

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: FOGGIA

COMUNE: CASALVECCHIO DI PUGLIA

ELABORATO:

OGGETTO:

ALL.3

PARCO EOLICO
composto da 8 WTG da 4,2MW/cad.

**ELABORATO ALLEGATO ALLO STUDIO DI IMPATTO
AMBIENTALE**

GITTATA MASSIMA ELEMENTI ROTANTI

PROPONENTE:



RENVICO ITALY SRL
via San Gregorio N. 34
20124 Milano
PEC: renvicoitaly@legalmail.it

IL TECNICO:

ING. ANDREA ALIBRANDO

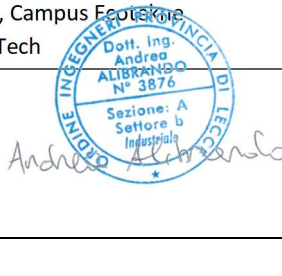
Advantech s.r.l.
Via per Monteroni, Campus Feo di Comino
C/O Edificio High Tech

Ord. Ing. Prov. Di Lecce n° 3876



Collaborazione:

ing. Gabriele CONVERSANO
Ord. Ing.ri Bari n° 8884



Note:

DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:
03.11.2017	0	Emissione	Ing. G. Conversano	Ing. Andrea Alibrando

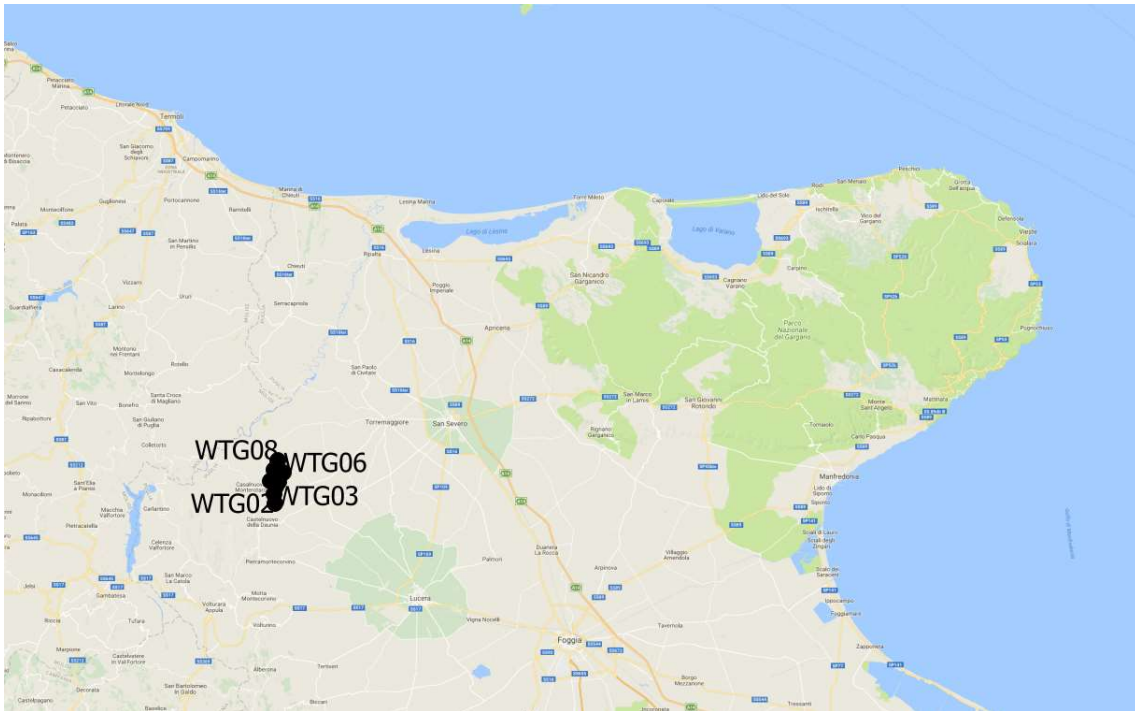
PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE
UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

SOMMARIO

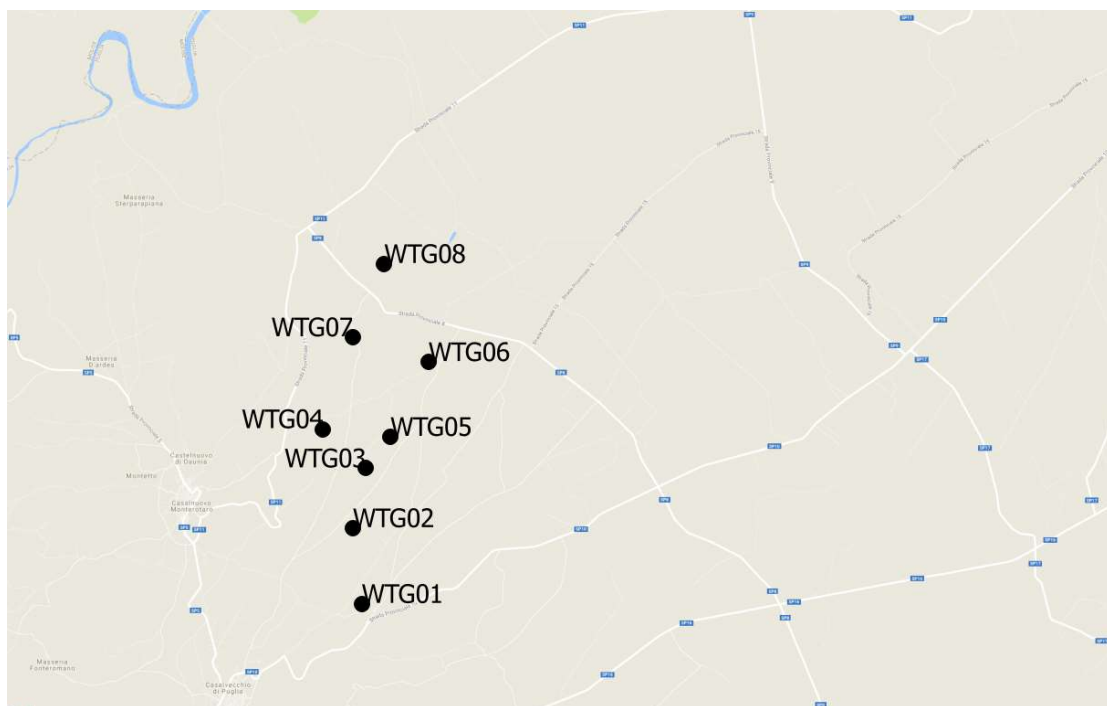
1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
2	INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA	4
3	STUDIO DEL PROBLEMA PER IL CASO DI SPECIE	5
4	CONCLUSIONI.....	21

1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, da realizzarsi all'interno dei limiti amministrativi del Comune di CASALVECCHIO DI PUGLIA (FG).



Inquadramento dell'area di progetto



Layout impianto

L'impianto eolico sarà costituito da 8 aerogeneratori, per una potenza elettrica complessiva pari a 33,6 MW.

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è il modello **Vestas V150 4.2MW**. E' costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, sulla cui sommità è installata la navicella il cui asse è a 166 mt dal piano campagna, con annesso il rotore di diametro pari a 150m (lunghezza pala 75mt circa), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 241 mt slt.

Il Layout dell'impianto è schematicamente indicato nella precedente figura, ma meglio dettagliato nelle **Tavole di Progetto**.

La presente relazione contiene l'analisi della Gittata massima degli elementi rotanti per gli aerogeneratori impiegati nell'impianto eolico in questione.

2 INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

La rottura accidentale di un elemento rotante (la pala o un frammento della stessa) di un aerogeneratore ad asse orizzontale può essere considerato un evento raro, in considerazione della tecnologia costruttiva ed ai materiali impiegati per la realizzazione delle pale stesse.

Tuttavia, al fine della sicurezza, la stima della gittata massima di un elemento rotante assume un'importanza rilevante per la progettazione e l'esercizio di un impianto eolico.

Le pale dei rotori di progetto sono realizzate in fibra di vetro rinforzato con materiali plastici quali il poliestere o le fibre epossidiche.

L'utilizzo di questi materiali limita sino a quasi ad annullare la probabilità di distacco di parti della pala mentre la stessa è in rotazione: anche in caso di gravi rotture le fibre che compongono la pala la mantengono, di fatto, unita in un unico pezzo (seppure gravemente danneggiato), ed i sistemi di controllo dell'aerogeneratore riducono pressoché istantaneamente la velocità di rotazione, eliminando la possibilità che un frammento di pala si stacchi e venga proiettato verso l'alto.

La statistica riporta fra le maggiori cause di danno quelle prodotte direttamente o indirettamente dalle fulminazioni.

Proprio per questo motivo il sistema navicella-rotore-torre tubolare sarà protetto dalla fulminazione in accordo alla norma IEC 61400-24 – livello I.

Pertanto possiamo sicuramente affermare che la probabilità che si produca un danno al sistema con successivi incidenti è del tutto trascurabile.

Il problema del calcolo della gittata di elementi rotanti è stato analizzato principalmente dal costruttore VESTAS¹.

Nello studio citato la VESTAS ha determinato la distanza che la pala di un aerogeneratore raggiunge in caso di distacco dal mozzo mentre la pala è in rotazione per otto modelli di aerogeneratori, aventi lunghezza delle pale da 25 a 54,6 metri e velocità di rotazione da 26rpm a

¹ VESTAS - *Calcolo della traiettoria di una pala eolica in condizioni nominali di funzionamento*

17.7 rpm (ovviamente con gli aerogeneratori aventi pale di maggiore dimensione che funzionano a velocità di rotazione inferiori). Nello studio sono state considerate tre condizioni:

- moto in assenza di attrito dell'aria;
- moto in presenza di attrito dell'aria
- moto in presenza di attrito dell'aria e di rotazioni intorno agli assi della pala.

Come riportato nello studio, la prima condizione di carico è quella che dà la massima gittata, ma in realtà le forze di resistenza che si esercitano sulla pala fanno sì che la gittata reale sia inferiore di circa il 20%.

I risultati dello studio della VESTAS sono stati che, in ipotesi conservative la gettata massima per i modelli testati, diminuiva sostanzialmente all'aumentare delle dimensioni delle pale e del diminuire del numero di giri.

Fa eccezione, come si può notare, il caso della V112 3MW per la quale è stata calcolata una gittata di 147 metri, ma ciò è dovuto al fatto che l'altezza del mozzo è più elevata (119 metri) e che la velocità di rotazione è comunque più elevata rispetto alle V82, V90 e V100.

Tabella 1 – Gittata calcolata nello studio Vestas citato per varie tipologie di aerogeneratore

Modello	Lunghezza pala	velocità rotazione	altezza mozzo	gittata
	<i>m</i>	<i>rpm</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
V80 - 2MW	39	19,2	80	125
V52 - 850kW	26	25	75	130
V82 - 1,65	40	14,4	78	103
V90-2MW	44	14,9	105	118
V90-3MW	44	16,1	105	77
V100 - 1,8MW	49	16,6	95	104
V112 - 3MW	54,6	17,7	119	147

Si nota immediatamente che la massima gittata calcolata è inferiore ai 150 metri per tutte le tipologie di aerogeneratori oggetto di studio.

3 STUDIO DEL PROBLEMA PER IL CASO DI SPECIE

Uno studio rigoroso del problema della gittata degli elementi rotanti richiede la conoscenza di elementi progettuali che sono in possesso unicamente del costruttore delle turbine (tra questi, in particolare, l'evoluzione delle sezioni, dei pesi e dei coefficienti di portanza e resistenza lungo l'aerogeneratore).

Qui di seguito saranno di seguito effettuate alcune assunzioni in vantaggio di sicurezza e sarà modellata la traiettoria di una pala con riferimento a tali assunzioni ed i risultati saranno confrontati con quelli ottenuti dalla VESTAS per aerogeneratori di taglia, dimensioni e velocità di rotazione comparabili, al fine di verificare se la stima ottenuta è coerente con stime effettuate in casi analoghi.

L'analisi sarà effettuata mediante un modello cinematico semplificato, in cui le approssimazioni effettuate sono tutte in vantaggio di sicurezza.

E' infatti stata trascurata l'energia cinetica dissipata in fase di rottura, che fa sì che la velocità di partenza dell'ipotetico proiettile non possa essere pari alla velocità di rotazione della pala, ed è stato altresì trascurato l'effetto di attrito dell'aria, che causerebbe un rallentamento della pala ed una conseguente minore distanza percorsa.

Il modello di seguito descritto ed applicato è pertanto relativo al moto di un proiettile scagliato verso l'alto nelle condizioni più sfavorevoli.

L'aerogeneratore modello Vestas V150 4.2MW ha le seguenti caratteristiche:

- lunghezza pala 75 m;
- altezza al mozzo pari a 166 metri.

Come noto la condizione di massima gittata si ottiene per un proiettile in partenza con un angolo di 45° verso l'alto rispetto all'orizzontale, pertanto il caso considerato sarà di distacco di una delle tre pale dell'aerogeneratore esattamente in tale condizione. In assenza di migliori dati da parte del costruttore, si assume inoltre che il baricentro sia ubicato circa a 1/3 della lunghezza della pala (25 metri dal centro di rotazione).

In tali ipotesi l'altezza del baricentro della pala è ubicata a 183m dal suolo.

Si consideri ora che la massima velocità di rotazione è indicata dal costruttore espressa in giri/minuto è di 12 rpm, come da stralcio seguente tratto dalla documentazione tecnica VESTAS.

3.1 Rotor			
The wind turbine is equipped with a rotor consisting of three blades and a hub. The blades are controlled by the microprocessor pitch control system OptiTip®. Based on the prevailing wind conditions, the blades are continuously positioned to optimise the pitch angle.			
Rotor	V117	V136	V150
Diameter	117 m	136 m	150 m
Swept Area	10751 m ²	14527 m ²	17671 m ²
Speed, Dynamic Operation Range	6.7-17.5	5.6-14.0	4.9-12.0

Stralcio documentazione tecnica WTG

A 12 rpm la velocità tangenziale del baricentro della pala è di 31,3 m/s. Considerando una inclinazione di 45° verso l'alto di tale velocità, si ottiene la seguente composizione delle velocità iniziali:

- velocità iniziale orizzontale: 22,1 m/s
- velocità iniziale verticale (verso l'alto): 22,1 m/s.

A questa composizione delle velocità corrisponde, considerando l'accelerazione di gravità, un tempo di volo fino all'atterraggio di circa 8,8 secondi. In vantaggio di sicurezza si è considerato il

tempo di volo come il tempo al quale giunge a terra il baricentro, e non una delle due estremità della pala che, evidentemente, arriverebbe a terra in un tempo minore.

Al tempo di volo così calcolato, trascurando come detto l'attrito dell'aria e con una velocità iniziale di 22,1 m/s, corrisponde una distanza percorsa in orizzontale di 195 metri circa, che è la distanza alla quale si trova il baricentro della pala al momento dell'atterraggio.

Sommando a questa distanza la lunghezza che separa la punta della pala dal baricentro, si ottiene una distanza di 245 metri, arrotondabile per eccesso a 250 metri.

La stima ottenuta è la massima distanza alla quale può atterrare la punta della pala a seguito di distacco dall'aerogeneratore.

Ovviamente la stima è effettuata in condizioni di grande sicurezza perché:

- non tiene conto della resistenza dell'aria che rallenta il moto sull'asse orizzontale (è stato modellato come moto rettilineo uniforme);
- non tiene conto della enorme dissipazione di energia che, comunque, si avrebbe al momento del distacco per vincere la resistenza del vincolo della pala all'aerogeneratore: infatti quand'anche si consideri il caso di distacco della pala dalla navicella, è evidente che il dispendio di energia cinetica per rompere il vincolo con l'aerogeneratore non può essere nullo

Del fatto che la stima ottenuta sia in condizioni di sicurezza si può avere conferma applicando le stesse ipotesi alla stima della gittata dell'aerogeneratore V112, per il quale VESTAS ha stimato una gittata massima di 147 metri. Applicando le ipotesi che sono state applicate nel presente documento, si ottiene invece una stima di 194 metri, superiore di oltre il 30% alla stima ottenuta da VESTAS.

Si aggiungono di seguito alcune ulteriori considerazioni - basate su dati costruttivi di dettaglio forniti dal costruttore della WTG - a dimostrazione del fatto che non è assolutamente verosimile che un frammento di pala si stacchi dalla stessa e venga scagliato a distanze significative, men che meno è verosimile l'ipotesi che un frammento di pala si stacchi dalla stessa e segua un moto assimilabile a quello di un proiettile scagliato con una velocità di partenza pari a quella della massima rotazione del rotore.

I dati disponibili alla data di stesura della presente fanno riferimento alle specifiche della macchina Vestas V136, essendo le specifiche della macchina Vestas V150 in fase di revisione da parte del costruttore, trattandosi di un nuovo modello. Le macchine fanno però parte della medesima piattaforma e, pertanto, le considerazioni di carattere descrittivo esposte di seguito sono assolutamente valide ed applicabili anche per la Vestas V150.

1. Innanzitutto è opportuno sottolineare che **non è ipotizzabile la rottura improvvisa e di netto di un frammento della pala con proiezione dello stesso.**

Con riferimento al documento VESTAS 0065-1415 V00 - *Technical description of a 67 m blade* le caratteristiche strutturali di una pala di WTG sono schematizzabili come da figura seguente

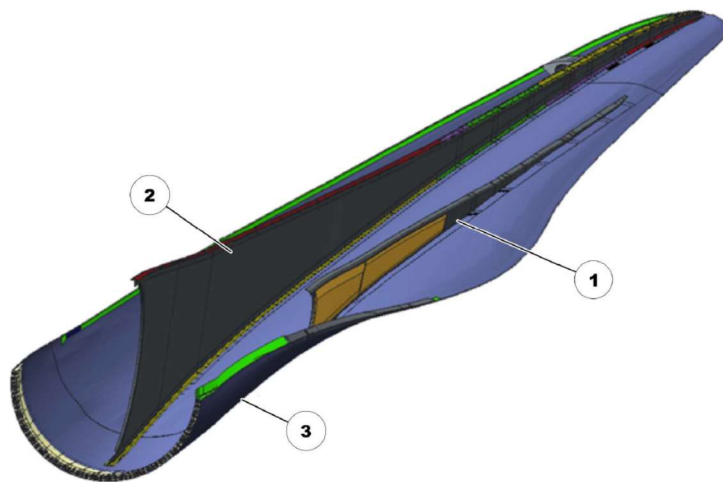


Figure 5.2: The main structural design of a 67 m blade

1	TE web	2	Main web
3	WW shell		

Stralcio da VESTAS 0065-1415 V00 - Technical description of a 67 m blade

Ciascuna pala è quindi composta da:

- una superficie esterna (guscio o shell) fatta di materiale composito rinforzato in fibra di vetro e realizzata in due semigusci (LW shell e WW shell – mostrato in figura);
- due rinforzi interni (TE WEB e Main WEB), anch'essi in materiale composito ed internamente accoppiati ai gusci, che sostengono il carico aerodinamico della pala

Da un punto di vista del dimensionamento strutturale, la progettazione della pala segue una serie di norme citate nel documento VESTAS "0067-7060_V00 - *General Description 4MW Platform.pdf*", par. 8.1. Per quel che concerne la presente analisi, si evidenzia che la combinazione di coefficienti di sicurezza per i carichi, i materiali utilizzati e la valutazione delle conseguenze in caso di rottura rispettano quanto prescritto dalla norma IEC 61400-1, che impone l'utilizzo di condizioni particolarmente gravose. Le norme tecniche seguite in fase di dimensionamento sono tali da poter rendere trascurabile l'ipotesi di un significativo danneggiamento della pala per tutta la vita utile della WTG (20 anni).

Ciononostante, nella remota ipotesi in cui ci sia un danneggiamento del materiale che compone i gusci o i rinforzi interni della pala, è assolutamente impossibile che si stacchi un frammento terminale della pala, dal momento che – per come la pala è costruita – non esistono giunzioni trasversali rispetto allo sviluppo della pala, ma esclusivamente la giunzione longitudinale tra i due semigusci. L'unica – remota – possibilità di

danneggiamento riguarda una "separazione" parziale dei due semigusci. In questo scenario i rinforzi interni e la parte di semiguscio non danneggiata tratterrebbero la parte di guscio ipoteticamente rovinata e la macchina andrebbe automaticamente in pausa (v. osservazione al paragrafo seguente), evitando categoricamente la possibilità di proiezione di un frammento di pala alla massima velocità.

2. Secondariamente è necessario precisare che le WTG sono dotate di un sistema di sicurezza in grado di mandare in pausa la macchina a seguito di sbilanciamenti del rotore, eccessivo carico aerodinamico sulla pala o scostamenti sensibili tra velocità del vento e power curve.

Il danneggiamento di una pala – che per quanto già spiegato evidentemente precede qualunque ipotesi di proiezione di un frammento della stessa – farebbe funzionare il rotore in condizioni non bilanciate, e porterebbe necessariamente il sistema di sicurezza a rilevare almeno una delle tipologie di errori codificate come di seguito:

"*Tower Acceleration*": dovuto a un forte sbilanciamento del rotore.

"*Power Curve Error*": dovuto a un forte scostamento rispetto alla Power Curve attesa (che potrebbe essere generato da una variazione del profilo pala)

"*Tilt yaw Control*": dovuto ad un eccessivo carico sulla pala misurato da un sensore.

Ciascuna di queste anomalie mette la macchina in pausa, e ferma quindi il rotore in attesa di un intervento tecnico. Non è pertanto possibile che il rotore giri alla sua massima velocità se una delle pale è danneggiata, e quindi che scagli un frammento di pala alla massima velocità ipotizzabile.

3. Si richiama inoltre il fatto che **la macchina è dotata di un sistema di protezione contro le fulminazioni per la torre, per l'hub e per le pale.** In particolare, con riferimento alle pale, si riporta di seguito uno stralcio dal documento VESTAS 0059-1120 V02 - *Lightning protection and EMC* che descrive il sistema di protezione dalle fulminazioni per macchine della stessa piattaforma delle V150. Analoga specifica è in fase di predisposizione per la V150.

The V126 and V136 blade

The lightning protection system for the blade consists of 4 main elements: tip protection receptors, surface protection, down conductor, and lightning band.

The tip protection receptors consist of a solid metal tip and an array of lightning receptors. The array of lightning receptors has 4 lines of receptors along the leading and trailing edge of the windward and leeward shells. The solid metal tip and the lightning receptors preferentially attract lightning which results in few lightning attachment events to the fibreglass shells or to the main portion of the blade. The solid metal tip and receptors are connected with an insulated, high-voltage cable.

A portion of the windward and leeward shells between the array of lightning receptors and the root is covered with an expanded metal foil. As with the solid metal tip and array of lightning receptors, the expanded metal foil provides a preferred lightning attachment point to protect the uncovered portion of the blade from direct lightning strikes. The expanded metal foil is connected to the array of lightning receptors and the down conductor.

The down conductor consists of insulated high-voltage cable routed along the trailing edges of the blade. The high-voltage cable are chosen in accordance with IEC 61400-24.

The down conductors terminate at the blade band at the root of the blade. The blade band serves as the interface to the LCTU. See [section 3.6 Protection of the main bearings, page 10](#), for more information about the LCTU.

Stralcio da VESTAS 0059-1120 V02 - Lightning protection and EMC

Si evince che ciascuna pala è dotata:

- di un recettore in punta per i fulmini (solid metal tip)
- di un array di ricettori metallici (lightning receptors)
- di una rete metallica (expanded metal foil)

che sono collegati ad un cavo di scarico dell'alta tensione (down conductor) che, secondo le indicazioni ricevute dal costruttore, per la V150 avrà una sezione di 50 mmq.

Pertanto, in caso di fulminazione di una delle pale del rotore, la corrente di fulminazione sarebbe scaricata a terra e non comporterebbe alcun danneggiamento della pala. Valgono, ovviamente, in caso di ipotetico danneggiamento da parte di un fulmine, le considerazioni fatte ai punti 1 e 2.

Per quanto spiegato è del tutto evidente che, anche in caso di rottura del frammento di una pala, lo stesso rimarrebbe vincolato (sostanzialmente "appeso") alla restante parte della pala e non sarebbe proiettato. Peraltro anche nella assolutamente remota ipotesi di distacco del frammento, la maggior parte dell'energia cinetica sarebbe spesa per rompere il vincolo del frammento alla pala.

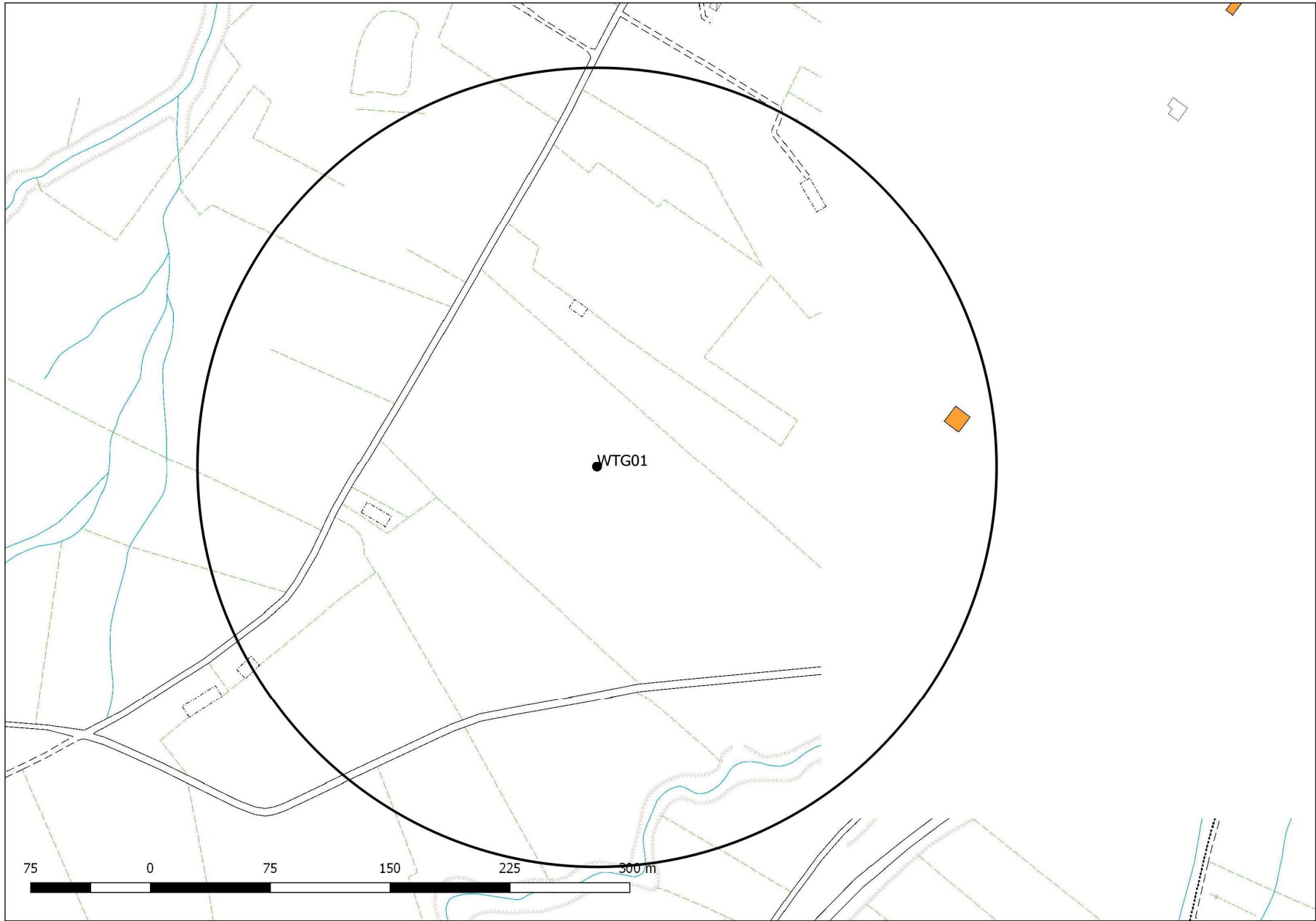
Indicazioni fornite dal costruttore, che ha una flotta operativa di oltre 60.000 unità, mostrano che il distacco di una parte di pala è un avvenimento la cui probabilità è trascurabile.

Sulla base delle considerazioni appena esposte, considerando quindi una distanza di sicurezza di 250 metri, alle pagine seguenti sono mostrati inquadramenti su CTR delle posizioni di progetto degli aerogeneratori con evidenziato un buffer di 250 metri intorno a ciascuna posizione.

Come si può notare:

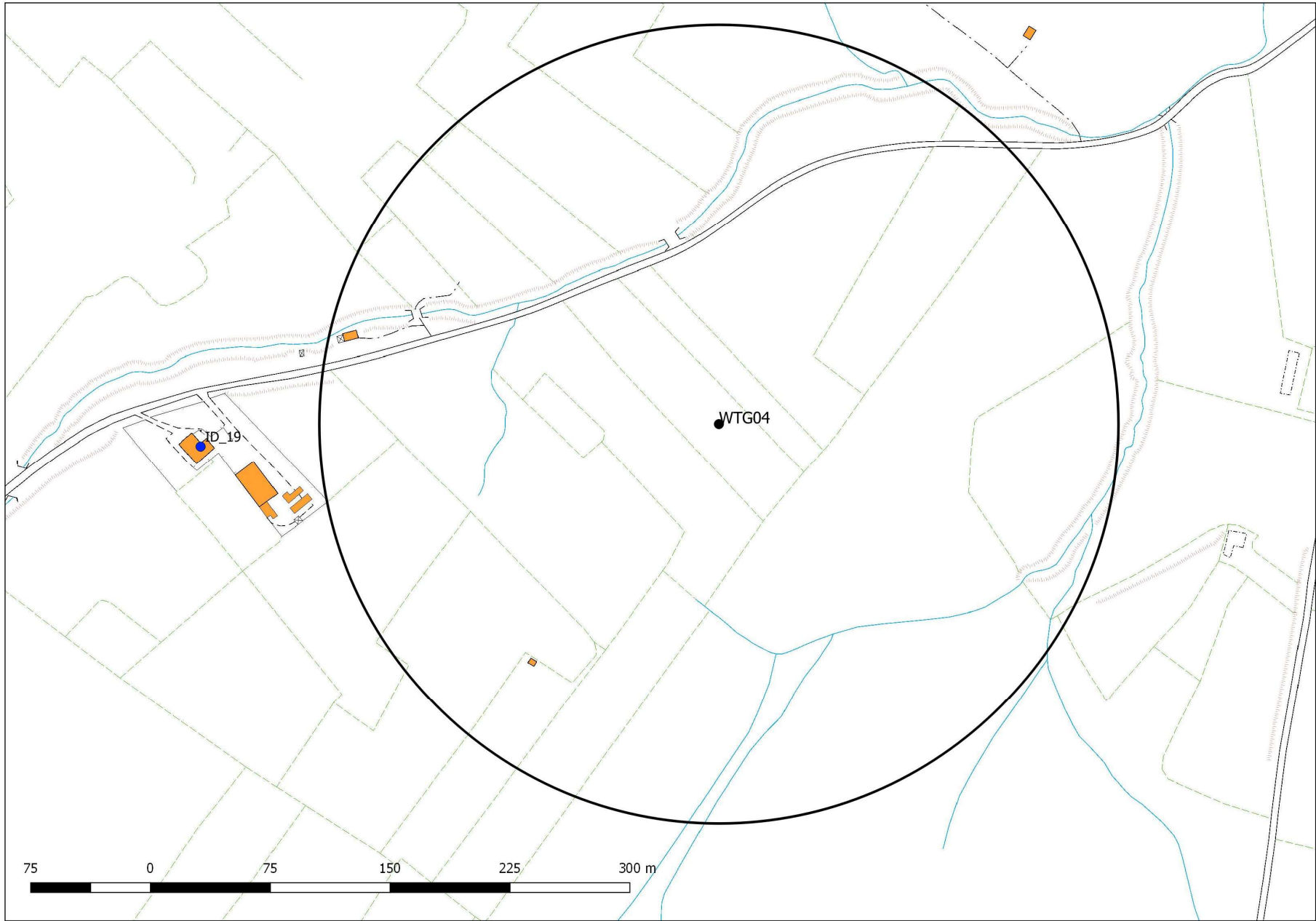
- nel buffer intorno alla WTG 1 è presente un edificio diroccato;
- nel buffer intorno alla WTG 2 sono presenti due piccoli edifici; si tratta di capanni per il ricovero degli attrezzi agricoli;
- nel buffer intorno alla WTG4 è presente un capanno per attrezzi agricoli, ed un edificio con il tetto diruto.

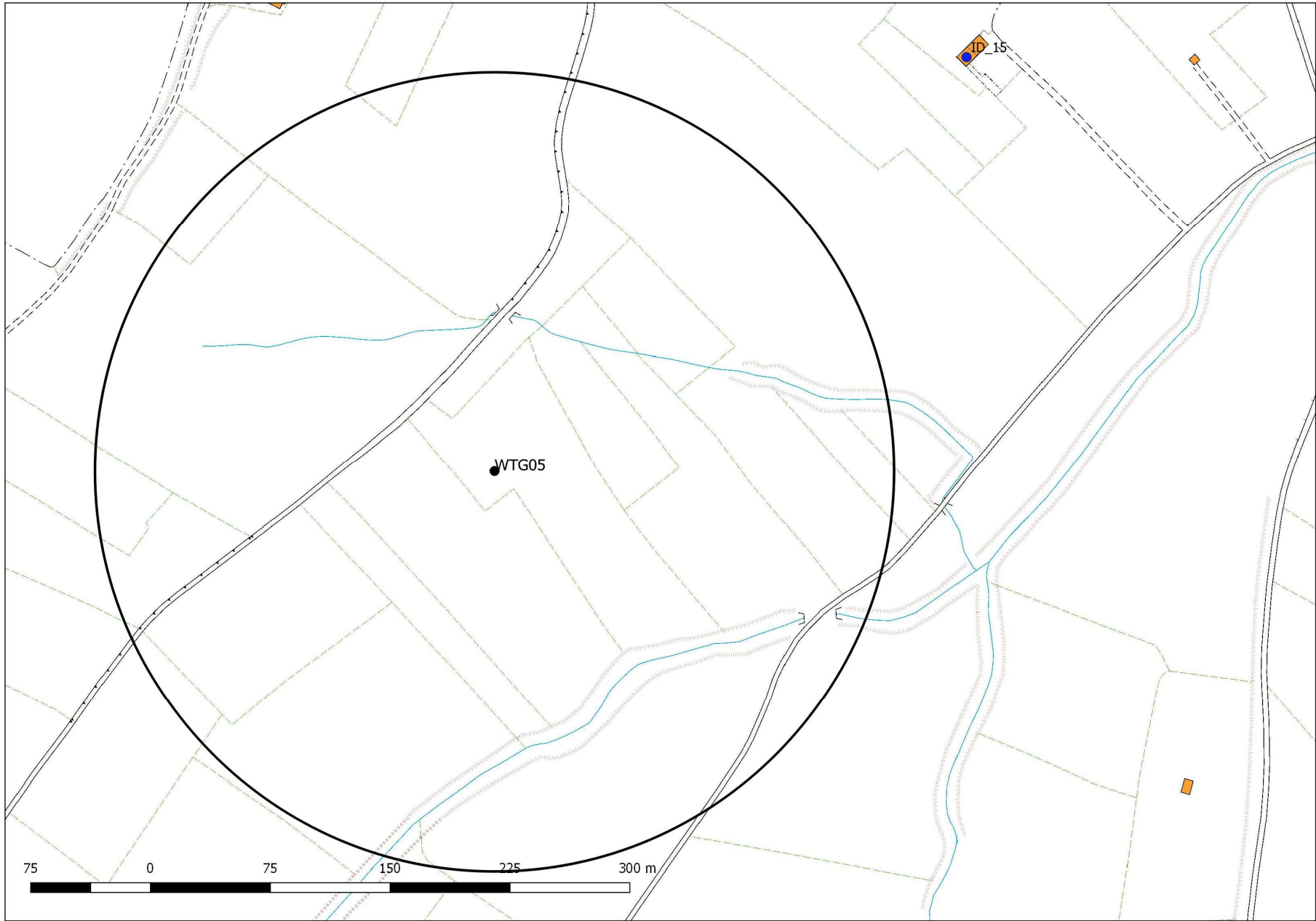
Nel buffer intorno alle restanti macchine non sono presenti edifici di alcun tipo.

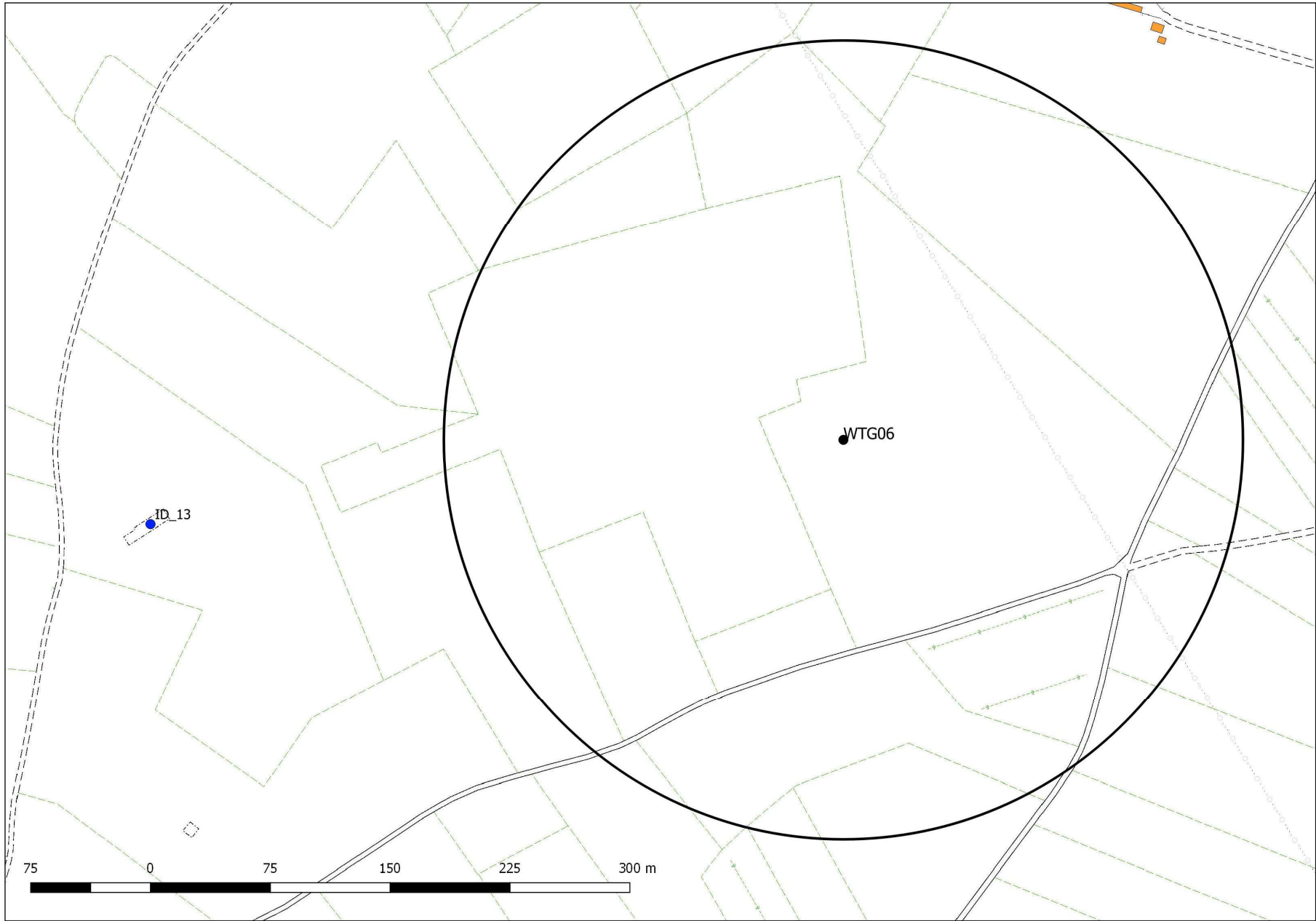












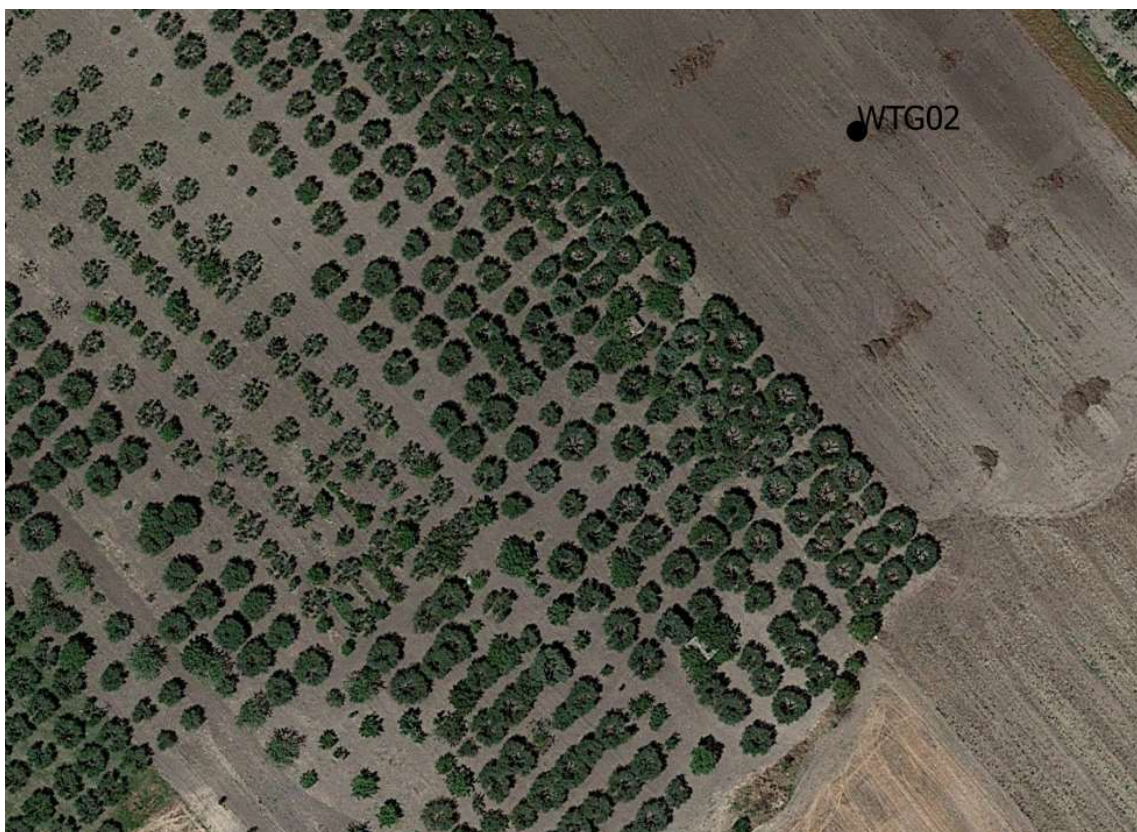




Degli edifici presenti nei buffer di 250 metri dalla posizione delle WTG si osserva che sono in effetti esclusivamente piccoli depositi di attrezzi agricoli, serviti esclusivamente da viabilità in terra (per mezzi agricoli e non per autoveicoli) che non è stato possibile percorrere in fase di sopralluogo. Si mostrano di seguito stralci di ortofoto relativi ai singoli edifici.

ID WTG	NOTE
01	 <p data-bbox="437 1361 1311 1447"><i>Edificio con tetto in parte crollato. In catasto al Foglio 25, p.lla 371 – Categoria F2 Unità Collabenti</i></p>

02



Si tratta di piccoli ricoveri per attrezzi agricoli, in catasto censiti esclusivamente nel catasto dei terreni, non dei fabbricati

04



Ricovero attrezzi agricoli. Non censito nel catasto dei fabbricati



Ricovero attrezzi agricoli. Non censito nel catasto dei fabbricati

Si tratta, come mostrato, 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.

4 CONCLUSIONI

In conclusione:

- la massima gittata degli elementi rotanti che possono essere proiettati dagli aerogeneratori in progetto è certamente inferiore a 250 metri;
- Rispetto agli aerogeneratori esistono alcuni edifici nel buffer di 250 metri, tuttavia si tratta di ruderi disabitati o di depositi di attrezzi agricoli.

Si ritiene che non sussistano quindi problemi di sicurezza legati alla ipotetica (remota) gittata di elementi rotanti.