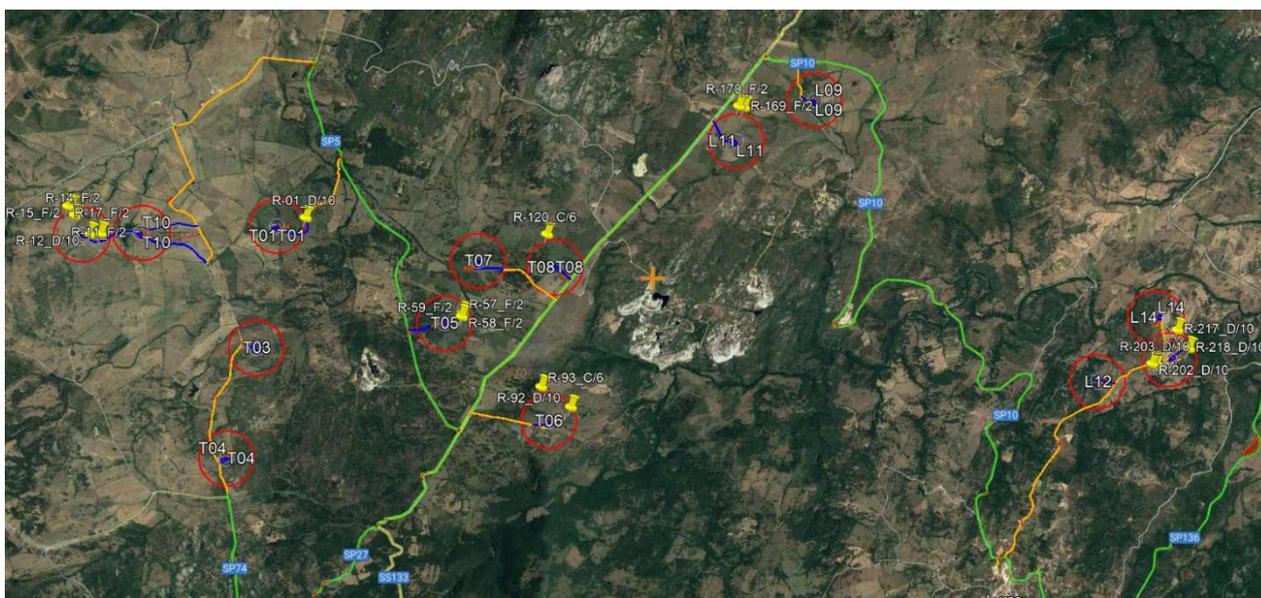
Quindi solo 19 tra tutti i ricettori ricadono all'interno del raggio d'azione dei 300 m e quindi potrebbero essere definiti "ricettori sensibili".

Tra questi ultimi possono essere eliminati ancora i ricettori che riportano la categoria catastale "F/2" in quanto "Unità Collabenti". Questa categoria va attribuita a immobili diroccati, ai ruderi, ovvero ai beni immobili caratterizzati da notevole livello di degrado che ne determina l'assenza di autonomia funzionale e l'incapacità reddituale, temporalmente rilevante quindi, a ragion veduta, possono essere considerati oltre che non abitabili anche inutilizzabili per qualsiasi attività che prevede una qualche presenza umana.

Questa ulteriore considerazione permette di ridurre a 9 il numero dei ricettori oggetto di studio elencati di seguito con indicazione dell'esatta distanza dall'aerogeneratore più vicino:

**Tabella 4** Elenco ricettori regolarmente censiti nel raggio di 300 m con esatta distanza dagli aerogeneratori

CODICE RICETTORE	COORDINATE WGS84		COMUNE	MAPPALE	PARTICELLA	CATEGORIA CATASTALE	WTG DI INFLUENZA	DISTANZA WTG (m)
R-01	506761.80 m E	4536186.92 m N	TEMPIO PAUSANIA	154	59	D/10	T01	270
R-12	504425.62 m E	4535996.33 m N	TEMPIO PAUSANIA	153	132	D/10	T02	120
R-92	509683.73 m E	4534096.58 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	132	D/10	T06	214
R-93	509356.55 m E	4534318.48 m N	TEMPIO PAUSANIA	156	143	C/6	T06	284
R-120	509417.45 m E	4536009.90 m N	TEMPIO PAUSANIA	152	251	C/6	T08	275
R-202	516142.96 m E	4534581.04 m N	LURAS	17	65	D/10	L13	275
R-203	516194.29 m E	4534581.61 m N	LURAS	20	136	D/10	L13	233
R-217	516428.41 m E	4534958.26 m N	LURAS	17	84	D/10	L13	227
R-218	516553.19 m E	4534751.67 m N	LURAS	17	85	D/10	L13	172



**Figura 7** Disposizione dei ricettori (tabella 3 e 4) rispetto le Turbine con relativo buffer di 300 metri

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
 È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
 La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.

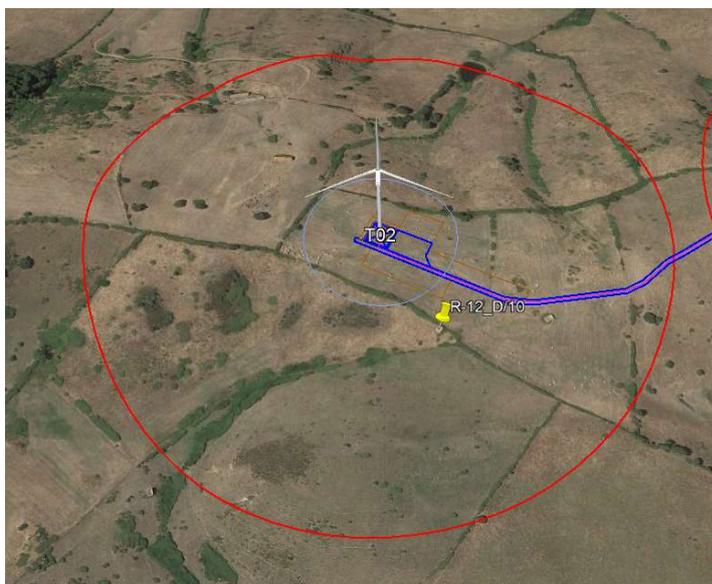
Comm.: C20-042-S05

ISO 9001  
 BUREAU VERITAS  
 Certification

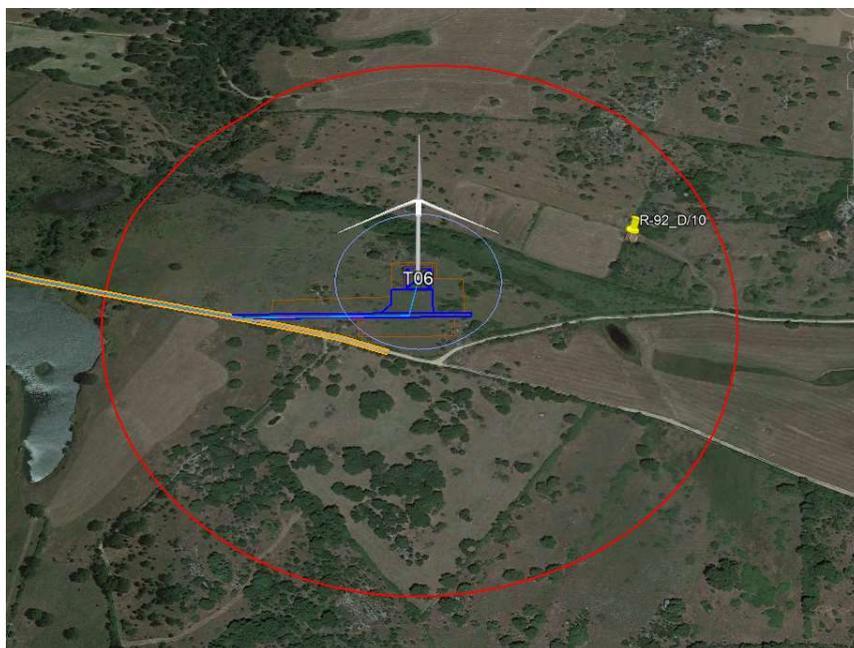


Indicare la distanza dall'aerogeneratore più vicino ad ogni ricettore ci permette di operare con un'ulteriore riduzione del numero dei ricettori da esaminare in quanto quelli più vulnerabili, e che quindi possono essere considerati "sensibili", devono necessariamente trovarsi ad una distanza pari o inferiore a quella calcolata di gittata massima dell'elemento rotante, e cioè 264 m circa, riducendo così a soli 5 ricettori il campo d'indagine (in rosso nella precedente tabella).

A seguire l'individuazione dei 5 ricettori rispetto turbine e opere di progetto con foto-simulazione su immagine satellitare e la documentazione fotografica effettuata durante i sopralluoghi:



**Figura 8** Ricettore R-12



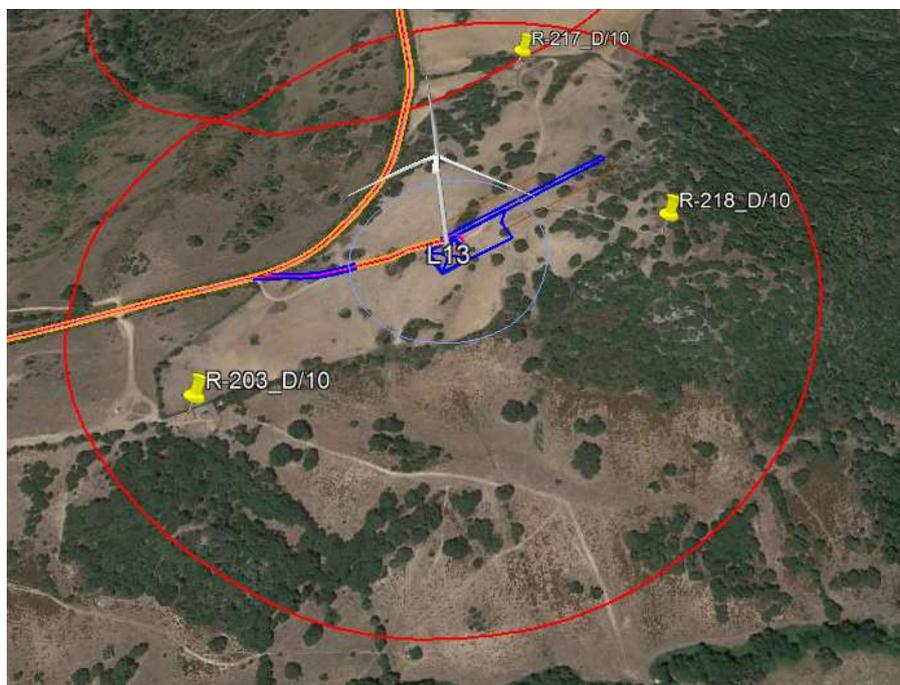
**Figura 9** Ricettore R-92

*Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
 È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
 La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.*

Comm.: C20-042-S05

ISO 9001  
 BUREAU VERITAS  
 Certification





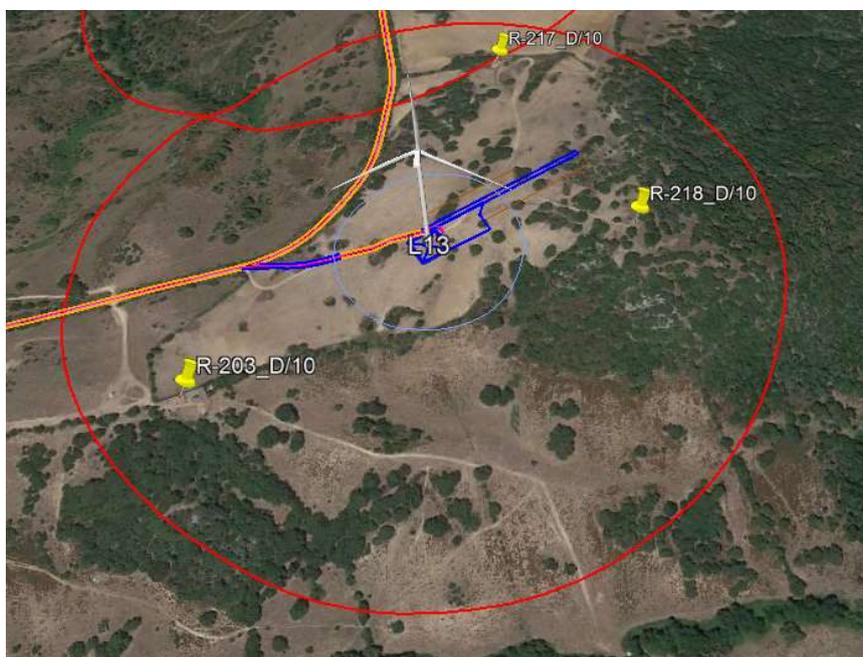
**Figura 10** Ricettore R-203

*Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
 È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
 La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.*

Comm.: C20-042-S05

ISO 9001  
 BUREAU VERITAS  
 Certification





**Figura 11** Ricettore R-217

*Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
 È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
 La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.*

Comm.: C20-042-S05

ISO 9001  
 BUREAU VERITAS  
 Certification



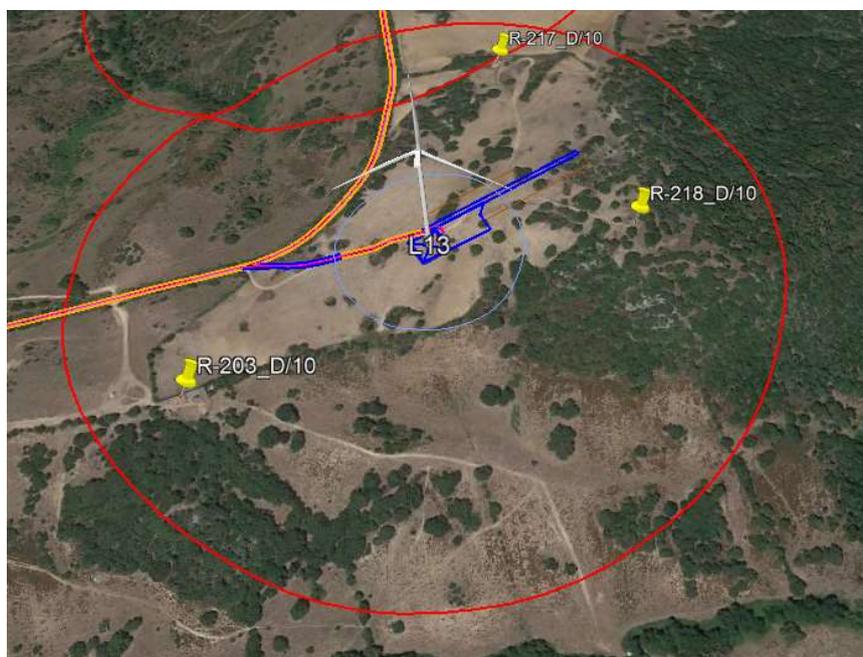


Figura 12 Ricettore R-218

*Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
 È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
 La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.*

Comm.: C20-042-S05

ISO 9001  
 BUREAU VERITAS  
 Certification



Lo studio nel Real Case prevede la scelta del ricettore sensibile che presenta quella combinazione di fattori che lo rende più vulnerabile rispetto agli altri come, per esempio, verifica della categoria catastale e accertamento visivo eseguito durante i sopralluoghi per accertarne la presenza umana, vicinanza al relativo aerogeneratore e posizione altimetrica rispetto a quest'ultimo. Nel caso in esame i ricettori R-12 e R-218, come si può vedere dalle foto precedenti, sono dei semplici magazzini presumibilmente utilizzati come depositi attrezzi e quindi non propriamente definibili "sensibili". I ricettori R-92, R-203 e R-217 invece, apparentemente, mostrano una certa attività umana e delle caratteristiche costruttive che li fanno rientrare nella categoria "sensibile". Questi ultimi si trovano ad una distanza, rispettivamente, di 214 m, 233 m e 227 m dal rispettivo aerogeneratore di riferimento. Inoltre, tutti e tre i ricettori si trovano ad una quota più elevata rispetto al relativo aerogeneratore (Tab. 5) quindi, a questo punto, quello che presenta le condizioni più sfavorevoli è il più vicino e cioè il ricettore R-92 con una quota slm di 407 m contro i 404 m dell'aerogeneratore T-06.

**Tabella 5** Differenza di quota tra il ricettore e il relativo aerogeneratore

RICETTORE E QUOTA		AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO E QUOTA		DISLIVELLO
R-92	407 m	T-06	404 m	-3 m
R-203	289 m	L-13	288 m	-1 m
R-217	291 m	L-13	288 m	-3 m

Come più volte ricordato, per la stima del valore di gittata in Worst Case, sono state imposte alcune ipotesi semplificative che, come conseguenza, pongono il calcolo nelle condizioni peggiori possibili e cioè:

- distacco netto ed istantaneo di una intera pala alla sua radice;
- assenza di attriti viscosi durante il volo;
- distacco alla rotazione di funzionamento massima;
- vento presente durante tutto il volo della pala con velocità corrispondente alla velocità massima di funzionamento;
- assenza di effetti di "portanza" del profilo alare.

Nella realtà il verificarsi di queste condizioni contemporaneamente è sostanzialmente impossibile.

Ma soprattutto il calcolo non ha tenuto conto di un fattore dal quale non si può prescindere: la presenza dell'aria e quindi dell'attrito viscoso tra questa e la pala. Quest'ultima genera comunque delle forze di resistenza viscosi che agendo sulla superficie della pala ne riducono, di conseguenza, tempo di volo e distanza. Come già detto, in letteratura si registra, a causa degli effetti di attrito, una diminuzione del tempo di volo anche del 20% ("Blade throw calculation under normal operating conditions" VESTAS AS Denmark July 2001). A questo abbattimento del valore di gittata massima, quindi, si

andrebbero ad aggiungere anche la presenza o meno degli ulteriori fattori precedentemente descritti che ne ridurrebbero ulteriormente il valore. Ma proprio per la natura stocastica di questi ultimi, e per rendere il calcolo quanto più veritiero e in sicurezza possibile, terremo in considerazione solo ed unicamente ciò che sicuramente sarà per ovvie ragioni sempre presente: l'attrito viscoso dovuto all'aria. Inoltre, verrà valutata anche la posizione altimetrica della turbina rispetto al ricettore sensibile.

Quindi, inserendo nel calcolo queste ulteriori variabili, l'attrito viscoso dell'aria  $\gamma$  e contestualmente un eventuale dislivello dal piede dell'aerogeneratore rispetto al relativo ricettore, otterremo risultati sicuramente più prossimi alla realtà.

t1	x1	y1
[s]	[m]	[m]
0,00	-24,52	128,10
0,06	-22,78	127,87
0,11	-21,05	127,61
0,17	-19,34	127,32
0,22	-17,65	127,00
0,28	-15,97	126,66
0,33	-14,31	126,29
0,39	-12,66	125,89
0,45	-11,03	125,47
0,50	-9,41	125,02
0,56	-7,81	124,54
0,61	-6,23	124,04
0,67	-4,66	123,51
0,73	-3,10	122,96
0,78	-1,56	122,38
0,84	-0,03	121,77
0,89	1,48	121,14
0,95	2,98	120,49
1,00	4,46	119,81
1,06	5,93	119,11
1,12	7,39	118,39
1,17	8,83	117,64
1,23	10,26	116,87
1,28	11,67	116,07
1,34	13,07	115,26

t2	x2	y2
[s]	[m]	[m]
0,00	26,52	99,46
0,05	27,72	99,30
0,10	28,92	99,13
0,15	30,11	98,93
0,19	31,28	98,70
0,24	32,45	98,46
0,29	33,61	98,20
0,34	34,76	97,92
0,39	35,90	97,61
0,44	37,02	97,28
0,49	38,14	96,94
0,53	39,26	96,57
0,58	40,36	96,19
0,63	41,45	95,78
0,68	42,53	95,35
0,73	43,61	94,91
0,78	44,67	94,44
0,83	45,73	93,96
0,87	46,78	93,46
0,92	47,82	92,93
0,97	48,85	92,39
1,02	49,87	91,83
1,07	50,89	91,26
1,12	51,89	90,66
1,17	52,89	90,05

X	Y
[m]	[m]
0,00	-3,00
-1,00	-3,00
-0,50	112,00
0,50	112,00
1,00	-3,00
0,00	-3,00

X	Y
[m]	[m]
-85,00	-3,00
26,52	-3,00
24,72	0,00
217,26	0,00

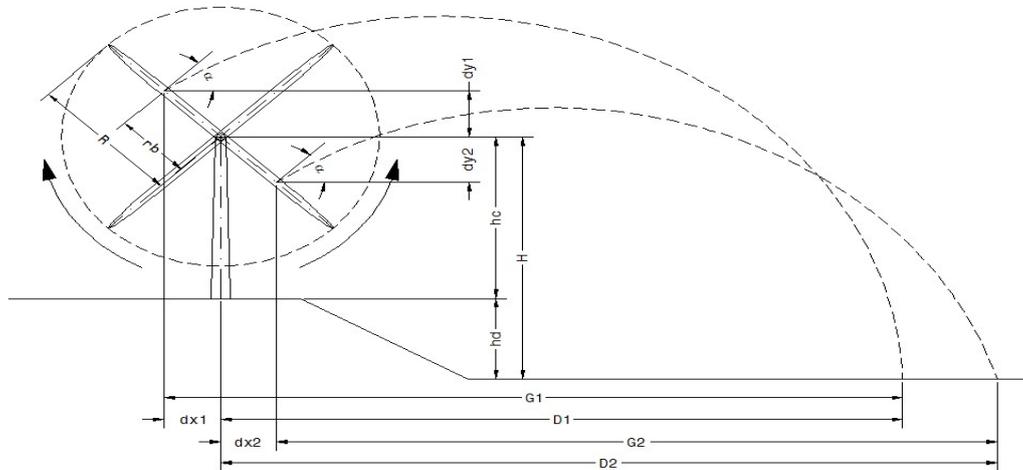
X	Y
[m]	[m]
0,00	112,00
-71,05	148,34
0,00	112,00
76,84	75,66

1,40	14,46	114,41
1,45	15,84	113,55
1,51	17,20	112,67
1,56	18,55	111,76
1,62	19,88	110,83
1,67	21,21	109,88
1,73	22,52	108,91
1,79	23,82	107,91
1,84	25,11	106,90
1,90	26,38	105,86
1,95	27,64	104,81
2,01	28,89	103,73
2,06	30,13	102,64
2,12	31,36	101,52
2,18	32,57	100,38
2,23	33,78	99,23
2,29	34,97	98,05
2,34	36,15	96,86
2,40	37,32	95,64
2,46	38,48	94,41
2,51	39,63	93,16
2,57	40,77	91,89
2,62	41,90	90,60
2,68	43,01	89,29
2,73	44,12	87,97
2,79	45,21	86,62
2,85	46,30	85,26
2,90	47,37	83,88
2,96	48,44	82,49
3,01	49,49	81,07
3,07	50,53	79,64
3,12	51,57	78,20
3,18	52,59	76,73
3,24	53,61	75,25
3,29	54,61	73,76
3,35	55,61	72,25
3,40	56,60	70,72
3,46	57,57	69,17
3,52	58,54	67,61

1,21	53,88	89,41
1,26	54,86	88,76
1,31	55,83	88,09
1,36	56,80	87,41
1,41	57,76	86,71
1,46	58,71	85,99
1,51	59,65	85,25
1,56	60,58	84,49
1,60	61,51	83,72
1,65	62,43	82,93
1,70	63,34	82,13
1,75	64,24	81,31
1,80	65,14	80,47
1,85	66,03	79,62
1,90	66,91	78,75
1,94	67,78	77,86
1,99	68,65	76,96
2,04	69,51	76,04
2,09	70,36	75,11
2,14	71,21	74,16
2,19	72,05	73,20
2,24	72,88	72,22
2,28	73,70	71,23
2,33	74,52	70,22
2,38	75,33	69,20
2,43	76,14	68,16
2,48	76,93	67,11
2,53	77,73	66,04
2,58	78,51	64,96
2,62	79,29	63,86
2,67	80,06	62,75
2,72	80,83	61,63
2,77	81,59	60,49
2,82	82,34	59,34
2,87	83,09	58,18
2,92	83,83	57,00
2,96	84,56	55,81
3,01	85,29	54,60
3,06	86,02	53,39

3,57	59,50	66,03
3,63	60,45	64,44
3,68	61,39	62,83
3,74	62,32	61,21
3,79	63,25	59,57
3,85	64,16	57,92
3,91	65,07	56,25
3,96	65,96	54,57
4,02	66,85	52,88
4,07	67,73	51,17
4,13	68,61	49,44
4,19	69,47	47,70
4,24	70,33	45,95
4,30	71,17	44,18
4,35	72,01	42,40
4,41	72,85	40,61
4,46	73,67	38,80
4,52	74,49	36,98
4,58	75,29	35,14
4,63	76,09	33,29
4,69	76,89	31,43
4,74	77,67	29,56
4,80	78,45	27,67
4,85	79,22	25,78
4,91	79,99	23,86
4,97	80,74	21,94
5,02	81,49	20,01
5,08	82,23	18,06
5,13	82,97	16,10
5,19	83,70	14,13
5,25	84,42	12,14
5,30	85,13	10,15
5,36	85,84	8,14
5,41	86,54	6,12
5,47	87,24	4,09
5,52	87,93	2,05
5,58	88,61	0,00

3,11	86,73	52,16
3,16	87,44	50,91
3,21	88,15	49,66
3,26	88,85	48,39
3,30	89,54	47,11
3,35	90,23	45,81
3,40	90,91	44,50
3,45	91,59	43,18
3,50	92,26	41,85
3,55	92,93	40,51
3,60	93,59	39,15
3,64	94,24	37,79
3,69	94,89	36,41
3,74	95,53	35,02
3,79	96,17	33,61
3,84	96,80	32,20
3,89	97,43	30,77
3,94	98,06	29,34
3,99	98,67	27,89
4,03	99,29	26,43
4,08	99,89	24,96
4,13	100,50	23,48
4,18	101,09	21,99
4,23	101,69	20,48
4,28	102,28	18,97
4,33	102,86	17,44
4,37	103,44	15,91
4,42	104,01	14,36
4,47	104,58	12,81
4,52	105,14	11,24
4,57	105,70	9,67
4,62	106,26	8,08
4,67	106,81	6,48
4,71	107,35	4,88
4,76	107,90	3,26
4,81	108,43	1,64
4,86	108,96	0,00



g	V. pala	R	rb	hc	hd
[m/s <sup>2</sup> ]	[giri/min]	[m]	[m]	[m]	[m]
9,81	10,60	85,00	29,33	115,00	-3,00

Vo	H
[m/s]	[m]
32,56	112,00

L. pala	D. rotore
[m]	[m]
83,50	170,00

H + rb	D (SIA)
[m]	[m]
141,33	174,78

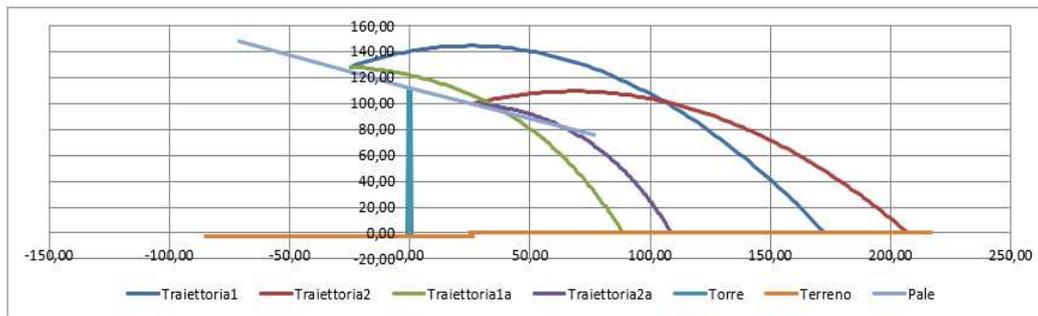
Gamma
[Adim]
0,170

α	Vox	Voy	dx1	dy1	H1	t1	G1	D1
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
33,29	27,22	17,87	24,52	16,10	128,10	7,25	197,25	172,73

t1	D1
[s]	[m]
5,58	88,61

α	Vox	Voy	dx2	dy2	H2	t2	G2	D2
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
25,31	29,44	13,92	26,52	12,54	99,46	6,14	180,74	207,26

t2	D2
[s]	[m]
4,86	108,96



**Figura 13** Calcolo della gittata mediante interpolazione dei diversi valori assunti dall'angolo di lancio  $\alpha$  in REAL CASE considerando un dislivello in posizione sopraelevata del ricevitore rispetto all'aerogeneratore e la presenza di attrito viscoso dovuto all'aria

Come si evidenzia dal grafico e dalle tabelle sopra riportate, il valore massimo della gittata  $D_{max}$ , dovuto all'attrito viscoso dell'aria porta ad un abbattimento della distanza di gittata di circa il 50% raggiungendo i 108,96 m. In quest'ultimo caso, e a prova della bontà del calcolo, il tempo di volo dovuto al solo attrito si riduce da 6,14 s a 4,86 s che è una diminuzione di circa il 20%, compatibilmente con quanto descritto in letteratura a causa degli effetti di attrito ("Blade throw calculation

under normal operating conditions” VESTAS AS Denmark July 2001). Nell’ipotesi che la pala, a seguito di rottura accidentale, continui a spostarsi lungo l’asse ortogonale al proprio piano e che arrivi a toccare il suolo con la sua estremità non nel verso del moto, a tale valore dovrà aggiungersi la distanza del vertice della pala dal baricentro, circa 55,66 m, per un valore complessivo della gittata pari a circa  $D_{tot} = 164,62$  m, valore abbondantemente fuori dalla distanza effettiva aerogeneratore-ricettore pari a 214 m.

Inoltre, come evidenziato dalla seguente tabella, non si ha alcuna interferenza né con Strade Provinciali né con Strade Statali essendo che la più vicina all’impianto si trova a circa 220 metri di distanza.

**Tabella 6** Distanze tra gli aerogeneratori e gli assi stradali statali e provinciali più prossimi

AEROGENERATORE	DISTANZA DALL’ASSE STRADALE STATALE O PROVINCIALE (m)	DENOMINAZIONE DELL’ASSE STRADALE
T-01	940	SP5
T-02	2840	SP5
T-03	1670	SP5
T-04	410	SP74
T-05	400	SP5
T-06	790	SS133
T-07	760	SP5
T-08	220	SS133
L-09	390	SP10
T-10	2250	SP5
L-11	330	SS133
L-12	730	SP10
L-13	1120	SP136
L-14	1380	SP136

#### 2.4. Probabilità di accadimento

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 (realizzazione, esercizio e dismissione). È ovvio che sono le prime due a farla da padrone. In mancanza di siffatte prescrizioni è prassi riferirsi ad una probabilità di rottura di 1006 eventi all'anno. Il dato numerico va inteso come un limite di soglia da raggiungere o da applicare. È 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 punto essenziale della loro esistenza. È naturale che se in un dato periodo di tempo, che è solitamente riferito ad un anno, non si verificano eventi incidentali di quel tipo che si sta considerando, la relativa probabilità di rottura assumerà il valore limite che si è appena indicato, cioè 1006 eventi/anno. È 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. 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. 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 1006 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.

In conclusione, in relazione al rischio di rottura, si riportano le risultanze del documento "Analysis Of Risk Involved Incidents Of Wind Turbines", allegato alla "Guide for Risk-Based Zoning of Wind Turbines", elaborato nel 2005 dall'ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) sulla base dei dati relativi a produzione di energia eolica, incidenti e manutenzione raccolti dallo ISET (Institut für Solare Energieversorgungstechnik) in Germania e dall'EMD (Energie- og Miljødata) in Danimarca. L'ECN ha analizzato le informazioni di incidenti registrate su un campione molto largo di turbine eoliche in Danimarca e Germania, determinando le frequenze di:

- rottura di una pala;
- rottura della punta e di piccole parti;
- rottura della torre alla base;
- caduta del rotore o della navicella

- caduta di piccole parti dal rotore o dalla navicella.

La probabilità di rottura della pala è stata suddivisa in diverse condizioni d'uso:

- alla velocità nominale;
- durante la frenata meccanica;
- in condizione di overspeed.

I risultati dell'analisi (riportati nella seguente figura) mostrano come la probabilità di rottura di una pala (0.84‰) sia inferiore al dato (2,6‰) utilizzato più frequentemente in studi di questo genere. Per quanto riguarda la probabilità di rottura in overspeed, è stata utilizzata la stima di studi precedenti, determinata moltiplicando la probabilità di guasto della rete elettrica (5 volte in un anno) con la probabilità di rottura del primo sistema di frenata ( $10^{-3}$  per intervento) e del secondo sistema di frenata ( $10^{-3}$  per intervento) e per la probabilità di rottura della pala in queste condizioni (100%).

Part	Failure frequency per turbine per year			Maximum throw distance [m] (reported and confirmed)
	Expected Value	95% upper limit	Recommended Risk Analysis Value [1/yr]	
Entire blade	$6.3 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$	150
Nominal rpm			$4.2 \cdot 10^{-4}$	
Mechanical braking			$4.2 \cdot 10^{-4}$	
Overspeed			$5.0 \cdot 10^{-6}$	
Tip or piece of blade	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	500
Tower	$5.8 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	Shaft height + half diameter
Nacelle and/or rotor	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	Half diameter
Small parts from nacelle	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	Half diameter

Frequenza di rottura e massima gittata segnalata

### 3. CONCLUSIONI

In conclusione, la rottura accidentale di un elemento rotante con conseguente lancio di elementi a distanza dall'aerogeneratore stesso ha una probabilità di accadimento remota ma non impossibile. Nel presente studio la gittata dell'elemento che si suppone possa staccarsi dall'aerogeneratore è stata ipotizzata e calcolata sia in Worst Case, condizione estremamente generica e sfavorevole che trova poca rispondenza con la realtà dell'evento fisico in oggetto, sia in Real Case applicando alcune semplici considerazioni derivanti dalla contestualizzazione dell'evento e riportando, quindi, le ipotesi di calcolo quanto più vicine possibile alla realtà. I risultati hanno portato il luogo dell'ipotizzato e sfortunato impatto dell'elemento rotante a circa 164 m di distanza dall'aerogeneratore e quindi ad una distanza da considerarsi ampiamente in sicurezza dal ricettore sensibile o dall'asse stradale statale/provinciale più vicino.