

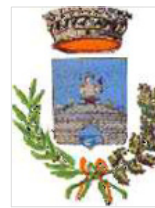
Comune
di Morcone



Regione Campania



Comune
di Pontelandolfo



Committente:



RENEWABLES ITALIA S.R.L.
Via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968
pec: rwerenewablesitaliasrl@legalmail.it

Titolo del Progetto:

Progetto per la realizzazione di una centrale eolica da 48,00 MW denominata "Lisa" nei comuni di Morcone (BN) e Pontelandolfo (BN), quale completamento del parco eolico "Morcone"

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Richiesta Autorizzazione Unica ai sensi del D. Lgs. 387 del 29/09/2003

N° Documento:

PELS_A.9

ID PROGETTO:

PELS

DISCIPLINA:

P

TIPOLOGIA:

R

FORMATO:

A4

Elaborato:

Relazione specialistica - Analisi degli effetti della rottura degli organi rotanti

FOGLIO:

SCALA:

Nome file:

PELS_A.9_Specialistica_rottura_organ_i_rotanti.pdf

Progettazione:

R.T.P. D'Occhio - De Blasis

Via S. Angelo, 10 - 82020 Campolattaro (BN)

Progettisti:



Ing. Giuseppe Antonio De Blasis



Arch. Carmine D'Occhio

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	21/09/2020	Prima emissione	R.T.P.D'Occhio - De Blasis	RWE	RWE

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CENTRALE EOLICA DA 48,00 MW DENOMINATA “LISA”, NEI COMUNI DI MORCONE (BN) E PONTELANDOLFO (BN), QUALE COMPLETAMENTO DEL PARCO EOLICO “MORCONE”

Proponente: RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.

RELAZIONE DI CALCOLO SULLA GITTATA

Sommario

PREMESSA..... 2

BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO 2

EQUAZIONE DEL MOTO 3

GEOMETRIA DEL PROBLEMA..... 3

CALCOLO DELLA GITTATA 4

CONCLUSIONI 7

PREMESSA

La seguente relazione ha l'obiettivo di determinare la massima distanza che raggiunge una pala di un aerogeneratore in fase di distacco mentre la macchina è in funzione.

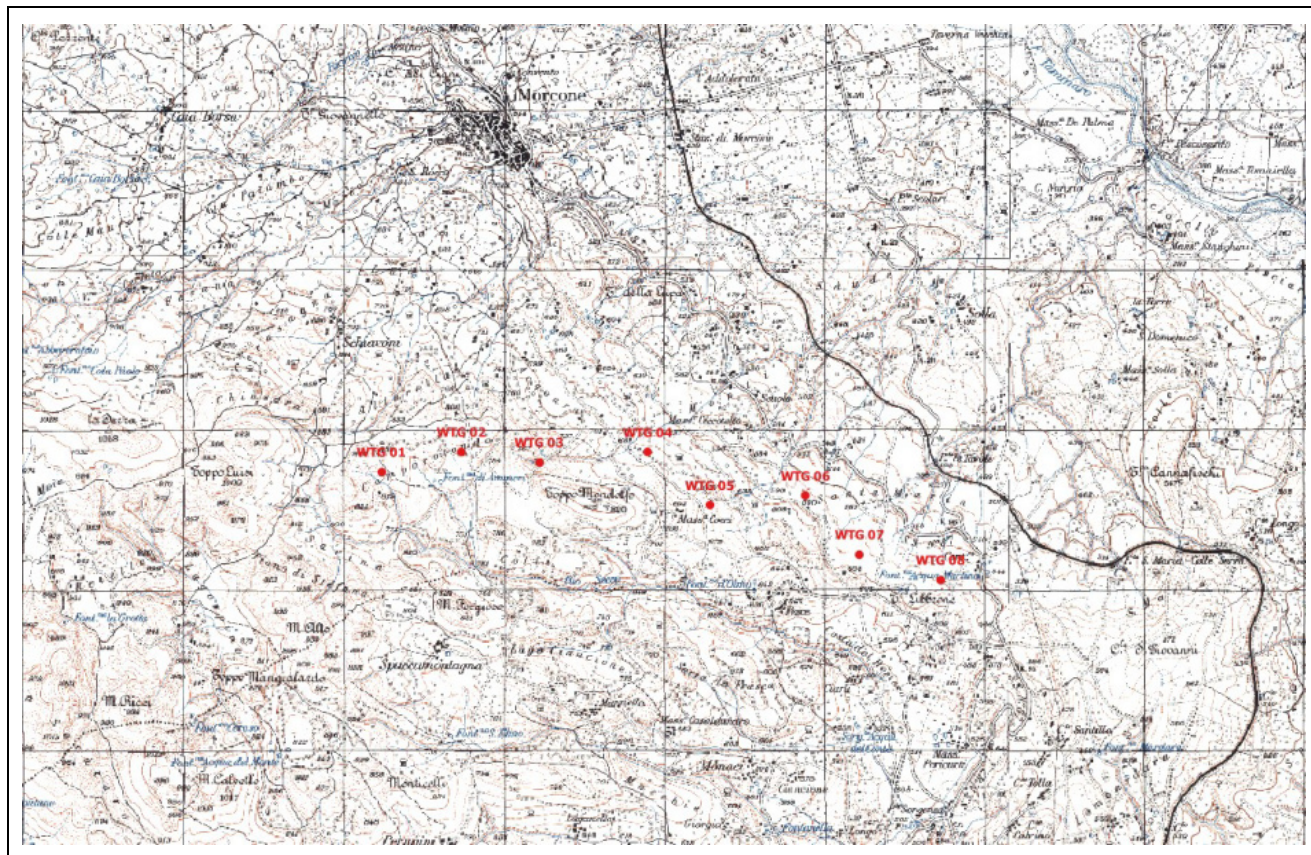
In letteratura sono annoverati pochissimi casi di danni causati dalle pale delle turbine in caso di rottura accidentale. Si tratta infatti di una circostanza eccezionale e comunque i rischi connessi, soprattutto per la salute pubblica, sono estremamente bassi.

Il distacco o la rottura della pala sono eventi che si verificano per condizioni operative al di fuori del normale range di funzionamento delle macchine.

Gli aerogeneratori che si utilizzeranno sono provvisti di sistemi di sicurezza che intervengono quando le condizioni di funzionamento sono tali da compromettere la funzionalità della macchina e la sicurezza pubblica.

BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto qui presentato consiste nella posa di 8 aerogeneratori di potenza nominale massima pari a 6,00 MW per un totale di 48,00 MW localizzati nel comune di Morcone (BN).



EQUAZIONE DEL MOTO

Le equazioni del moto di un punto materiale soggetto solo alla forza di gravità sono:

$$x = 0$$

$$y = -g$$

dove $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$ è l'accelerazione di gravità.

La legge del moto è soluzione di queste equazioni:

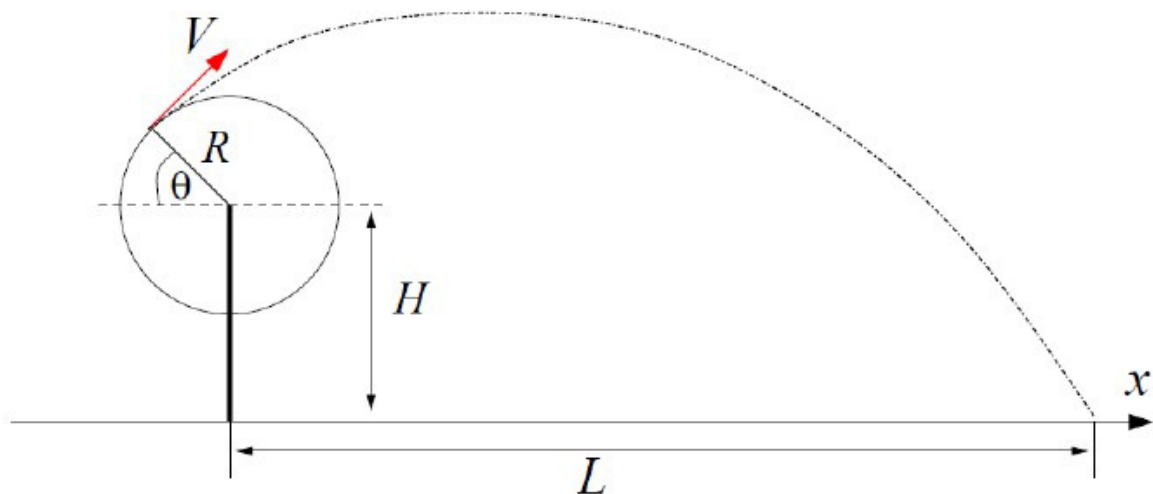
$$x(t) = x_0 + v_x t$$

$$y(t) = y_0 + v_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

dove $(x_0; y_0)$ è la posizione iniziale del punto materiale, e $(v_x; v_y)$ è la sua velocità. La traiettoria del punto materiale intercetta il suolo al tempo T tale che $y(t) = 0$.

GEOMETRIA DEL PROBLEMA

Il presente studio deve essere ricondotto alla composizione di due movimenti sopra un sistema di assi cartesiani noto, con l'asse x coincidente con l'asse orizzontale alla base dell'aerogeneratore, ovvero il suolo, e l'asse y coincidente con l'asse verticale centrale dell'aerogeneratore.



La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo θ e dalla velocità tangenziale V della pala al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$x_0 = -R \cos(\theta)$$

$$y_0 = H + R \sin(\theta)$$

$$v_x = V \sin(\theta)$$

$$v_y = V \cos(\theta)$$

La gittata L è la distanza del punto di impatto al suolo della pala proiettata.

CALCOLO DELLA GITTATA

Gli aerogeneratori che si prevedono di installare nel parco eolico sono di potenza nominale pari a 6,0 MW, con altezza massima al mozzo pari a 119 m e rotore di diametro massimo pari a 162 metri.

La massima velocità del rotore raggiunta da questa tipologia di aerogeneratore è pari a 12,10 giri al minuto.

Lo studio della gittata di un elemento rotante dell'aerogeneratore si basa sull'ipotesi di considerare l'elemento come un corpo rigido, ovvero un insieme di particelle soggette a forze tali da mantenere costanti nel tempo le loro distanze relative.

Pertanto, il moto di un corpo rigido è traslatorio quando tutte le particelle che costituiscono il corpo subiscono lo stesso spostamento qualsiasi sia l'intervallo di tempo considerato. In un moto traslatorio, rettilineo o curvilineo, ogni segmento che congiunge due punti qualunque del corpo rigido, durante il movimento, resta parallelo a se stesso, quindi tutti i punti descrivono traiettorie uguali e sovrapponibili. Il moto traslatorio di un corpo rigido resta dunque conosciuto quando è noto il moto di uno qualunque dei suoi punti.

Tutti i punti del corpo rigido in rotazione si muovono con la stessa velocità angolare, pertanto si considera il centro di applicazione della velocità il baricentro del corpo.

Nello studio si considera il moto del corpo bidimensionale, traslatorio e curvilineo, rappresentato da un punto materiale (baricentro) lanciato in aria obliquamente sottoposto all'accelerazione di gravità costante g diretta verso il basso ed ad velocità iniziale data dalla rotazione delle pale.

Lo studio della gittata massima degli elementi rotanti viene effettuato ipotizzando una condizione conservativa del moto in cui vengono trascurate le forze di resistenza che agiscono sulla pala.

Semplificare la trattazione del moto significa effettuare lo studio nelle condizioni peggiorative, poiché in assenza di forze viscosse la condizione sopra definita è quella che dà la massima gittata. Ciò è vero finché si trascura la resistenza esercitata dall'aria sul corpo in movimento, che agendo in verso opposto alla velocità tende costantemente a diminuire la velocità del corpo.

Il moto reale è difficilmente schematizzabile in quanto dipende dalle caratteristiche aerodinamiche e dalle condizioni iniziali (rollio, imbardata e beccheggio) della pala, ma comunque, con le condizioni da noi ipotizzate, è possibile affermare di essere a favore di sicurezza.

Le ipotesi fatte in questo studio considerano il caso peggiore, ossia di distacco dal rotore con un angolo di in corrispondenza del quale, si ottiene la massima gittata.

Velocità	12,10	rpm	massima velocità del rotore
H	119,00	metri	altezza del mozzo dell'aerogeneratore
L_p	79,35	metri	lunghezza pala dell'aerogeneratore
R	26,45	metri	Centro di massa della pala
V_{ang}	1,27	rad/sec	Massima velocità angolare rotore

Angolo	Rad	Y ₀	X ₀	V	V _x	V _y	T _y	H _{max}	T _{max}	L
0,00	0,00	145,45	-26,45	33,50	33,50	0,00	0,00	145,45	5,45	156,06
1,00	0,02	145,45	-26,45	33,50	33,49	0,58	0,06	145,46	5,45	158,04
2,00	0,03	145,43	-26,43	33,50	33,48	1,17	0,12	145,50	5,45	159,99
3,00	0,05	145,41	-26,41	33,50	33,45	1,75	0,18	145,57	5,45	161,90
4,00	0,07	145,39	-26,39	33,50	33,42	2,34	0,24	145,66	5,45	163,77
5,00	0,09	145,35	-26,35	33,50	33,37	2,92	0,30	145,78	5,45	165,61
6,00	0,10	145,31	-26,31	33,50	33,31	3,50	0,36	145,93	5,46	167,40
7,00	0,12	145,25	-26,25	33,50	33,25	4,08	0,42	146,10	5,46	169,14
8,00	0,14	145,19	-26,19	33,50	33,17	4,66	0,48	146,30	5,46	170,84
9,00	0,16	145,12	-26,12	33,50	33,09	5,24	0,53	146,52	5,47	172,48
10,00	0,17	145,05	-26,05	33,50	32,99	5,81	0,59	146,77	5,47	174,07
11,00	0,19	144,96	-25,96	33,50	32,88	6,39	0,65	147,04	5,48	175,61
12,00	0,21	144,87	-25,87	33,50	32,77	6,96	0,71	147,34	5,48	177,08
13,00	0,23	144,77	-25,77	33,50	32,64	7,53	0,77	147,66	5,49	178,49
14,00	0,24	144,67	-25,67	33,50	32,50	8,10	0,83	148,01	5,50	179,84
15,00	0,26	144,55	-25,55	33,50	32,36	8,67	0,88	148,38	5,50	181,12
16,00	0,28	144,43	-25,43	33,50	32,20	9,23	0,94	148,77	5,51	182,33
17,00	0,30	144,30	-25,30	33,50	32,04	9,79	1,00	149,18	5,52	183,47
18,00	0,31	144,16	-25,16	33,50	31,86	10,35	1,06	149,61	5,53	184,53
19,00	0,33	144,01	-25,01	33,50	31,67	10,90	1,11	150,07	5,53	185,51
20,00	0,35	143,86	-24,86	33,50	31,48	11,45	1,17	150,54	5,54	186,41
21,00	0,37	143,69	-24,69	33,50	31,28	12,00	1,22	151,03	5,55	187,23
22,00	0,38	143,53	-24,53	33,50	31,06	12,54	1,28	151,54	5,56	187,97
23,00	0,40	143,35	-24,35	33,50	30,84	13,08	1,33	152,07	5,57	188,61
24,00	0,42	143,17	-24,17	33,50	30,60	13,62	1,39	152,62	5,58	189,17
25,00	0,44	142,97	-23,97	33,50	30,36	14,15	1,44	153,18	5,59	189,63
26,00	0,45	142,78	-23,78	33,50	30,11	14,68	1,50	153,76	5,60	190,00
27,00	0,47	142,57	-23,57	33,50	29,85	15,20	1,55	154,35	5,61	190,27
28,00	0,49	142,36	-23,36	33,50	29,58	15,72	1,60	154,95	5,62	190,44
29,00	0,51	142,14	-23,14	33,50	29,30	16,23	1,66	155,57	5,63	190,50
30,00	0,52	141,91	-22,91	33,50	29,01	16,74	1,71	156,19	5,65	190,47
31,00	0,54	141,68	-22,68	33,50	28,72	17,24	1,76	156,83	5,66	190,33
32,00	0,56	141,43	-22,43	33,50	28,41	17,74	1,81	157,48	5,67	190,08
33,00	0,58	141,19	-22,19	33,50	28,10	18,24	1,86	158,14	5,68	189,73
34,00	0,59	140,93	-21,93	33,50	27,78	18,72	1,91	158,80	5,69	189,27
35,00	0,61	140,67	-21,67	33,50	27,45	19,21	1,96	159,47	5,70	188,69
36,00	0,63	140,40	-21,40	33,50	27,11	19,68	2,01	160,15	5,72	188,00
37,00	0,65	140,13	-21,13	33,50	26,76	20,15	2,06	160,83	5,73	187,20
38,00	0,66	139,85	-20,85	33,50	26,40	20,61	2,10	161,51	5,74	186,28
39,00	0,68	139,56	-20,56	33,50	26,04	21,07	2,15	162,19	5,75	185,25
40,00	0,70	139,27	-20,27	33,50	25,67	21,52	2,20	162,88	5,77	184,10
41,00	0,72	138,97	-19,97	33,50	25,29	21,97	2,24	163,56	5,78	182,83
42,00	0,73	138,66	-19,66	33,50	24,90	22,41	2,29	164,25	5,79	181,45
43,00	0,75	138,35	-19,35	33,50	24,51	22,84	2,33	164,93	5,80	179,94

44,00	0,77	138,03	-19,03	33,50	24,11	23,26	2,37	165,61	5,81	178,32
45,00	0,79	137,71	-18,71	33,50	23,70	23,68	2,42	166,28	5,83	176,58
46,00	0,80	137,38	-18,38	33,50	23,28	24,09	2,46	166,95	5,84	174,72
47,00	0,82	137,05	-18,05	33,50	22,86	24,49	2,50	167,61	5,85	172,74
48,00	0,84	136,71	-17,71	33,50	22,43	24,88	2,54	168,27	5,86	170,65
49,00	0,85	136,36	-17,36	33,50	21,99	25,27	2,58	168,91	5,87	168,44
50,00	0,87	136,01	-17,01	33,50	21,54	25,65	2,62	169,55	5,88	166,10
51,00	0,89	135,65	-16,65	33,50	21,09	26,02	2,66	170,17	5,89	163,66
52,00	0,91	135,29	-16,29	33,50	20,64	26,39	2,69	170,78	5,90	161,10
53,00	0,92	134,93	-15,93	33,50	20,17	26,74	2,73	171,38	5,91	158,42
54,00	0,94	134,56	-15,56	33,50	19,70	27,09	2,76	171,96	5,92	155,63
55,00	0,96	134,18	-15,18	33,50	19,23	27,43	2,80	172,53	5,93	152,73
56,00	0,98	133,80	-14,80	33,50	18,75	27,76	2,83	173,08	5,94	149,71
57,00	0,99	133,42	-14,42	33,50	18,26	28,08	2,87	173,62	5,95	146,59
58,00	1,01	133,03	-14,03	33,50	17,77	28,40	2,90	174,13	5,96	143,36
59,00	1,03	132,63	-13,63	33,50	17,27	28,70	2,93	174,63	5,97	140,03
60,00	1,05	132,24	-13,24	33,50	16,76	29,00	2,96	175,11	5,98	136,59
61,00	1,06	131,84	-12,84	33,50	16,26	29,29	2,99	175,56	5,99	133,05
62,00	1,08	131,43	-12,43	33,50	15,74	29,57	3,02	175,99	5,99	129,41
63,00	1,10	131,02	-12,02	33,50	15,22	29,84	3,04	176,40	6,00	125,68
64,00	1,12	130,61	-11,61	33,50	14,70	30,10	3,07	176,78	6,01	121,85
65,00	1,13	130,19	-11,19	33,50	14,17	30,35	3,10	177,14	6,01	117,93
66,00	1,15	129,77	-10,77	33,50	13,64	30,59	3,12	177,48	6,02	113,92
67,00	1,17	129,35	-10,35	33,50	13,11	30,83	3,15	177,79	6,02	109,83
68,00	1,19	128,92	-9,92	33,50	12,57	31,05	3,17	178,07	6,03	105,66
69,00	1,20	128,49	-9,49	33,50	12,02	31,27	3,19	178,32	6,03	101,40
70,00	1,22	128,06	-9,06	33,50	11,48	31,47	3,21	178,54	6,04	97,07
71,00	1,24	127,63	-8,63	33,50	10,93	31,67	3,23	178,74	6,04	92,66
72,00	1,26	127,19	-8,19	33,50	10,37	31,85	3,25	178,90	6,04	88,19
73,00	1,27	126,75	-7,75	33,50	9,81	32,03	3,27	179,03	6,04	83,65
74,00	1,29	126,31	-7,31	33,50	9,25	32,19	3,29	179,13	6,05	79,05
75,00	1,31	125,86	-6,86	33,50	8,69	32,35	3,30	179,21	6,05	74,39
76,00	1,33	125,42	-6,42	33,50	8,13	32,50	3,32	179,24	6,05	69,68
77,00	1,34	124,97	-5,97	33,50	7,56	32,63	3,33	179,25	6,05	64,91
78,00	1,36	124,52	-5,52	33,50	6,99	32,76	3,34	179,22	6,05	60,10
79,00	1,38	124,07	-5,07	33,50	6,41	32,88	3,35	179,16	6,05	55,24
80,00	1,40	123,61	-4,61	33,50	5,84	32,99	3,37	179,07	6,05	50,35
81,00	1,41	123,16	-4,16	33,50	5,26	33,08	3,38	178,94	6,04	45,42
82,00	1,43	122,70	-3,70	33,50	4,69	33,17	3,38	178,77	6,04	40,47
83,00	1,45	122,24	-3,24	33,50	4,11	33,25	3,39	178,58	6,04	35,48
84,00	1,47	121,78	-2,78	33,50	3,53	33,31	3,40	178,34	6,03	30,48
85,00	1,48	121,33	-2,33	33,50	2,94	33,37	3,40	178,08	6,03	25,45
86,00	1,50	120,87	-1,87	33,50	2,36	33,41	3,41	177,77	6,02	20,42
87,00	1,52	120,40	-1,40	33,50	1,78	33,45	3,41	177,44	6,02	15,37
88,00	1,54	119,94	-0,94	33,50	1,20	33,48	3,42	177,06	6,01	10,32
89,00	1,55	119,48	-0,48	33,50	0,61	33,49	3,42	176,66	6,00	5,27
90,00	1,57	119,02	-0,02	33,50	0,03	33,50	3,42	176,21	6,00	0,23

Pertanto il valore massimo di x , che rappresenta la distanza massima teorica alla quale potrebbe atterrare un oggetto distaccatosi per effetto di rottura degli organi rotanti è calcolata in 190,50 m a partire dall'asse dell'aerogeneratore.

Questo valore teorico è altamente conservativo in quanto non tiene conto anche l'effetto dell'attrito viscoso dell'aria e della complessità del moto rotazionale, ovvero la rotazione della pala durante la caduta.

Queste considerazioni attenuano il valore della gittata massima che può essere ridotto del 20% (*valore di letteratura*) e pertanto il valore di x è stimato pari a circa **152,40 m**.

Per quanto sopra determinato, si ritiene che la distanza calcolata e ritenuta utile ai fini del layout di progetto sia estremamente cautelativa.

Nei casi reali, l'impatto a terra sarà verosimilmente a distanze inferiori rispetto a quanto sopra stimato, sia per le condizioni iniziali al momento del distacco, che non necessariamente saranno quelle teoriche per una gittata massima, sia per i moti rotazionali della pala, dovuti ai momenti delle forze resistenti, che comporteranno ulteriori dissipazioni di energia e condizioni generalmente meno favorevoli per il moto.

CONCLUSIONI

Lo studio analitico del fenomeno ha dimostrato che è opportuno evitare la presenza di ricettori sensibili al probabile distacco di organi rotanti nella circonferenza di raggio 190 m dall'asse dell'aerogeneratore.

Per come meglio riportato nelle specifiche tavole grafiche allegate al presente progetto definitivo (A.16.b.1.e), viene mostrato inoltre il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza nei confronti dei ricettori sensibili (*distanza di sicurezza di 190 m dal centro torre*).

Qualora la simulazione dovesse tenere in conto anche l'effetto dell'attrito viscoso dell'aria, il valore massimo di gittata calcolato con le relazioni sopra riportate può essere ridotto del 20% (*valore di letteratura*) e pertanto il valore della gittata è stimato pari a circa **152 m**.

Da quanto esposto appare evidente che il fenomeno di rottura più complesso da stimare analiticamente resta il distacco di un frammento della pala, pertanto si rimanda all'esperienza dei costruttori più esperti (*quali appunto Vestas*) i quali indicano detto fenomeno come molto raro e comunque i ritrovamenti dei frammenti a seguito dell'evento non sono mai avvenuti a distanze superiori a **50 metri** dall'asse dell'aerogeneratore danneggiato.

Al fine di ridurre il rischio di distacco di frammenti è opportuna una pianificazione e messa in atto di opportune misure di prevenzione e monitoraggio, al fine di poter intervenire in tempo utile per scongiurare l'eventualità di una rottura.

Le azioni di monitoraggio e prevenzione svolte dalla società RWE nei riguardi della tutela dei sistemi rotorici sono i seguenti:

1. *Ascolto e osservazione giornaliera e con campagne di indagini visive con lo scopo di evidenziare microalterazioni della superficie delle pale. Le campagne di indagini visive, svolte con telescopi ad alta definizione, servono a certificare periodicamente lo stato delle pale.*

2. *Monitoraggio strumentale continuo ed automatico di controllo dell'aerogeneratore. Questo, tramite la valutazione di opportuni parametri, è in grado di individuare sbilanciamenti del rotore e, quando diventano significativi, attua il blocco dell'aerogeneratore.*

Tali azioni di prevenzione sono dunque volte a mantenere le buone condizioni di uso dei rotori, mentre le azioni di monitoraggio impediscono di mantenere in esercizio operativo dei rotori che non rispondano alle caratteristiche definite dal costruttore.

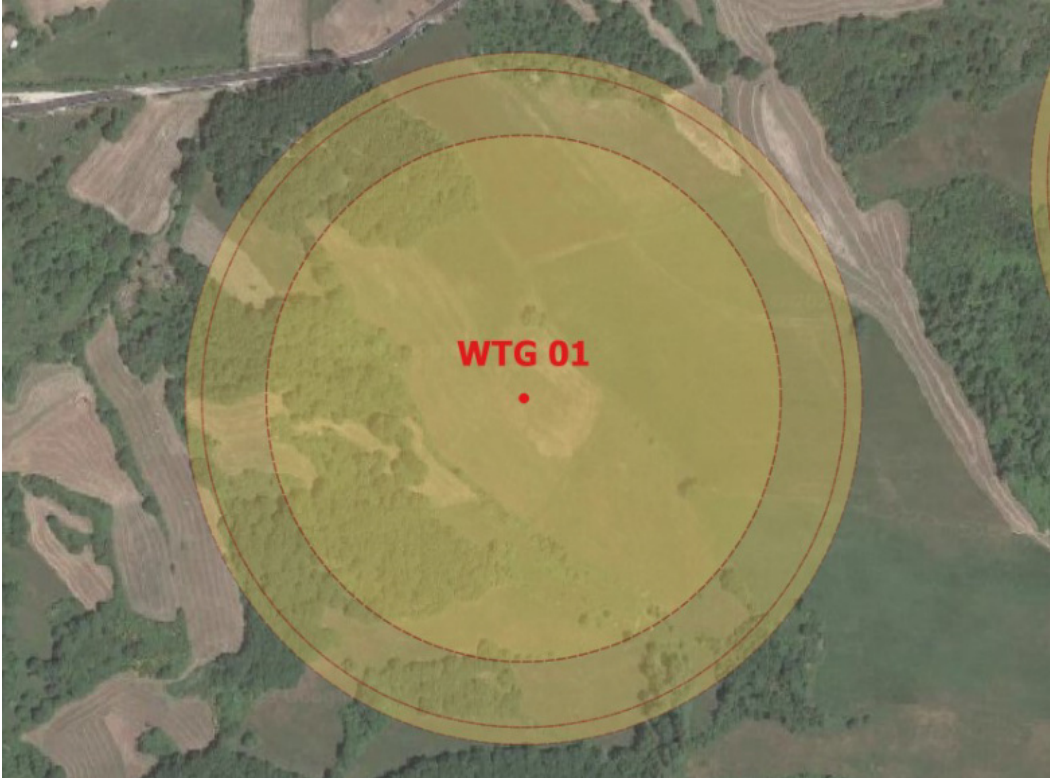
Degli edifici presenti nei buffer di 190 metri dalla posizione delle WTG si osserva che sono in effetti esclusivamente depositi di attrezzi agricoli, in stato di abbandono e un bottino di presa.

Si tratta, come mostrato sugli elaborati grafici, in tutti i casi di depositi di attrezzi agricoli o di ruderi disabitati. In nessun caso si tratta di abitazioni o, comunque, di edifici destinati ad una permanenza continuativa delle persone.

Aerogeneratore più prossimo	Buffer 200 m	Buffer 190 m	Buffer 152 m	Catasto	Note
WTG 01				-----	-----
WTG02				F. 72 part. 762	Magazzino e locali di deposito:C2 localizzato in prossimità della strada a servizio dei parchi esistenti - <i>Stato di abbandono</i>
WTG 03				F. 79 part.309	Bottino di presa (<i>costruzioni per speciali esigenze pubbliche E3</i>), con presenza di persone esclusivamente per opere di manutenzione
WTG 04				-----	-----
WTG 05				-----	-----
WTG 06				F. 81 part. 108 - 83-84-337	Farricato Diruto
WTG 07				-----	-----
WTG 08				-----	-----

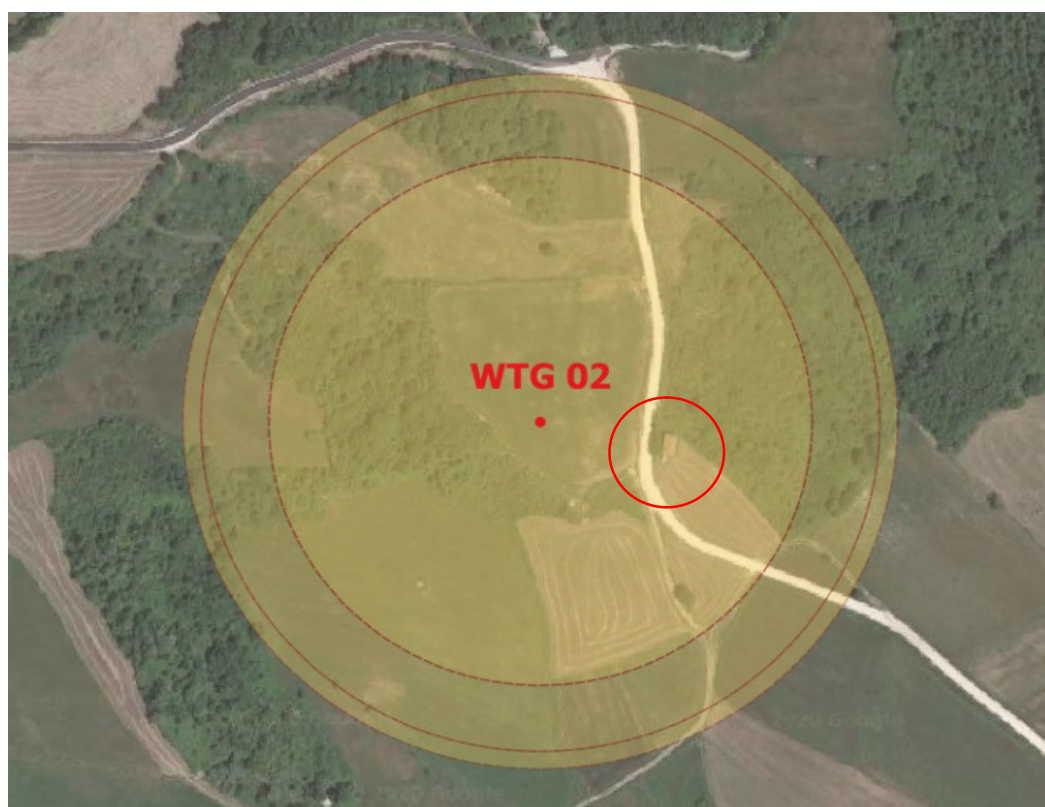
La verifica ha evidenziato l'assoluta compatibilità degli aerogeneratori **n. 1,4,5,7,8**, con i ricettori presenti nel buffer della gittata massima. Per quanto riguarda il ricettore dell'aerogeneratore **2**, il rischio è molto basso, in quanto trattasi di un locale magazzino e deposito anch'esso in stato di abbandono. Relativamente al recettore prossimo all'aerogeneratore **3**, anche in questo caso il rischio è molto basso in quanto trattasi di bottino di presa nel quale la presenza di persone è limitato alle opere di manutenzione.

I fabbricati che ricadono nel buffer della torre **6**, sono fabbricati diruti.

Aerogeneratore WTG 01	Nessun fabbricato interferente 
---	---

Aerogeneratore

WTG 02



Magazzino e locale di deposito: C2 (in stato di abbandono)

Foglio 78 part. 762 comune di Morcone (BN)

Torre più prossima

WTG 02



Aerogeneratore

WTG 03



Bottino di presa (*costruzioni per speciali esigenze pubbliche: E3*)

Foglio 79 part. 309 comune di Morcone (BN)

Torre più prossima

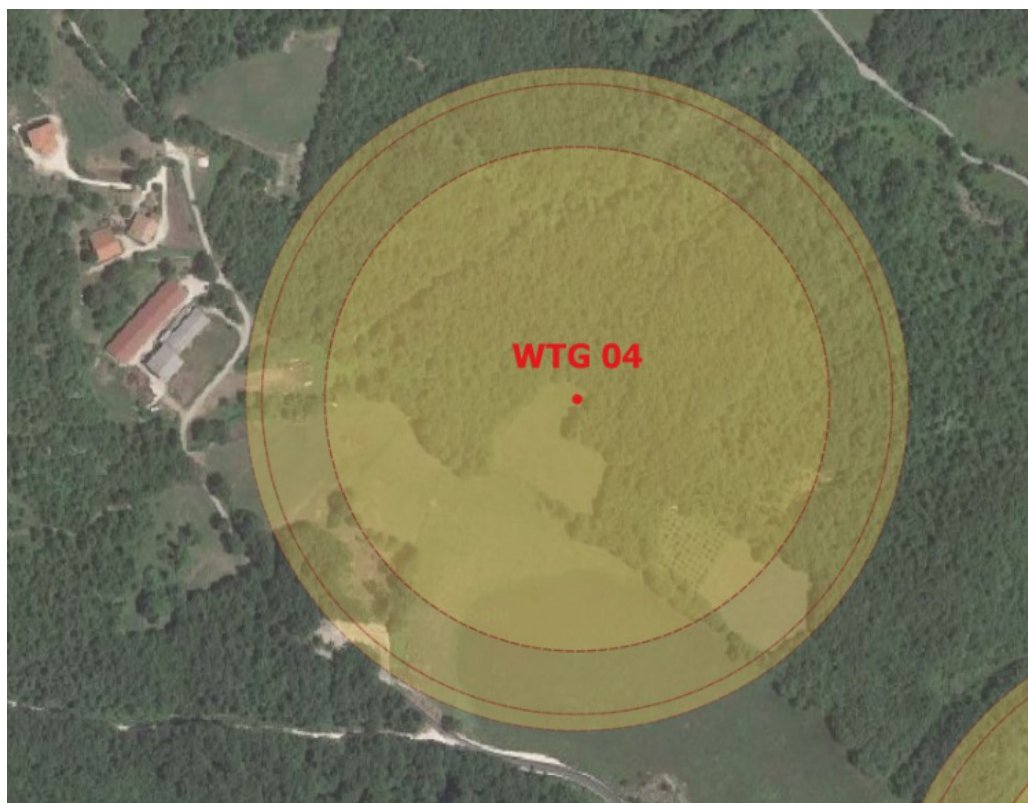
WTG 03

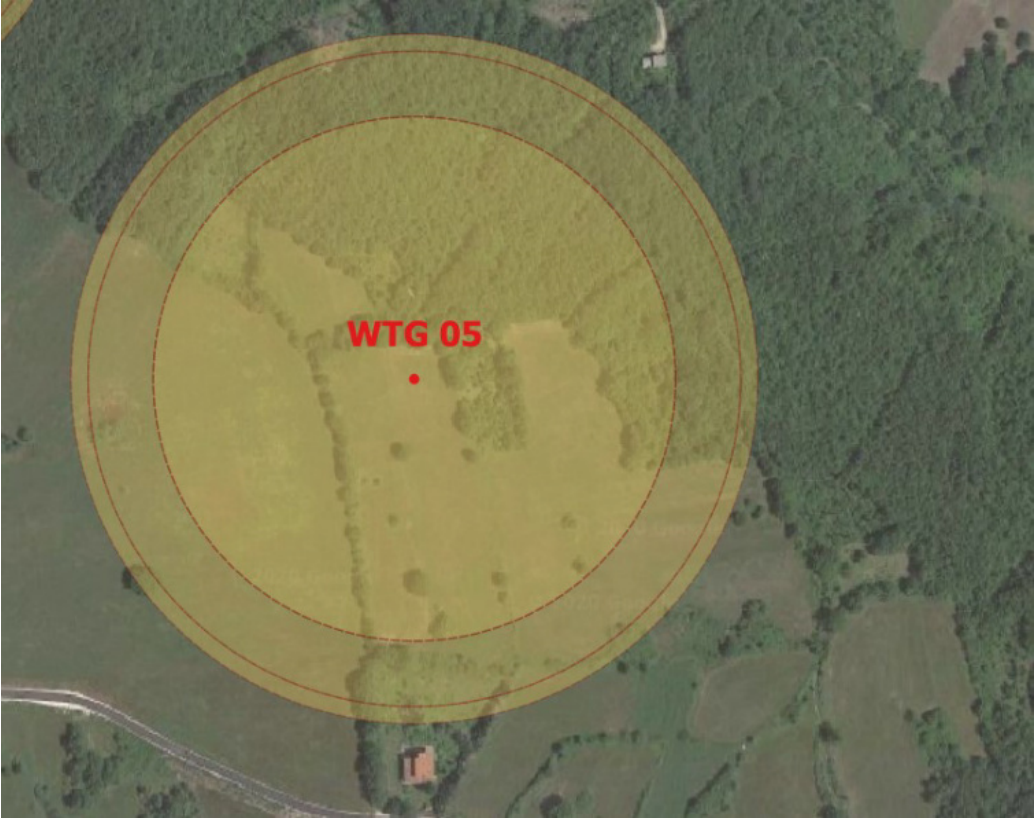


Nessun fabbricato interferente

Torre più prossima

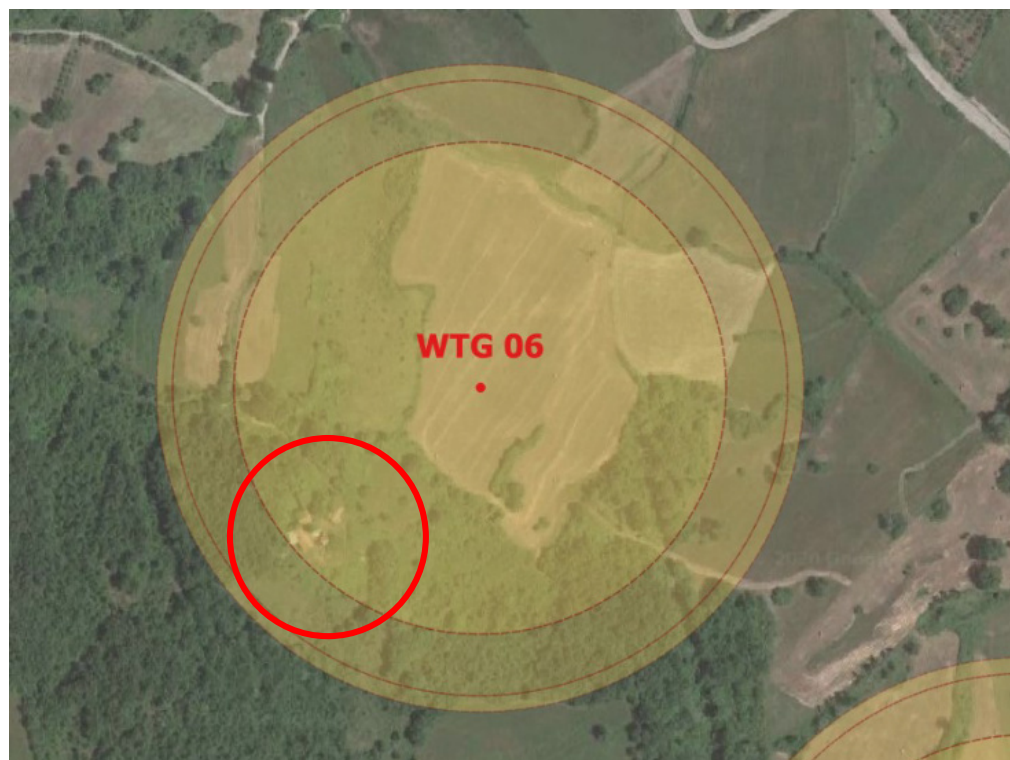
WTG 04



Aerogeneratore WTG 05	Nessun fabbricato interferente 
Torre più prossima WTG 05	Fabbricato diruto Foglio 79 part. 30 comune di Morcone (BN) 

Aerogeneratore

WTG 06



Fabbricato diruto

Foglio 81 part 83-84-108-337 comune di Morcone (BN)

Torre più prossima

WTG 06



Torre più prossima

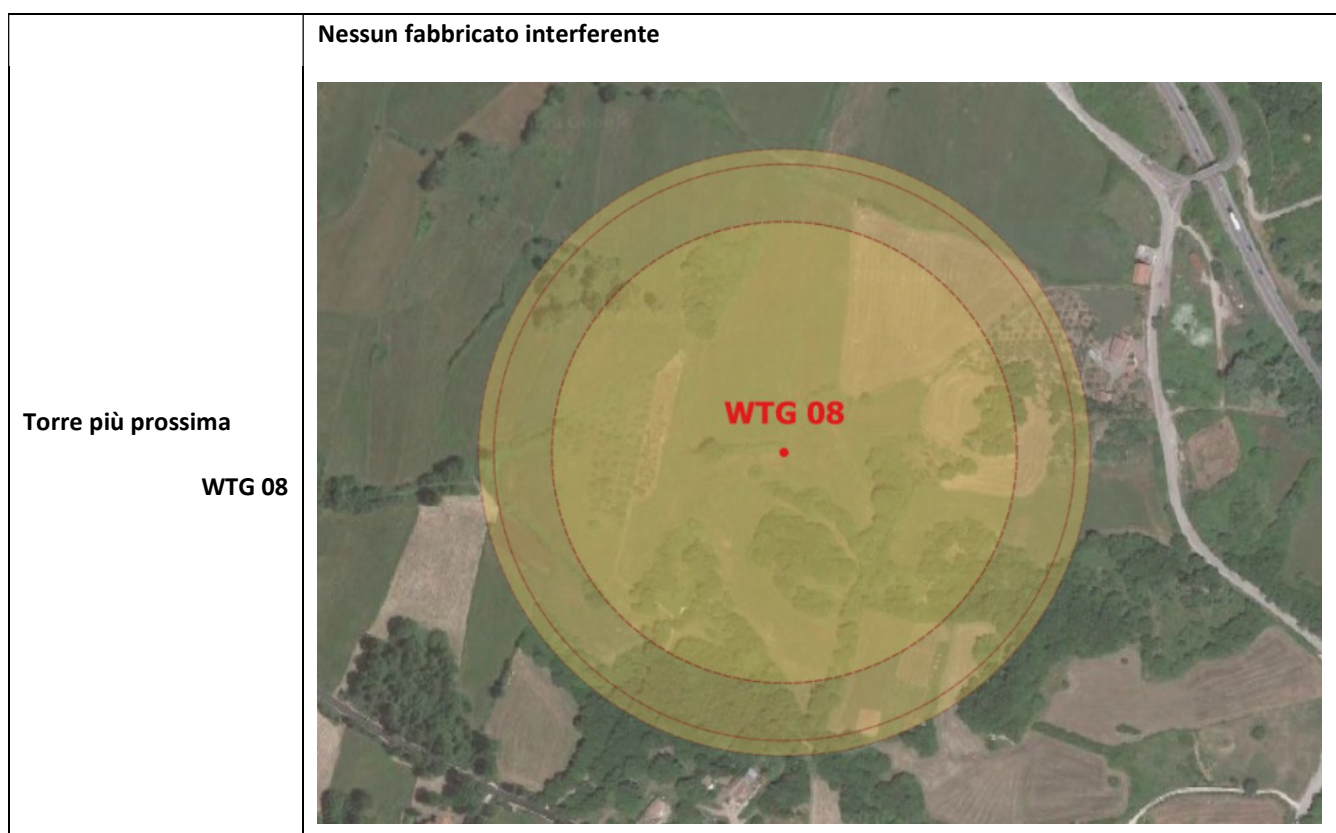
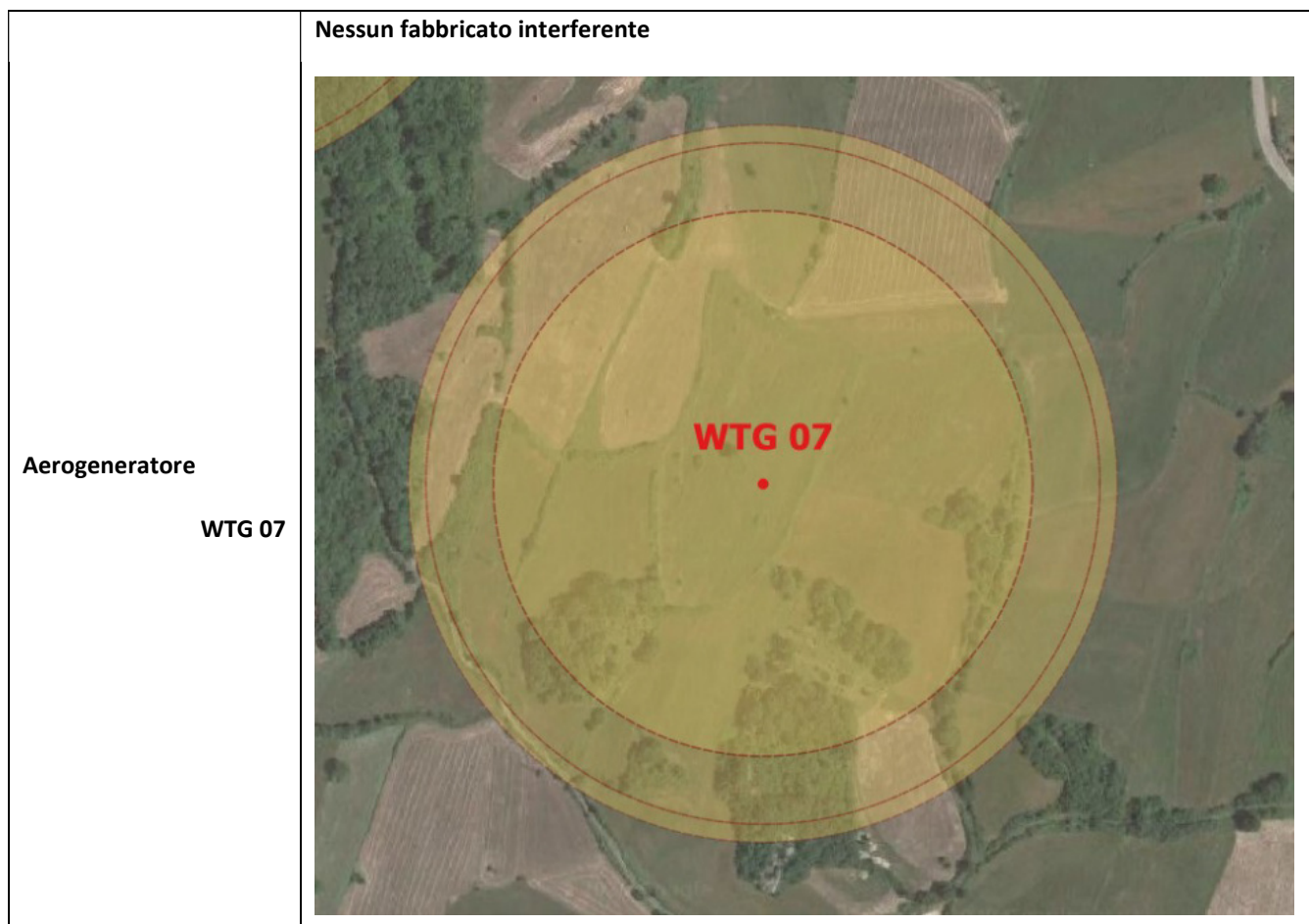
WTG 06



Torre più prossima

WTG 06





I tecnici:

arch. Carmine D'Occhio

Ing. Giuseppe De Blasis