

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

## AREN Green S.r.l.

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.

Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245

Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

COMUNE DI FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO (PZ)  
LOCALITA' "TUFAROLI"

# PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "TUFAROLI"

REDAZIONE / PROGETTISTA:



**PHEEDRA**  
Our passion, your expression.

PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90

74121 - Taranto

Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285

e-mail: [info@pheedra.it](mailto:info@pheedra.it) - web: [www.pheedra.it](http://www.pheedra.it)

Direttore Tecnico: Dott. Ing. Angelo Micolucci

TIMBRO E FIRMA

PROGETTISTA:

ORDINE INGEGNERI PROVINCIA TARANTO

Dott. Ing.  
MICOLUCCI Angelo  
n° 1851

Sezione A

Settore:  
Civile Ambientale  
Industriale  
Informazione

TITOLO ELABORATO:

**RELAZIONE SULL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA - FENOMENO  
SHADOW FLICKERING**

CODICE ELABORATO:

**TUFDT\_GENR02800\_00**

FORMATO:

**A4**

Nr. EL.:

**/**

FASE:

**PROGETTO  
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	09/11/2023	A. Micolucci	A. Micolucci	A. Micolucci
01					
02					
03					
04					

Committente: <b>AREN Green S.r.l.</b> Via Dell'Arrigoni 308 47522 Cesena (FC)	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI COMUNI DI FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO (PZ) DENOMINATO "TUFAROLI"	Nome del file:  <b>TUFDT_GENR02800_00</b>
--	---	---

**SOMMARIO**

1.	PREMESSA .....	2
2.	INTERVENTI IN PROGETTO .....	2
3.	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO .....	4
4.	EFFETTO SHADOW FLICKER.....	5
5.	MODELLO DI CALCOLO .....	7
6.	RISULTATI .....	8

Committente: <b>AREN Green S.r.l.</b> Via Dell'Arrigoni 308 47522 Cesena (FC)	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI COMUNI DI FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO (PZ) DENOMINATO "TUFAROLI"	Nome del file:  <b>TUFDT_GENR02800_00</b>
--	---	---

## 1. PREMESSA

Nella presente trattazione si descrive l'evoluzione giornaliera delle ombre generate dalle pale eoliche facenti parte dell'impianto eolico denominato "TUFAROLI" al fine di verificare che l'alternanza ciclica dell'ombra non arrechi danni alla salute su un possibile ricettore.

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 10 aerogeneratori ognuno da 6 MW da installare nel territorio dei comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ) su di un'area che interessa la località di "Masseria Tufaroli" con opere di connessione ricadenti nei medesimi comuni, commissionato dalla società AREN Green S.r.l.

## 2. INTERVENTI IN PROGETTO

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 10 aerogeneratori ognuno da 6 MW da installare nel territorio dei comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ) su di un'area che interessa la località di "Masseria Tufaroli" con opere di connessione ricadenti nei medesimi comuni, commissionato dalla società AREN Green S.r.l. L'impianto sarà allacciato alla Stazione Elettrica Terna di nuova realizzazione, denominata "Palazzo San Gervasio", tramite connessione a 36 kV.

Il sito interessato dai previsti aerogeneratori, con denominazione che va da TU01 a TU10, si trova nei territori del comune di Forenza, a 2 km a sud dal centro abitato del comune di Maschito e a 2km a nord dal centro abitato del comune di Forenza, lungo la parte alta del bacino idrografico della Fiumara di Venosa affluente in destra idrografica del fiume Ofanto, con quote variabili tra i 450 e i 750 metri sul livello del mare.

Il gruppo di aerogeneratori è circoscritto a nord dalla strada SP10, a sud dalle strade SP8 e SP66.

Gli aerogeneratori si possono ricomprendere, dal punto di vista della posizione, in un unico gruppo. Sono infatti tutti ubicati nei territori del comune di Forenza, a 2 km a sud dal centro abitato del comune di Maschito e a 2km a nord dal centro abitato del comune di Forenza, lungo la parte alta del bacino idrografico della Fiumara di Venosa affluente in destra idrografica del fiume Ofanto, con quote variabili tra i 450 e i 750 metri sul livello del mare.

Nel dettaglio gli interventi previsti sono:

- realizzazione di 10 aerogeneratori ognuno da 6 MW;
- realizzazione di 10 piazzole provvisorie per il montaggio degli aerogeneratori da ridimensionare al termine della fase di cantiere;
- realizzazione di nuovi tratti stradali ed in adeguamento di taluni tratti della viabilità esistente, realizzazione di slarghi provvisori necessari all'accesso al sito dei mezzi che effettuano i trasporti eccezionali da ripristinare al termine della fase di cantiere;
- realizzazione dei cavidotti interrati in AT di interconnessione fra gli aerogeneratori e la stazione elettrica in agro dei Comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ).

<b>PHEEDRA Srl</b> Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	<b>RELAZIONE SULL'EVOLUZIONE          DELL'OMBRA          FENOMENO SHADOW FLICKERING</b>	Pagina 2 di 10
---	--	----------------

La collocazione degli aerogeneratori in progetto è la seguente:

TURBINA	E (UTM WGS84 33N) [m]	N (UTM WGS84 33N) [m]
TU1	570500	4526780
TU 2	570721	4525822
TU 3	571341	4524997
TU 4	571774	4525669
TU 5	572448	4524903
TU 6	573480	4525559
TU 7	574158	4525765
TU 8	574602	4526207
TU 9	574529	4527132
TU 10	575084	4527089



Figura 1 – Inquadramento Territoriale - IGM 25.000



Figura 2 - Inquadramento Territoriale – Ortofoto

### 3. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO

Il Parco è ubicato nella Provincia di Potenza e, più precisamente, nei territori comunali di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ) in località "Masseria Tufaroli".

Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ).

Gli aerogeneratori sono stati posizionati lungo il sito tenendo conto, principalmente, delle condizioni di ventosità dell'area (direzione, intensità e durata) quindi della natura geologica del terreno oltre che del suo andamento plani altimetrico.

La potenza totale da installare dell'impianto sarà prodotta con la realizzazione mediante l'installazione di n° **10 aerogeneratori** di potenza unitaria pari a **6 MW**.

Il parco eolico è circoscritto dalle seguenti strade provinciali, regionali e statali:

- SP10 - *Venosina*;
- SP8 – del *Vulture*;
- SP66 - *Forenza-Forenza Scalo*;
- Strade comunali.

Nell'area sono rilevabili i seguenti beni monumentali:

- MASSERIA NARDOZZO
- MASSERIA TUFAROLI
- MASSERIA IASI
- MASSERIA CHECCA
- MASSERIA MARAGNANO



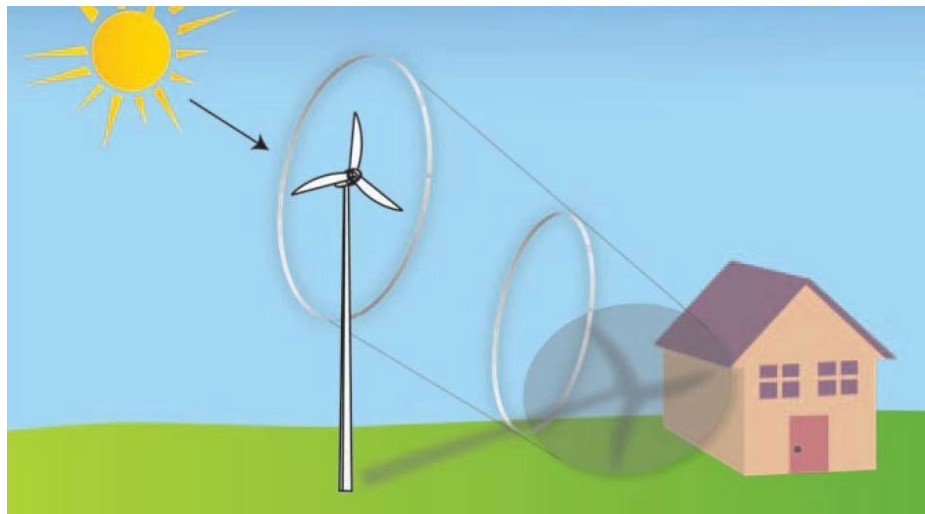
- MASSERIA MASI
- MASSERIA PAVONELLI
- MASSERIA LIONI
- MASSERIA PENDINA
- MASSERIA GIAFALONE

L'opera oggetto di studio ricade in territorio di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ). L'area dell'impianto in progetto è interessata da due sottosistemi di suolo ovvero collina argillosa e marnosa dell'Irpinia e collina arenacea dell'Irpinia. Gli insediamenti umani sono scarsi, e localizzati generalmente lungo la viabilità provinciale, a relativa distanza dai siti previsti per gli aerogeneratori.

#### 4. EFFETTO SHADOW FLICKER

Lo "shadow flicker" (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere l'effetto stroboscopico delle ombre proiettate dalle pale rotanti degli aerogeneratori eolici allorquando il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura 3). Il fenomeno si traduce in una variazione alternata 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.



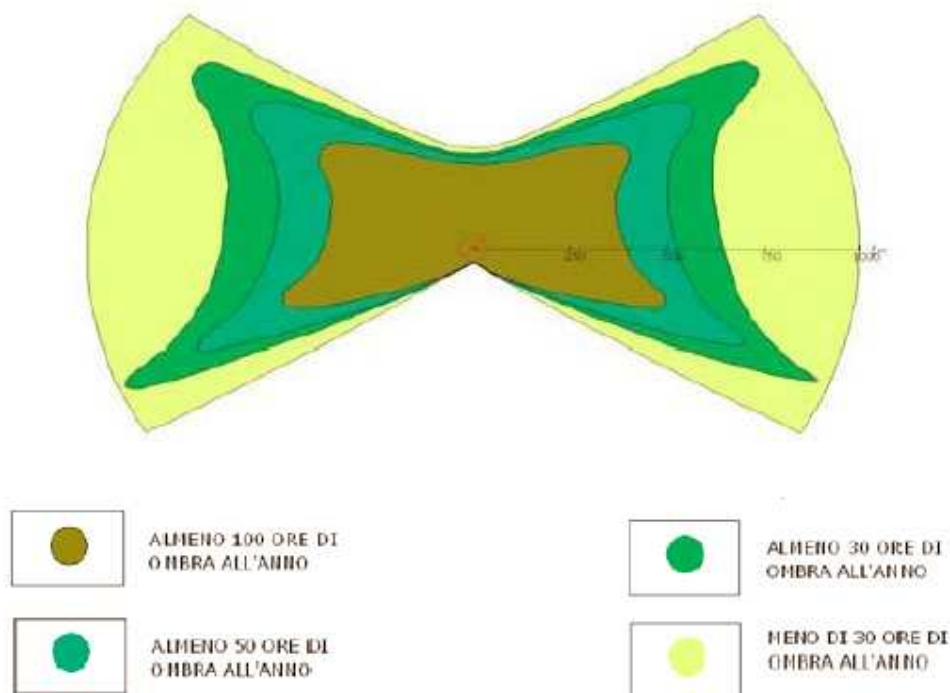
*Figura 3 Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker*

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.

Le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 300 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.

Sebbene 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 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 20/30 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 meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

Committente: <b>AREN Green S.r.l.</b> Via Dell'Arrigoni 308 47522 Cesena (FC)	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI COMUNI DI FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO (PZ) DENOMINATO "TUFAROLI"	Nome del file:  <b>TUFDT_GENR02800_00</b>
--	---	---

## 5. 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.

Lo studio dell'effetto delle ombre è stato condotto per l'intero periodo annuale. Sono stati considerati i valori di ombreggiamento medio su ciascuna area analizzata. Queste analisi hanno restituito un range di valori unitari che va da 0 a 850 ore di ombreggiamento annuo.

Le curve rappresentate graficamente indicano i limiti delle aree ugualmente ombreggiate in termini di ore/anno, da quella più esterna che individua un'area ombreggiata in media 50 ore/anno, fino a quella più interna che rappresenta un'area ombreggiata mediamente 1000 ore/anno. La rappresentazione è stata prodotta a step di 50 ore di ombreggiamento medio annuo, considerando trascurabili le aree dove risulta un valore inferiore a 100 ore/anno.

Un particolare effetto considerato nell'analisi condotta, riguarda i limiti in cui l'intensità della luce diffusa si omogenea con l'ombra prodotta dall'aerogeneratore. In altre parole esiste un limite fisico, in termini di distanza dall'aerogeneratore, in cui l'ombra prodotta dallo stesso, si confonde con la bassa intensità della luce diffusa, che si sviluppa al mattino presto ed al tramonto.



## 6. RISULTATI

La frequenza dello shadow flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0.7 - 1.5 Hz (circa un passaggio al secondo). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz. Inoltre, a livello internazionale, è universalmente accettato che frequenze inferiori a 10 Hz non hanno alcuna correlazione con attacchi di natura epilettica.

Nel caso in esame dalle informazioni derivanti dagli strumenti urbanistici e di pianificazione vigenti, dalla banca dati catastale, dal sopralluogo finalizzato a valutare l'effettiva destinazione d'uso, lo stato di conservazione, la presenza di requisiti minimi di abitabilità o possibilità di permanenza di attività umana si evince che la maggior parte dei fabbricati censiti sono costituiti da ruderi, fabbricati collabenti o depositi agricoli, o unità dove la presenza dell'uomo non si concretizza per un numero di ore significative/giorno, pertanto non è presente nessun impatto significativo da shadow flickering sui ricettori individuati ed indicati nella seguente tabella riepilogativa:

ID-RIC	ID	Comune	Foglio	Particella	Categoria C	X	Y
R01	ED-014	Forenza	30	81	A03+C06	573841,78	4525187,01
R02	ED-019	Forenza	23	385	A03	575044,36	4525928,45
R03	ED-034	Forenza	22	8	A03	573586,62	4526215,79
R04	ED-037	Forenza	31	604	A02	573273,89	4525084,73
R05	ED-044	Forenza	32	571	A03	574805,98	4525538,99
R06	ED-053	Forenza	21	261	A04	575490,96	4526856,90

Le distanze reciproche tra generatori e recettori in relazione con le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame.

Dall'analisi effettuata è possibile riscontrare un'interferenza relativa ai seguenti aerogeneratori:

AEROGENERATORE	INFR.STRADALE	Interferenza massima h/anno
TU1	SP10	50
TU4	SP10	50/450
TU5	SP10	50/150
TU6	SP10	100

Si evidenzia che l'interferenza legata alla presenza del parco rispetto alla rete stradale individuata non rappresenta un fenomeno costante nel tempo, si sottolinea altresì che la sagoma della stessa muta durante il corso delle ore del giorno per essere minima in corrispondenza della fascia oraria in cui il traffico stradale è intenso.

L'evoluzione della sagoma dell'ombra, inoltre, non è stabile durante l'arco della giornata ma subisce una rotazione pari a circa 15 gradi ogni ora per cui si desume presumibilmente che l'ombreggiamento risulterebbe mitigato da tale condizione.

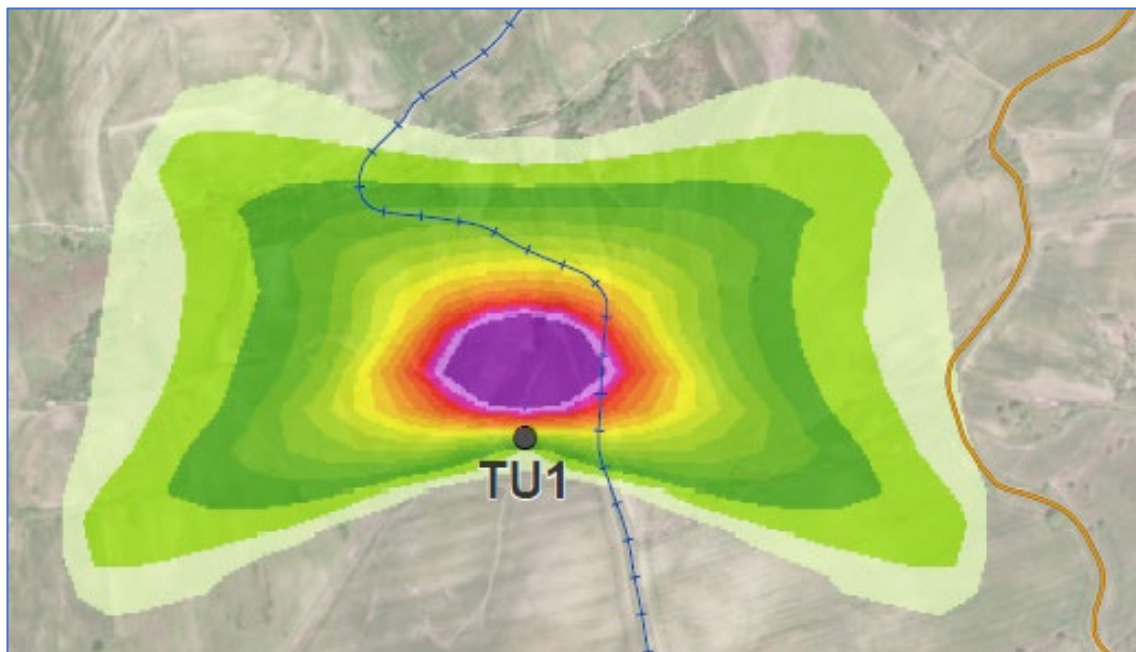


Figura 4 - Effetto flickering rispetto alla viabilità della SP10

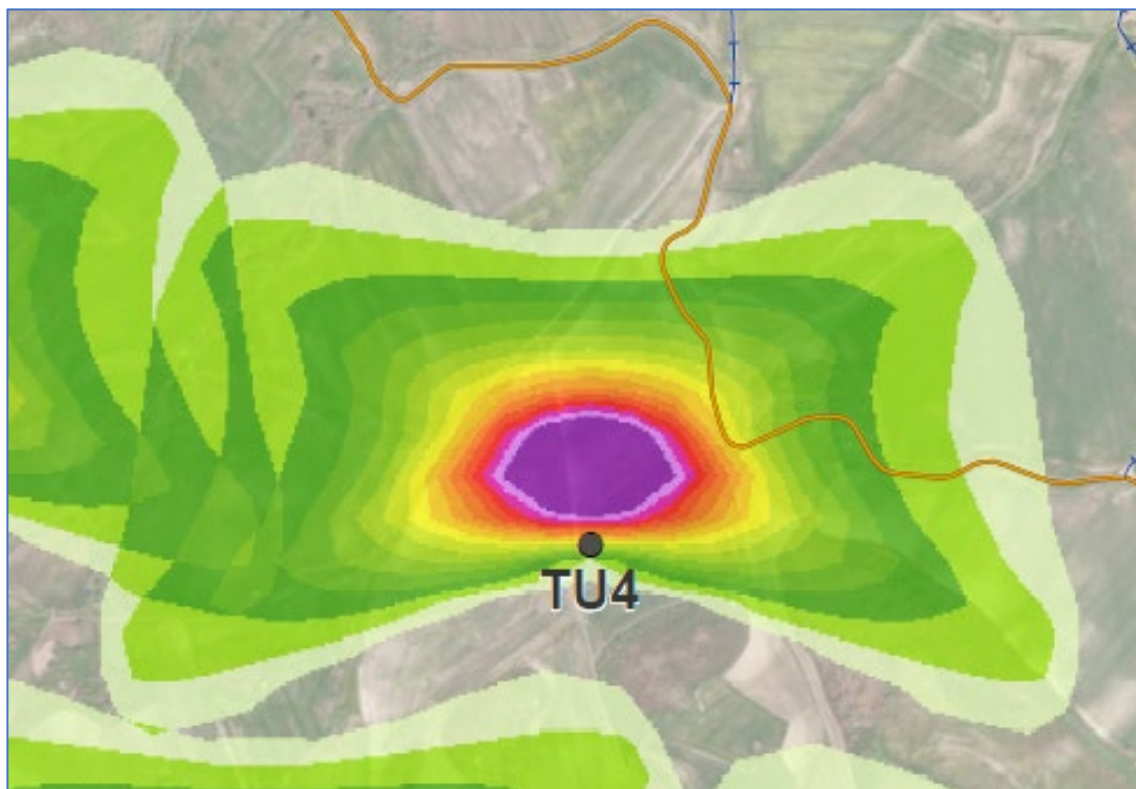


Figura 5 - Effetto flickering rispetto alla viabilità della SP10

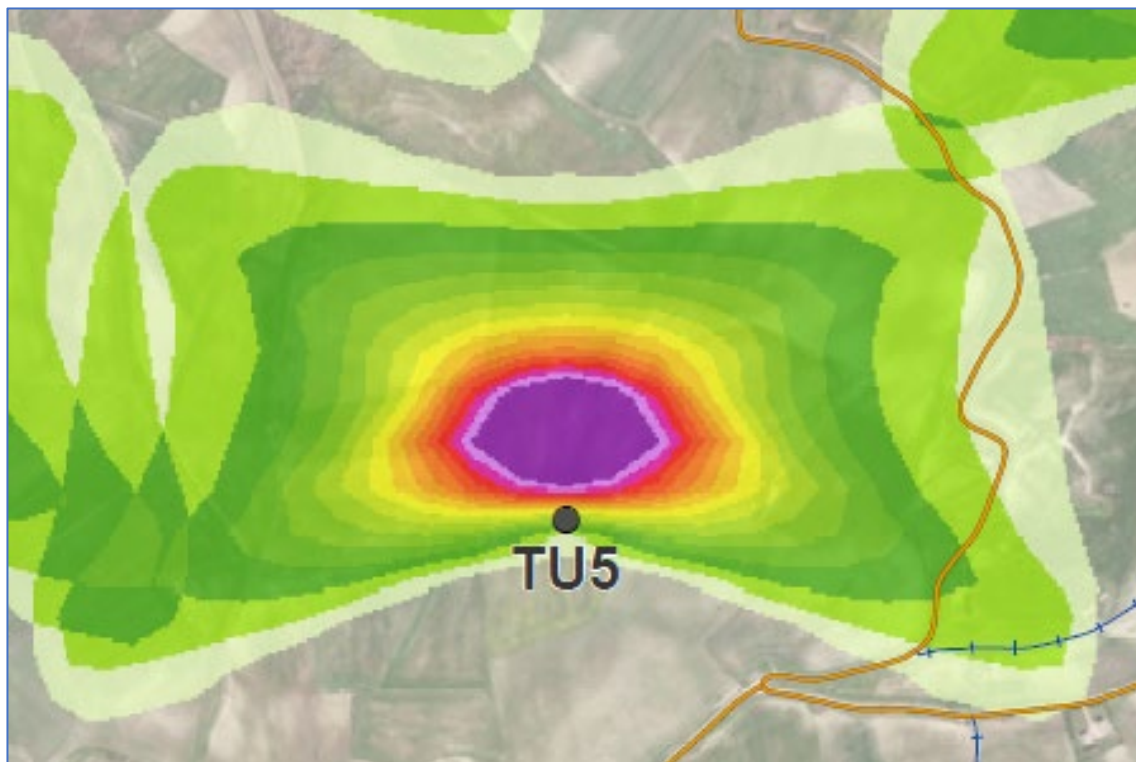


Figura 6 - Effetto flickering rispetto sulla viabilità delle SP10

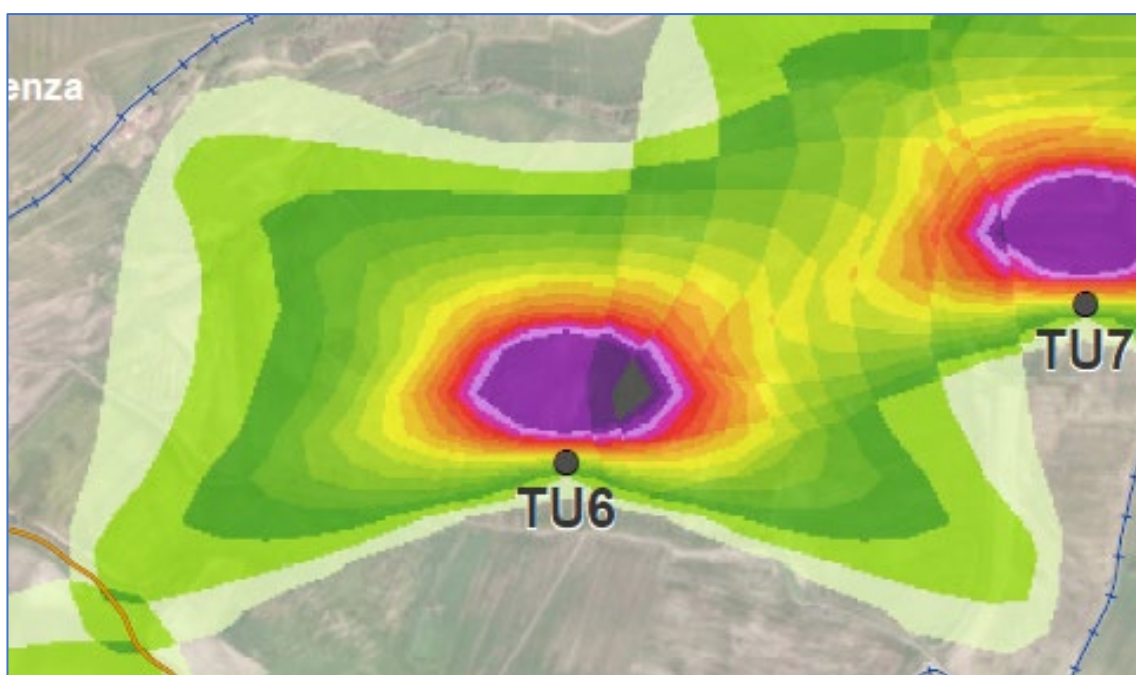


Figura 7 - Effetto flickering rispetto sulla viabilità delle SP10

In ultimo si prevederanno delle misure di mitigazione, tramite la realizzazione di alberature con vegetazione autoctona, per ridurre il fenomeno dello shadow flickering e dei riflessi di luce causati dagli aerogeneratori.