



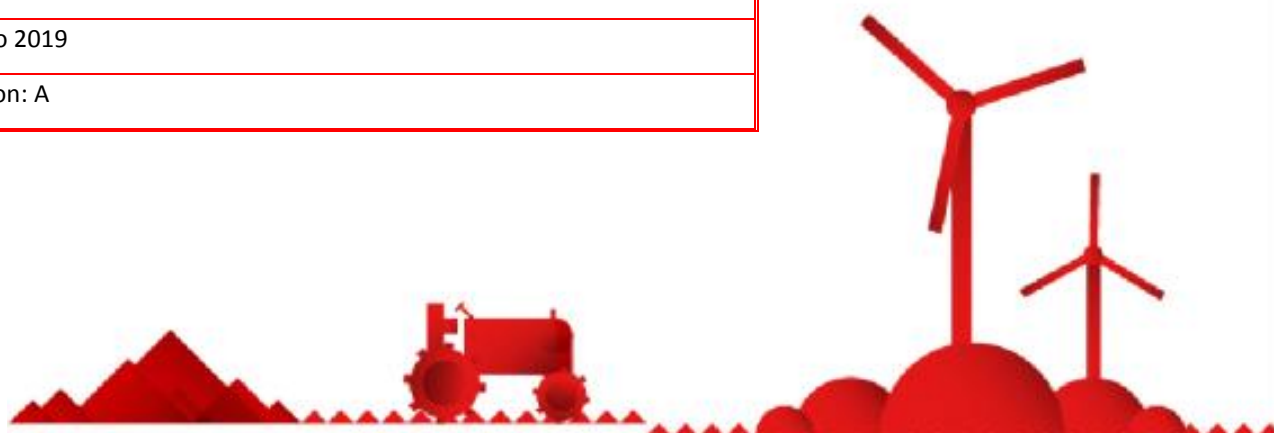
## PARCO EOLICO "ROSAMARINA"

A.8 - Studio sugli effetti di shadow - flickering

Lavello (Potenza)

Marzo 2019

Version: A



Edp Renewables Italia Holding S.r.l.

Via Lepetit 8/10

20124 - Milano




MARGIOTTA ASSOCIATI

Via Valcaro n.37

85100 Potenza

P.IVA: 01108480763


Tel: 0971/37512

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------

## INDICE

---

<b>1. A.8.A. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. A.8.B. MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. A.8.C. RISULTATI .....</b>	<b>8</b>

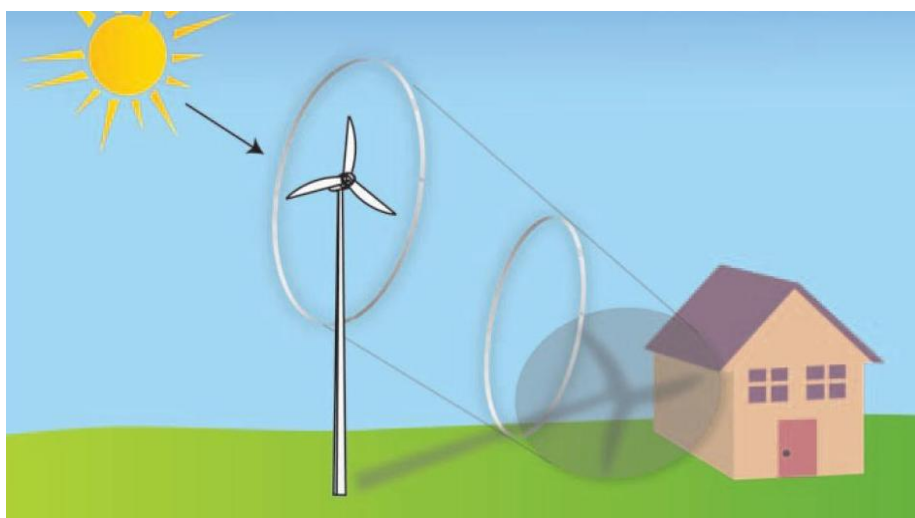
	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------

### 1. A.8.A. INTRODUZIONE


Lo “shadow flicker” (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l’espressione comunemente impiegata per descrivere una variazione periodica dell’intensità luminosa osservata, causata dalla proiezione, su una superficie, dell’ombra indotta da oggetti in movimento. Nel caso di un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore, dell’ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori, quando il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

Per un potenziale ricettore, il fenomeno si traduce in una variazione alternata e ciclica di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale del generatore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984), e, l’effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.




**Figura 1 - Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker**

 <b>edp renewables</b>	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.75 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2.5 Hz. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 20 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

Tale fenomeno può generare disturbo ad un ipotetico ricettore, quando:

- si è in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea ricettore - aerogeneratore è priva di ostacoli: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti l'ombra generata da quest'ultimi annullerebbe il fenomeno. Pertanto, affinché si generi lo shadow flickering, la linea ricettore-aerogeneratore dovrà essere perpendicolare alle finestre del ricettore e priva di ostacoli fisici (alberi, altri edifici, ecc.);
- il rotore è orientato perpendicolarmente alla linea sole-ricettore: quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "cerchio" che induce un effetto di shadow flickering non trascurabile; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole ed il ricettore, l'ombra proiettata risulterebbe assottigliata e di bassa intensità, per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe trascurabile;
- la posizione del sole è tale da produrre una luminosità sufficiente, che per la latitudine di progetto corrisponde ad un'altezza del sole sull'orizzonte dell'ordine di almeno 10 -15 gradi;
- le pale del rotore sono in movimento;
- l'aerogeneratore e il ricettore non sono troppo distanti: le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore sono di maggiore intensità e nitidezza rispetto a quelle proiettate a distanze maggiori. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un ricettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricettore, le

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------


pale, durante il loro moto di rotazione, andranno a coprire una porzione sempre più piccola del disco solare, inducendo un effetto di flicker di minore intensità.

In definitiva, si può affermare che le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (abitazione), risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 300/400 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulta ortogonale alla congiungente ricettore – sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari al rotore del generatore eolico.

Nonostante il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate rivolte verso le ombre. In generale, l'area soggetta a shadow flicker non si estende oltre i 500÷1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 300/400 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno; il flickering, se presente, non supera in genere i 30/40 minuti di durata nell'arco di una giornata.

L'intensità del fenomeno è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione. In generale, si può affermare che:

- avendo le pale una forma rastremata con lo spessore che cresce verso il mozzo; il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal ricettore;
- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre "sfocate"; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------

## 2. A.8.B. MODELLO DI CALCOLO

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un campo eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. I pacchetti software impiegati per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

L'analisi si basa sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.


Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto.

Nello specifico è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 4 (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno per identificare i tempi in cui ogni turbina può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine. In particolare, il modello permette di:

- calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;
- mostrare un calendario grafico degli eventi di flickering;
- mostrare un elenco dettagliato di ciascun evento di ombreggiamento (ora di inizio, di fine, durata del fenomeno, aerogeneratore/i coinvolti ecc...);
- creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro del sole diventa piccolo. Poiché non vi è un valore generalmente accettato per questa distanza massima, WindFarm permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro della turbina o dell'altezza complessiva della pala della stessa.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante (WORST CASE), corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------

luce, ca. 4380 h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (REAL CASE), si è impiegato il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno. Per l'area in esame tale valore corrisponde a circa 2400 h/a<sup>1, 2</sup>; quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45.2 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2400/4380 = 54.8 \%$ .

In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 54.8 % che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.


Inoltre, dal momento che il fenomeno in esame è prodotto dalla contemporanea presenza di sole libero da nubi (potenzialità di generare ombre) e di velocità del vento superiori a quella di cut-in (rotore in moto), i valori calcolati dal modello (rotore permanentemente in moto) possono essere ulteriormente abbattuti di una percentuale corrispondente alle ore annue di funzionamento macchina rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h).

Per il campo in esame, le ore macchina sono state stimate pari all'80% delle ore anno, ovvero 7008 ore macchina, quindi la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 80,00 % (pari al rapporto 7008/8760).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto  $54.8 \% \times 80,00 \% = 43.84 \%$ , ovvero 56.16 %, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

<sup>1</sup> Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 39: pag. 23-58.

<sup>2</sup> Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm., pag. 48.

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 37.1 MW e opere di connessione alla rete  <b>Studio sugli effetti di shadow flickering</b>	Marzo 2019
--	---	------------

### 3. A.8.C. RISULTATI

Al fine di verificare la sussistenza del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni che hanno tenuto conto:

- del diagramma solare riferito alla latitudine di installazione del parco;
- della posizione degli aerogeneratori e dell'altezza complessiva della macchina, intesa quale somma tra l'altezza del mozzo e la lunghezza della pala;
- dall'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- della posizione dei possibili recettori (abitazioni) rientranti in un buffer di 1500 m da ogni aerogeneratore del parco in oggetto.

Il software effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul ricettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (WORST CASE). Inoltre, poiché il programma calcola l'evoluzione geometrica delle ombre durante la giornata, è stato possibile determinare l'area in cui il fenomeno dello shadow flickering potrebbe verificarsi per ciascun aerogeneratore (cfr. mappa allegata e figure seguenti).

Nel caso in esame, nonostante le simulazioni siano state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc., nessun ostacolo interposto tra i ricettori individuati e gli aerogeneratori in progetto, rotore in movimento continuo e luce diretta, non è presente nessun impatto significativo da shadow flickering sui ricettori censiti come abitazioni. Le distanze reciproche tra generatori eolici e ricettori e le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame.

**In definitiva, come è possibile riscontrare dall'elaborato grafico A.8.1, nessun ricettore, censito come abitazione, ricade nell'area in cui il fenomeno dello shadow flickering potrebbe verificarsi.**

Infine, essendo la frequenza dello shadow flickering correlata alla velocità di rotazione del rotore, che per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0.7÷1.5 Hz (circa un passaggio al secondo), possiamo affermare che in termini di impatto sulla popolazione,





Studio sugli effetti di shadow flickering

tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

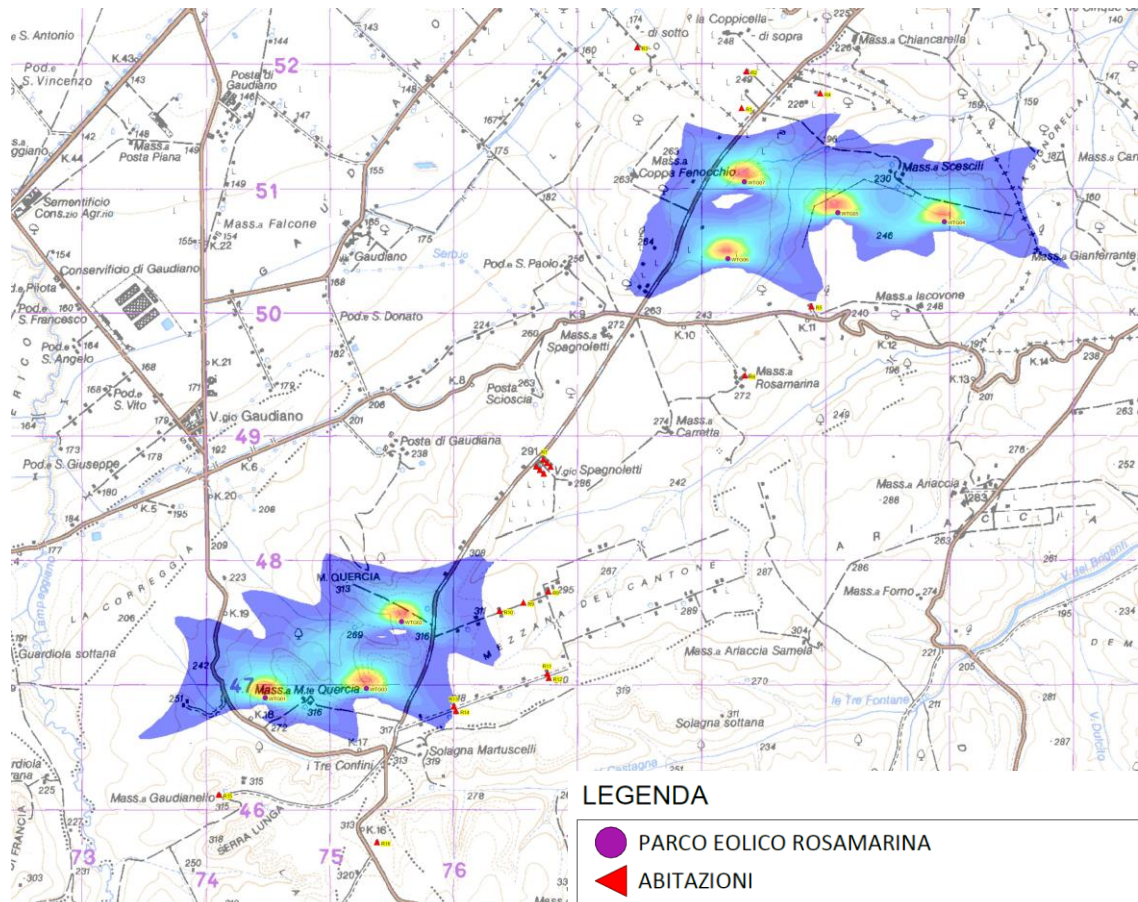


Figura 2 - Mappa di impatto potenziale da shadow flickering per il campo eolico in esame

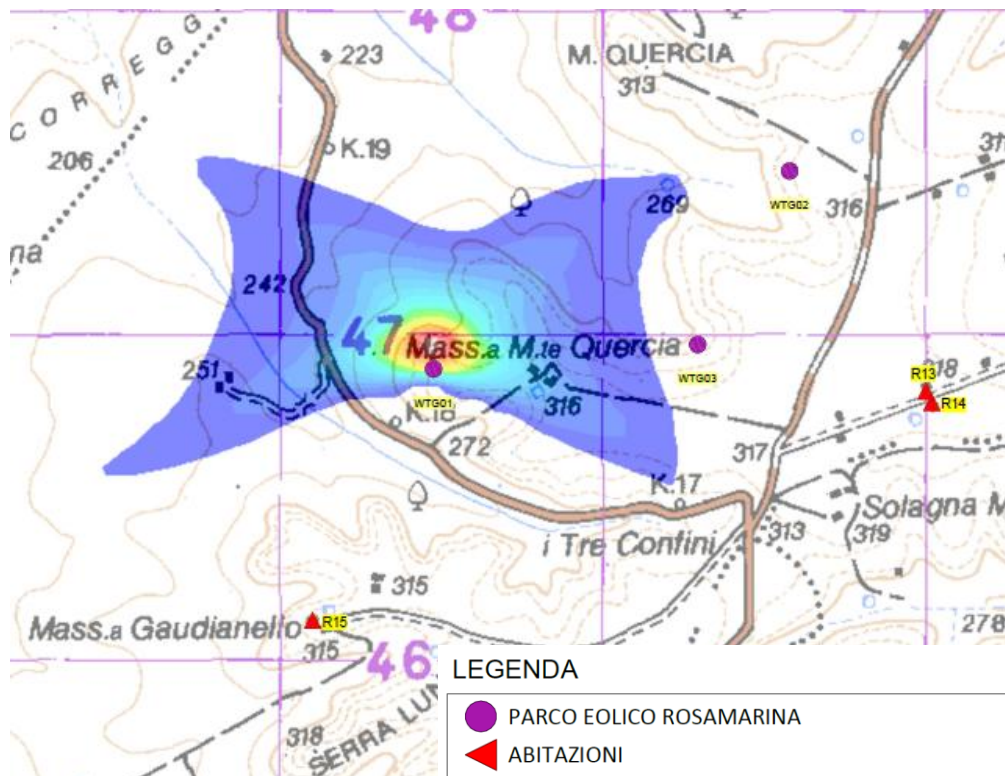


Figura 3 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG1

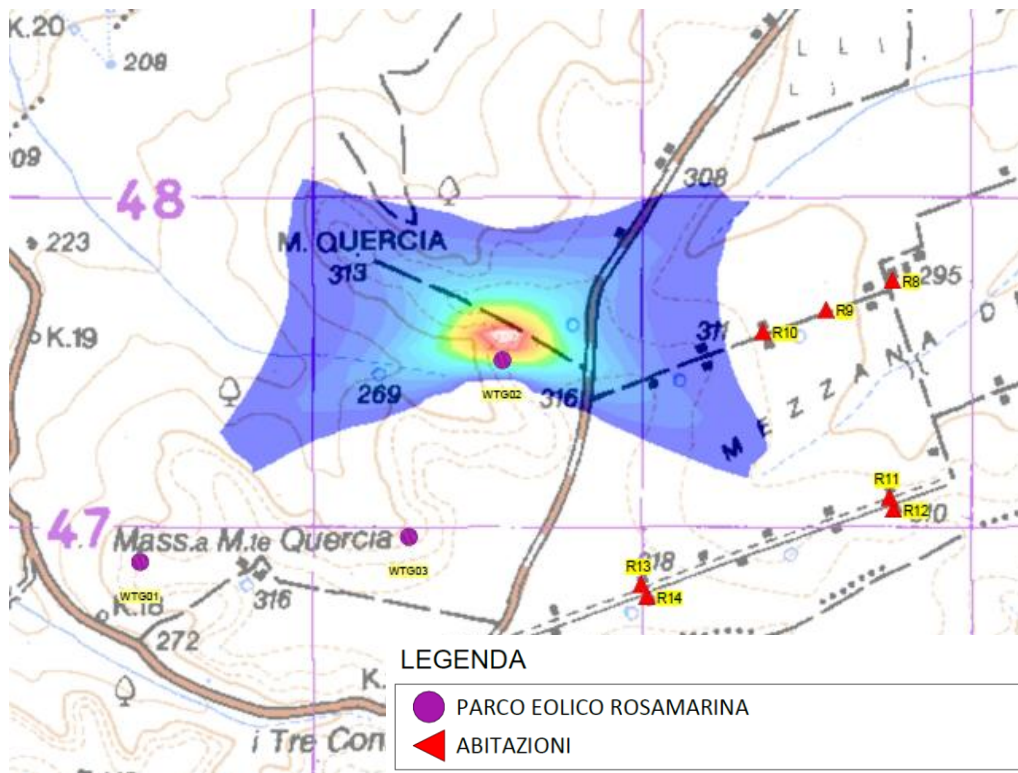


Figura 4 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG2

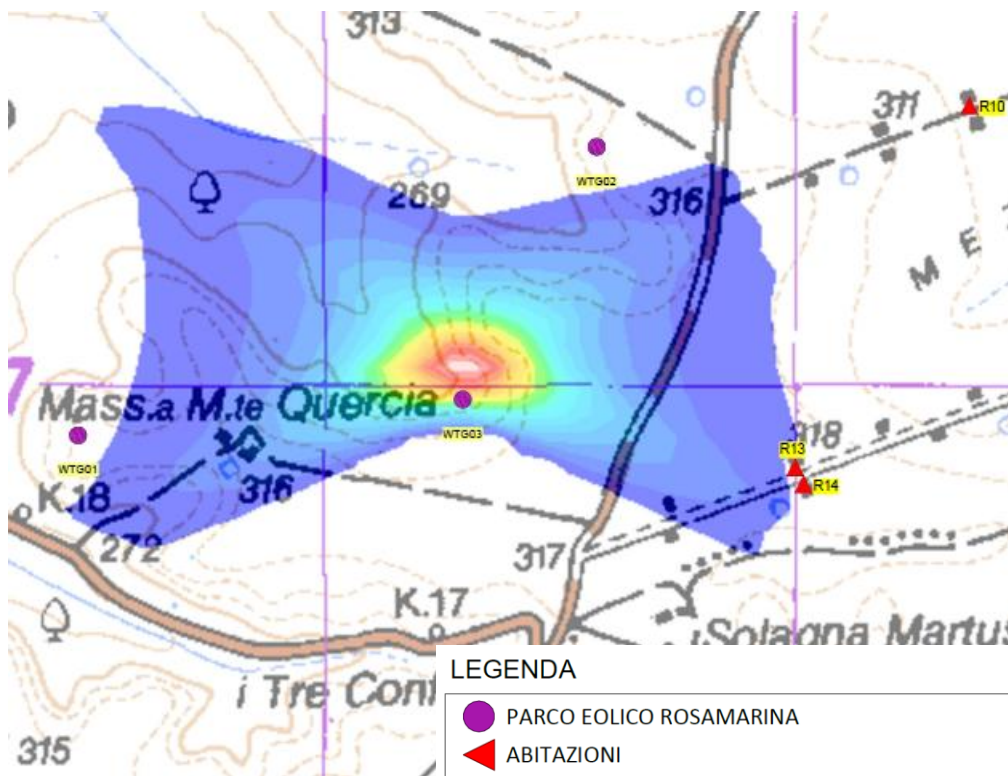


Figura 5 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG3

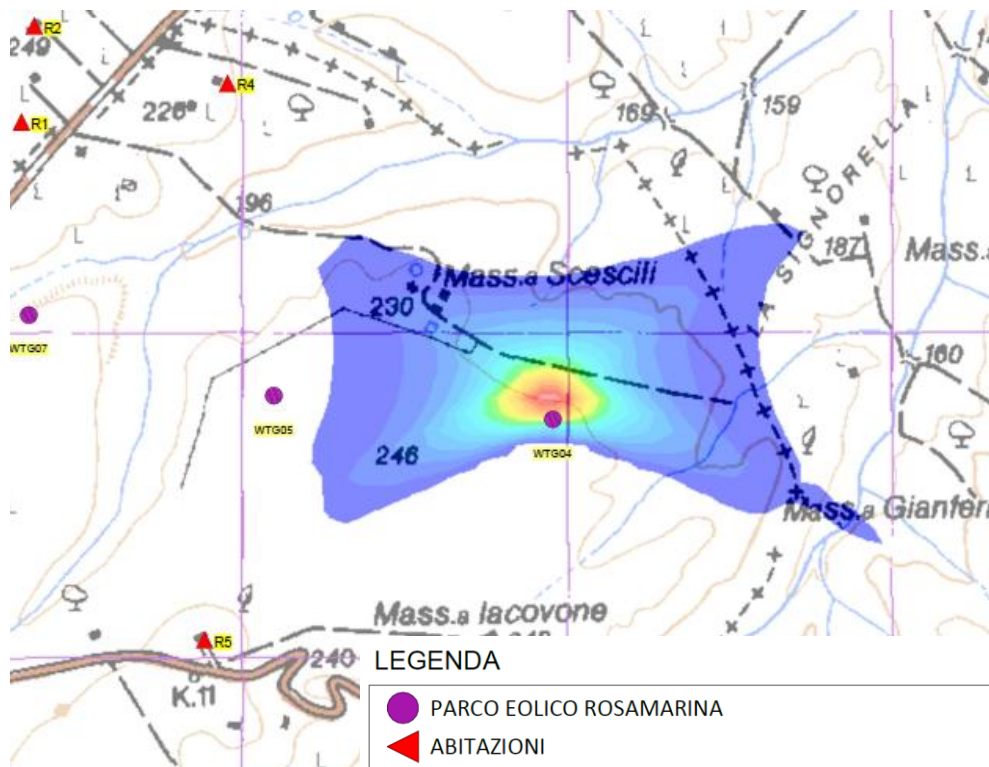


Figura 6 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG4

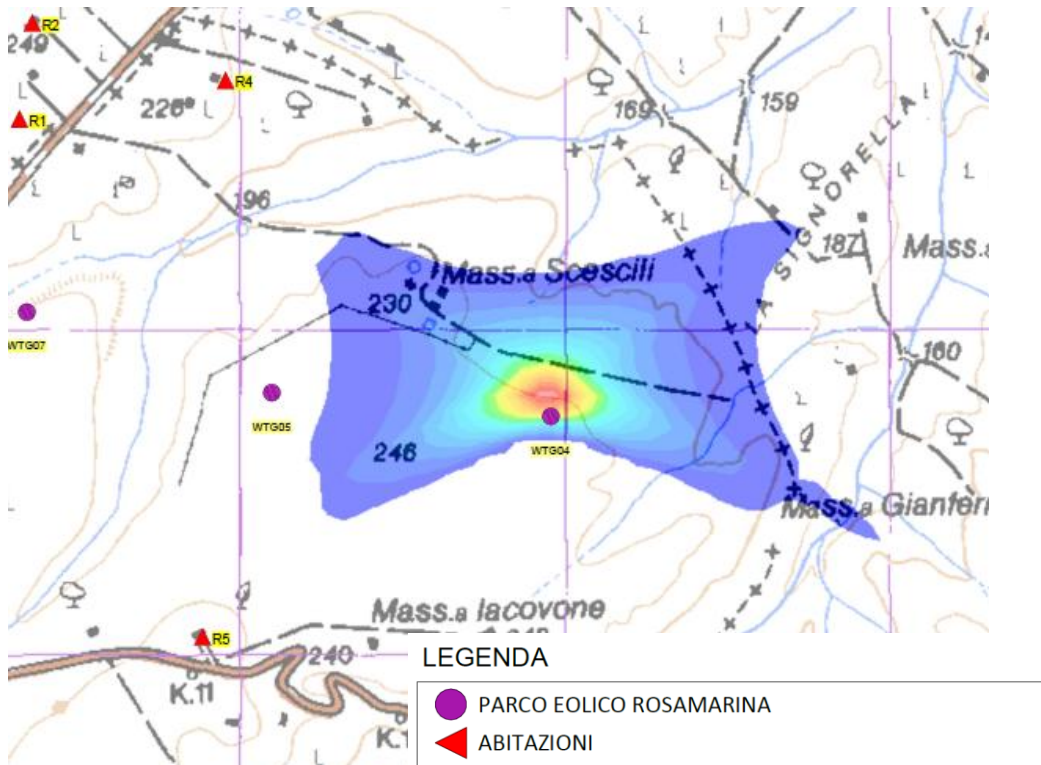


Figura 7 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG5

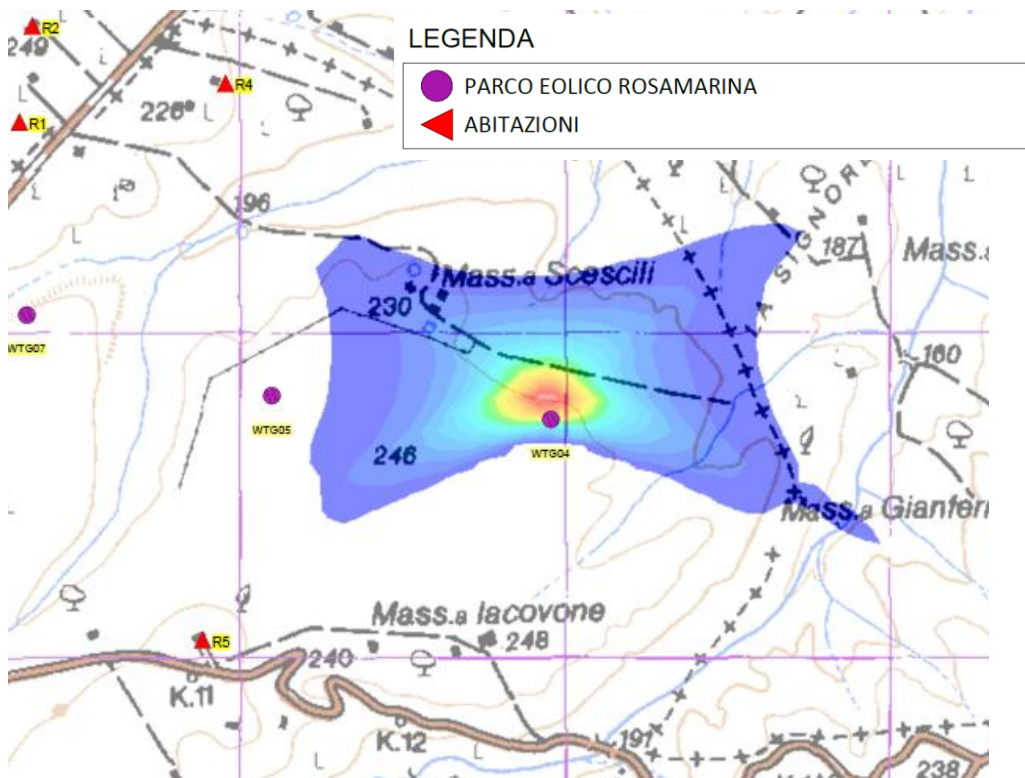


Figura 8 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG6

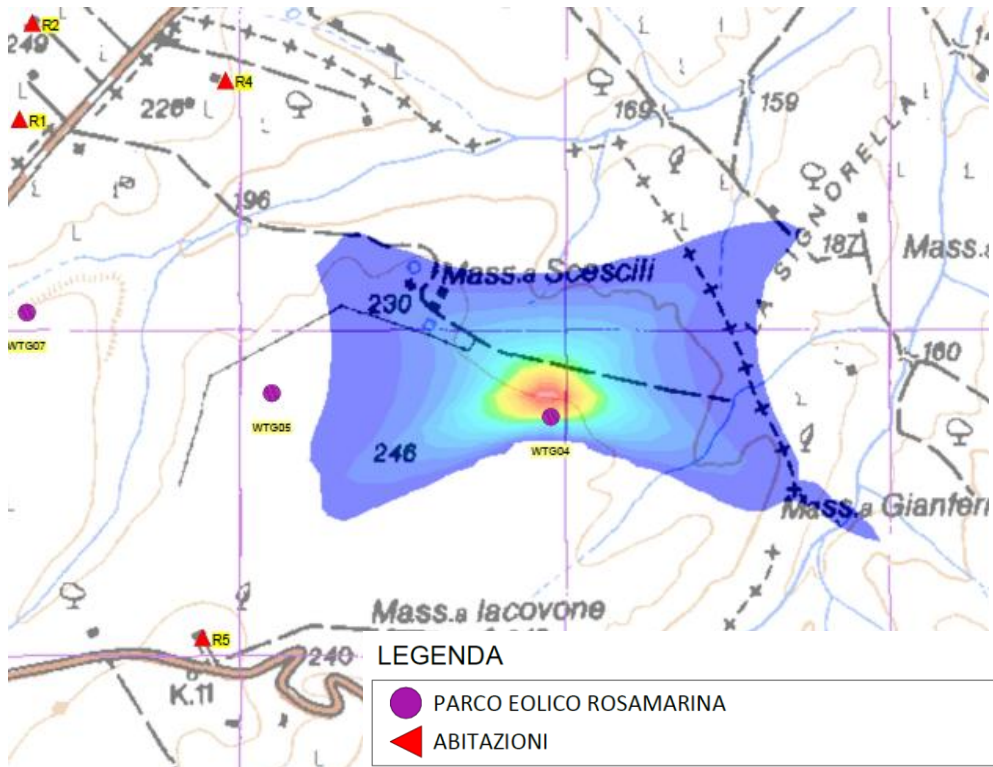


Figura 9 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG7