

Lucania Wind Energy S.r.l

Aprile 2022

# Parco Eolico “Grottole” sito nel Comune di Grottole

Studio shadow flickering





REGIONE BASILICATA  
PROVINCIA DI MATERA  
COMUNE DI GROTTOLE



Committente:

**LUCANIA WIND Energy S.r.l.**  
Via Sardegna, 40  
00187 ROMA

Titolo del progetto:

## Parco eolico "Grottole"

Documento:

**A.17.12 Studio shadow flickering**

N° Documento:

		CONTR.	DISC.	SDISC.	REV.	ELABORATO	REV.
IT	VesGro	Gem	ENV	GEN	TR	012	0

Scala

— — —

Progettista:



**Ing. Saverio PAGLIUSO**

**Ing. Mario PERRI**

**Ing. Giorgio SALATINO**

Studi geologici, agronomici,  
archeologici e ambientali a  
cura di:

**Studio geologico  
Dott. Gaetano Bordone**

Gruppo di lavoro:

**Dott. Gaetano Bordone  
Dott. Fabio Interrante  
Dott. Sebastiano Muratore  
Ing. Mauro Di Prete**

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Aprile 2022	Prima emissione	BORDONE	GEMSA	GZU

Indice

<b>1</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Cenni sul fenomeno dello shadow flickering .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Calcolo dello shadow flickering .....</b>	<b>5</b>
3.1	<i>Descrizione del contesto territoriale.....</i>	5
3.2	<i>Configurazione d’impianto .....</i>	9
3.3	<i>Definizione dell’ambito di studio .....</i>	10
3.4	<i>Individuazione dei ricettori .....</i>	12
3.5	<i>Metodologia di calcolo e software utilizzato .....</i>	17
3.6	<i>Risultati .....</i>	22
<b>4</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>30</b>

## 1 PREMESSA

Nel Comune di Grottole in provincia di Matera (MT) è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito da sei aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,0 MW. L'impianto è localizzato sul territorio a nord del medesimo Comune, a partire da una zona posta a 5 chilometri a nord del centro abitato e lungo il confine con i Comuni di Irsina (MT) e Gravina in Puglia (BA).



Figura 1-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio

La tipologia di macchina impiegata è di tipo ad asse orizzontale in cui il sostegno, ovvero una torre tubolare con altezza pari a 126 m, porta alla sua sommità la navicella, al cui lato esterno è collegata un rotore di diametro di 162 m.

## 2 CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

Le turbine eoliche, come altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un’ombra sulle aree adiacenti in presenza di luce solare diretta.

Il cosiddetto fenomeno del “flickering” indica l’effetto di ombreggiamento che si verifica quando le pale del rotore in movimento “tagliano” la luce solare in maniera intermittente.

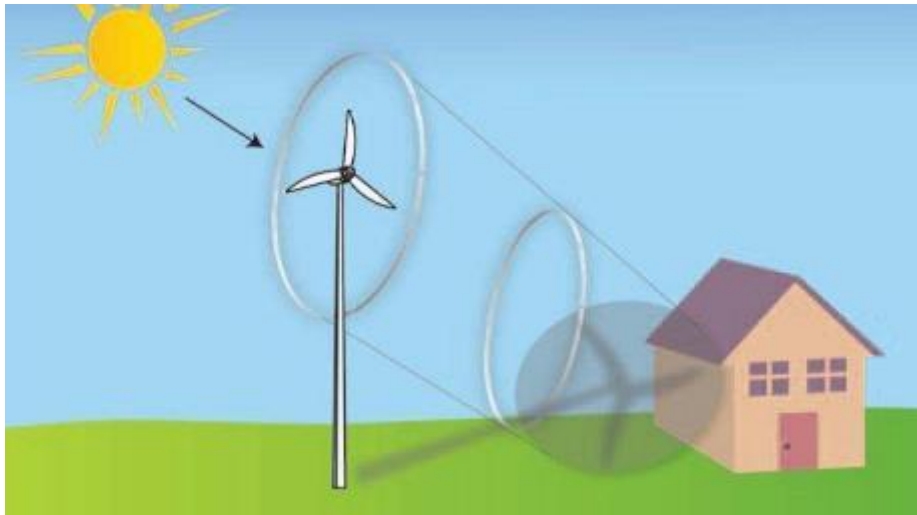


Figura 2-1 Esempio di effetto flickering

Questa variazione alternata di intensità luminosa, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Ovviamente, tale fenomeno risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o nebbia, sia quando, in specifiche condizioni 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 sottoposta a continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.

Tuttavia, i più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione massima di 25 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 0,5 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2,5 Hz.

Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su, come nel caso in oggetto) mediamente non superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale (0,25 Hz) ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

Studi condotti sui possibili effetti dello shadow flickering sulla salute umana raccomandano, al fine di ridurre al minimo i fastidi, una velocità di flickering non superiore a 3 tagli al secondo

(Harding, 4 Aprile 2008). Nel caso di aerogeneratori tripala, tale frequenza si traduce in una velocità massima di rotazione del rotore di 60 rpm (rotazioni per minuto).

Le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore sensibile, così come la direzione del vento, l'intensità del medesimo, la copertura del cielo, la posizione del sole (variabile nell'arco dell'anno) risultano essere fattori chiave per la esistenza e durata del fenomeno di shadow flickering.

Per distanze dell'ordine dei 500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ossia in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza, in realtà l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo.

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 un'ottica generale e in relazione alle condizioni meteorologiche medie della penisola italiana, è possibile affermare che le aree soggette al fenomeno di shadow flickering non si estendono mai oltre i 500-1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono solitamente entro i 300 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno e non superiore in genere ai 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.

La tipologia di aerogeneratore prevista per l'installazione ha una velocità di rotazione massima di 8,5 rpm che corrisponde ad una velocità massima di flickering di 0,45 tagli al secondo, nettamente inferiore alla frequenza massima raccomandata per la tutela della salute umana.

Tuttavia, una progettazione attenta è fondamentale per evitare questo fenomeno.

In relazione a ciò, si fa presente che, quale misura di prevenzione, già in fase di scelta delle aree sulle quali ubicare l'impianto si è cercato di localizzare gli aerogeneratori il più possibile distanti dall'area urbana oltreché dagli edifici abitativi e lavorativi.

### **3 CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING**

#### **3.1 Descrizione del contesto territoriale**

I comuni di Grottole e Irsina sono situati nel territorio della provincia di Matera in Basilicata. Mentre, il comune di Gravina in Puglia fa parte della provincia di Bari in Puglia.

Il comune di Grottole si estende per 117,15 km<sup>2</sup> e ha una densità abitativa di 17,75 abitanti/km<sup>2</sup> (scarsamente popolato). Il centro abitato si trova ad un'altitudine di 481 metri sul livello del mare nella parte nord-orientale della provincia. Grottole è situata tra due fiumi: il Basento ed il Bradano, nel quale confluiscono due grossi ruscelli denominati Rovivo e Bilioso. Parte del suo territorio rientra nella Riserva regionale San Giuliano. Lungo il versante che si affaccia sulla valle del Bradano si estende un'area boschiva denominata bosco Le Coste. Il suo territorio confina a nord con i comuni di Irsina (31 km) e Gravina di Puglia (42 km), ad est nord-est con Matera (32 km), a sud-est con Miglionico (13 km), a sud con Salandra (19 km) e Ferrandina (23 km) e ad ovest con Grassano (12 km) e Tricarico (29 km), dista 66 km dal capoluogo di regione Potenza. Tra le attività più tradizionali e rinomate vi sono quelle artigianali, legate alla cultura contadina e pastorale. La stazione meteorologica più vicina è quella di Matera. Secondo i dati medi del trentennio 1961-1990, la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +6,0 °C, mentre quella del mese più caldo, agosto, è di +25,1 °C. In generale, il clima si può definire temperato umido con estate calda.

Il comune di Irsina si estende per 263,47 km<sup>2</sup> e ha una densità abitativa di 17,29 abitanti/km<sup>2</sup> (scarsamente popolato). È il 59° comune più grande d'Italia per estensione, secondo in Basilicata solo a Matera (388 km<sup>2</sup>). Il centro abitato raggiunge un'altitudine massima di circa 548 m s.l.m. in posizione dominante la valle del Bradano, nell'estrema parte settentrionale della provincia, al confine con la parte nord-orientale della provincia di Potenza e la parte occidentale della città metropolitana di Bari. Confina a nord con il comune di Genzano di Lucania (PZ) (32 km), ad est con Gravina in Puglia (25 km), a sud con Grassano (22 km) e Grottole (32 km), e ad ovest con Tricarico (32 km), Oppido Lucano (PZ) (33 km) e Tolve (PZ) (35 km). Distanza 40 km da Matera e 59 km Potenza. Nel suo territorio, a circa 10 km dal centro abitato, si trova il bosco di Verrutoli, area boschiva di circa 650 ettari situata ad un'altitudine di 600 m s.l.m., dotata di un'area attrezzata e riserva naturale di un gruppo di daini che vivono liberamente nel bosco. Irsina ha come frazione: Santa Maria d'Irsi ed il Borgo Taccone, quest'ultimo situato a circa 14 km a nord-ovest del comune. Entrambe le frazioni hanno avuto origine con la riforma agraria del 1950. In

Irsina si riscontra un clima caldo e temperato. Esiste una piovosità significativa durante tutto l'anno. Anche nel mese più secco si riscontrano abbondanti precipitazioni, infatti la media annuale di piovosità è di 600 mm. La classificazione del clima è, anche in questo caso, temperato umido con estate calda e si registra una temperatura media di +14,9 °C.

Il comune di Gravina in Puglia si estende per 384,73 km<sup>2</sup> che ne fanno il 21<sup>o</sup> comune italiano per estensione territoriale e ha una densità abitativa di 110,63 abitanti/ km<sup>2</sup> (scarsamente popolato). Dal punto di vista orografico, è situata tra il pre-Appennino lucano e la Murgia nelle zone terminali, con altitudine media di 360 m. Parte della città si estende sulle sponde di un crepaccio profondo, molto simile ai canyon, scavato nella roccia calcarea da un fiumiciattolo, il torrente Gravina, affluente del Bradano, da cui prendono il nome le famose gravine della Murgia, in un territorio caratterizzato dalla presenza di numerose cavità carsiche, come il profondo Pulicchio di Gravina e la profondissima Grave di Faraualla. Nelle campagne al confine col territorio di Matera vi è un vulcano di fango di nuova formazione. La vegetazione comprende numerosissime specie (pseudo steppe mediterranea) a cui si contrappongono interminabili di uliveti e vigneti, ma anche la storica coltivazione del grano duro. Il bosco Difesa Grande ha un'estensione di circa 2.000 ettari. Situato a circa 6 km dal centro abitato di Gravina, nel medio bacino idrografico del fiume Bradano, presenta una flora spontanea di querceto formata da roverella, cerro e farnetto. Oltre a numerose specie di acero e arbusti. Il clima è tipicamente mediterraneo: gli inverni sono relativamente miti, con temperature che solitamente non scendono mai sotto gli zero gradi; le estati sono invece calde e secche.

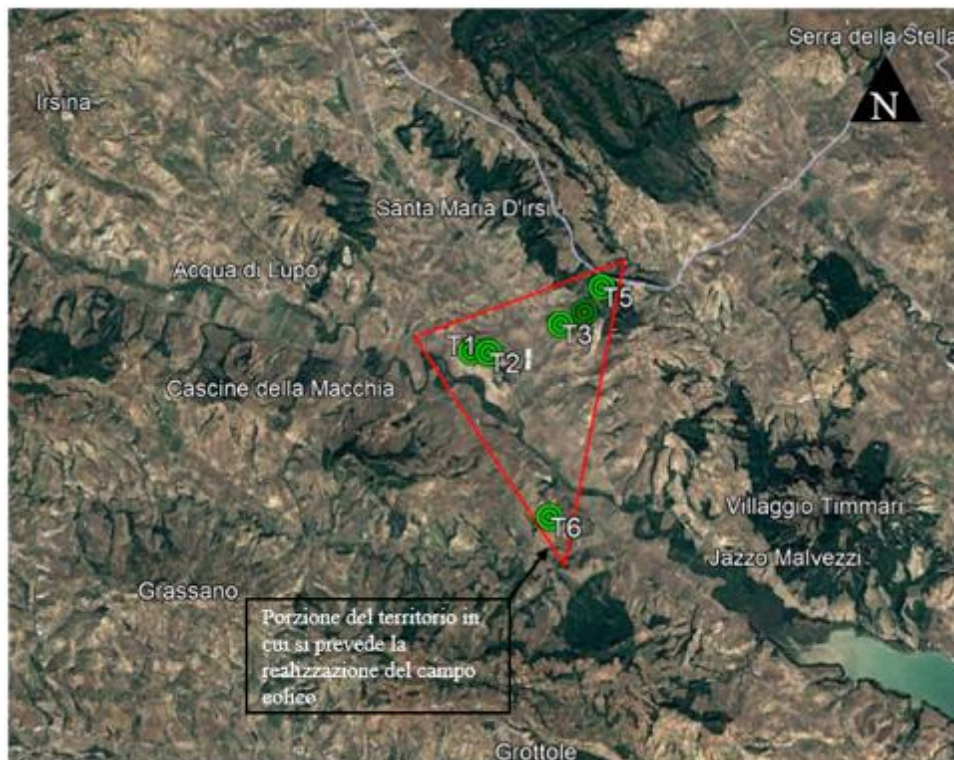


Figura 3-1 Contesto territoriale in cui si prevede l'inserimento del campo eolico



Nello specifico, il contesto in cui il progetto si inserisce è delimitato:

- a Nord dai territori comunali di Irsina e Gravina in Puglia oltreché da alcuni rilievi montuosi lungo i quali fungono da spartiacque tra la regione Basilicata e Puglia. Parallelamente al confine regionale passa la Strada Statale 655 Bradanica che collega le città di Foggia e Matera ricoprendo importanza interregionale e caratteristiche di strada a scorrimento veloce;
- a Sud dal territorio collinare a nord del centro abitato di Grottole;
- ad Est dalle campagne a carattere collinare in località Cascine della Macchia;
- ad Ovest dalle campagne poste lungo il declivio collinare che raggiunge quota massima di 407 m s.l.m. e termina a ridosso del campo eolico in progetto.

Dalle indagini effettuate, la presenza antropica in questa porzione di territorio è estremamente ridotta, l'unico centro abitato, Grottole, dista dall'aerogeneratore di progetto più vicino circa 5,2 km. I terreni nelle immediate vicinanze sono destinati a seminativi e altre colture erbacee. Nello specifico l'area edificata è minore allo 0,2% del totale, inoltre, i pochi edifici presenti sono per lo più ruderi e/o depositi agricoli in stato di abbandono e per definizione stessa della tipologia, meno sensibili ai potenziali effetti dovuti all'ombreggiamento intermittente indotto dal progetto in esame.

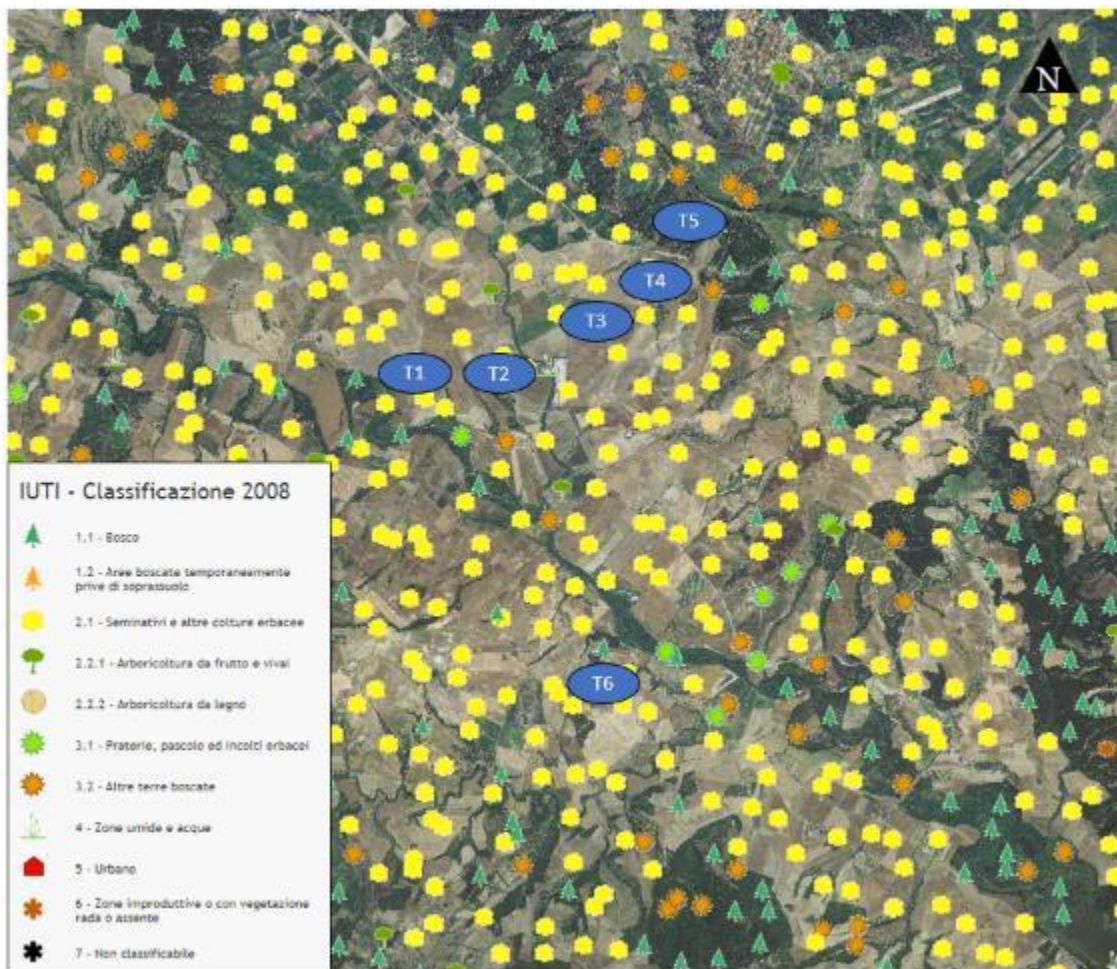


Figura 3-2 Localizzazione campo eolico di progetto ed Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia, fonte: Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>)

In generale, l'area interessata dalla realizzazione del parco eolico è omogenea per conformazione e caratteristiche meteo climatiche in quanto ricade su territori collinari con elevazione compresa tra i 469 m e 597 m s.l.m.

### 3.2 Configurazione d'impianto

Nelle seguenti tabelle vengono geolocalizzate e descritte dal punto di vista tecnico le turbine la cui installazione è prevista per il campo eolico in progetto.

Turbina	Comune	Coordinate UTM		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
T1	Grottole	615555,97	4504780,53	217
T2	Grottole	615996,76	4504753,68	220
T3	Grottole	617807,98	4505494,72	259
T4	Grottole	618414,59	4505818,35	269
T5	Grottole	618832,90	4506448,89	313
T6	Grottole	617623,79	4500670,31	225

Tabella 1 Coordinate geografiche puntuali turbine d'impianto



Figura 3-3 dettaglio della posizione degli aerogeneratori di progetto sul territorio

Di seguito è riportata una scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina che si intendono installare di potenza nominale pari a 6,0 MW:

Potenza nominale	6,0 MW
n° pale	3
Diametro rotore	162 m
Area spazzata	20 612 m <sup>2</sup>
Altezza mozzo rotore	126,0 m
Tipologia torre	tubolare
Velocità di rotazione del rotore	8,5 rpm
Velocità vento di avvio	3,0 m/s
Velocità vento nominale	15,0 m/s
Velocità vento di stacco	25,0 m/s

Tabella 2 Estratto delle specifiche tecniche delle turbine che si intendono installare.

### 3.3 *Definizione dell'ambito di studio*

In generale, come ambito di studio si intende la porzione di territorio che si ritiene potenzialmente interferita dalle opere in progetto nelle loro modalità di funzionamento. Di conseguenza, per quanto anticipato al paragrafo 2, a ciascun aerogeneratore è stata associata un'area di potenziale interferenza dovuta al fenomeno di shadow flickering delimitata da una circonferenza avente centro nel singolo aerogeneratore e raggio pari a 1000 m.

L'ambito di studio complessivo (cfr. Figura 3-4) del parco eolico in progetto è quindi definito dall'involuppo delle 6 singole aree, ciascuna definita per ogni aerogeneratore secondo il suddetto criterio.



Figura 3-4 Ambito di studio del fenomeno shadow flickering per il campo eolico in progetto

In questo caso il progetto si inserisce in un contesto in cui sono presenti altri aerogeneratori ed alcuni autorizzati ma non ancora realizzati. Al fine di escludere eventuali effetti cumulativi associati al fenomeno di shadow flickering, sono state individuate le turbine attualmente in esercizio/autorizzate e misurata la distanza minima che intercorre tra quest'ultime ed il margine dell'ambito di studio precedentemente definito (cfr. Figura 3-5).

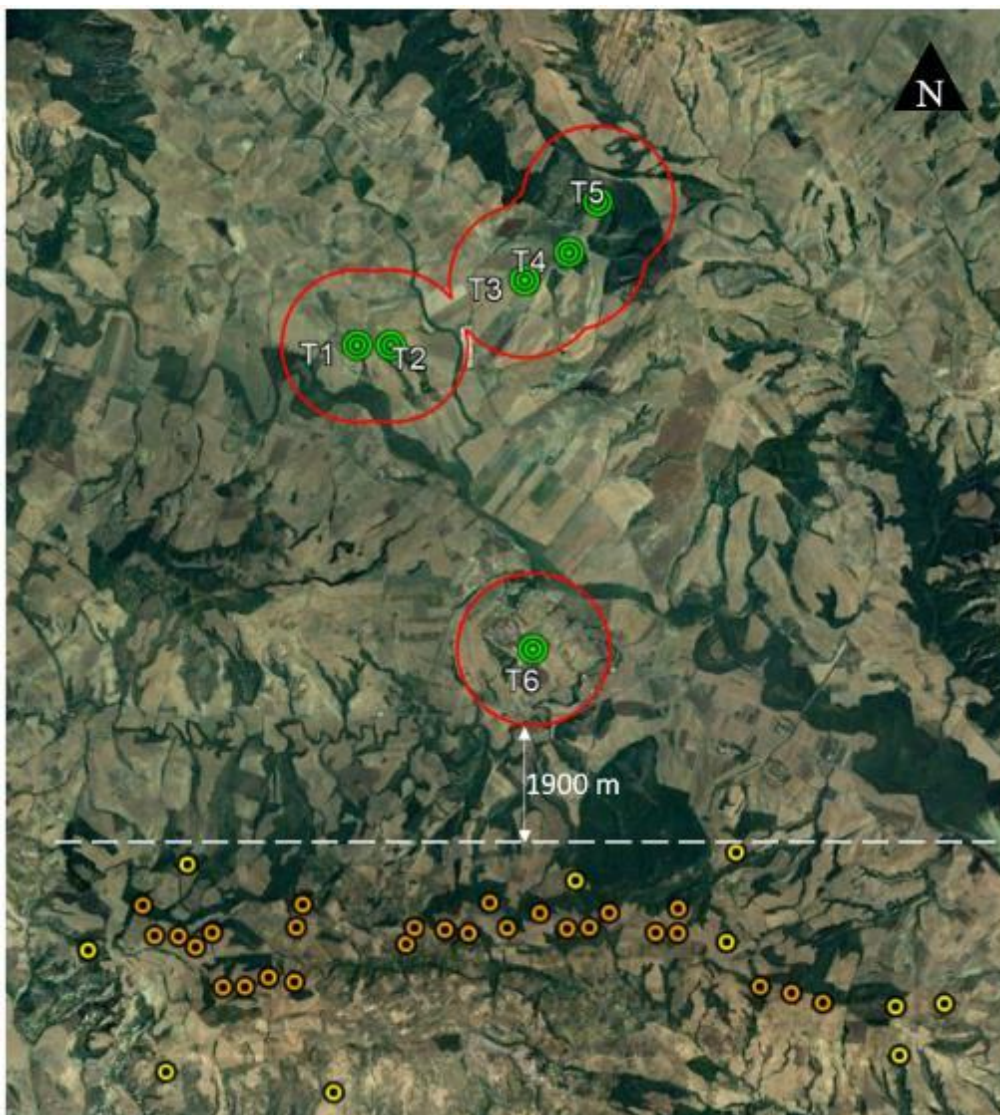


Figura 3-5 Distanza aerogeneratori esistenti (arancione) e autorizzati (giallo) rispetto al campo eolico di progetto.

Considerando che gli effetti di shadow flickering possono ritenersi nulli per distanze maggiori a 1000 m dalla generica turbina e che la distanza risulta essere in ogni caso maggiore uguale a 1900 m, si può escludere la possibilità di effetti cumulati dovuti al fenomeno di ombreggiamento intermittente.

### 3.4 Individuazione dei ricettori

Successivamente, ai fini della previsione degli impatti indotti sulle abitazioni e sugli edifici lavorativi dall'impianto eolico in progetto, sono stati censiti i ricettori presenti nel raggio di 1km dagli aerogeneratori. Distanza oltre la quale si può ipotizzare essere nullo il fenomeno di shadow flickering.

I ricettori sono stati individuati calcolando l'involuppo delle circonferenze di raggio pari a 1km con centro geometrico corrispondente alle coordinate geografiche delle turbine, precedentemente indicate (vedi Tabella 1).

Si sottolinea che il software di analisi WindFarm R5 non è in grado di tenere conto delle zone d'ombra prodotte reciprocamente da edifici ravvicinati e dalla presenza di vegetazione, le quali di fatto annullano il fenomeno di shadow flickering dovuto alle turbine. Di conseguenza i risultati delle successive simulazioni sono estremamente cautelativi.

Sono stati quindi censiti un totale di 54 edifici, appartenenti ai Comuni di Grottole e Irsina, i quali risultano essere adibiti ad abitazione (4 ricettori), luoghi lavorativi (1 ricettore), depositi/ruderi e magazzini agricoli (49 ricettori).



Figura 3-6 Esempio di censimento ricettori: residenziali (verde), depositi agricoli (grigio) all'interno dell'ambito di studio (viola)

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti (abitativi o lavorativi) con finestrate che si trovano sul prolungamento della direttrice sole-turbina, per questo motivo, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza 1 metro e larghezza 1 metro posizionate ad altezza dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici. In questo caso, per ottenere un quadro di insieme il più possibile esaustivo e completo, l'analisi è stata estesa anche ai ricettori

non residenziali e lavorativi come ruderi, depositi e magazzini agricoli presenti all'interno dell'ambito di studio precedentemente individuato.

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei ricettori individuati (cfr. Figura 3-8) e l'orientamento delle finestre ipotizzate.



Figura 3-7 Esempio di identificazione dell'orientamento delle finestre dei ricettori

Tuttavia, in questo caso, data l'entità dei ricettori in studio (54 edifici), si è ipotizzata una disposizione fissa delle finestre rispetto al nord pari a 0, 80, 180 e 270 gradi.

Ric.	Uso in atto	Distanza da aerogeneratore più vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
R1	Ruderi, box e depositi	738	617742	4506230	4(0 – 90 – 180 - 270)
R2	Ruderi, box e depositi	577	617828	4506071	4(0 – 90 – 180 - 270)
R3	Ruderi, box e	474	617780	4505968	4(0 – 90 – 180 - 270)



Ric.	Usò in atto	Distanza da aerogeneratore piú vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
	depositi				
R4	Ruderi, box e depositi	502	617622	4505961	4(0 – 90 – 180 - 270)
R5	Ruderi, box e depositi	547	617337	4505774	4(0 – 90 – 180 - 270)
R6	Ruderi, box e depositi	916	616922	4505730	4(0 – 90 – 180 - 270)
R7	Ruderi, box e depositi	926	616911	4505726	4(0 – 90 – 180 - 270)
R8	Ruderi, box e depositi	974	616850	4505671	4(0 – 90 – 180 - 270)
R9	Ruderi, box e depositi	984	616839	4505667	4(0 – 90 – 180 - 270)
R10	Ruderi, box e depositi	962	616488	4505581	4(0 – 90 – 180 - 270)
R11	Ruderi, box e depositi	675	615520	4505455	4(0 – 90 – 180 - 270)
R12	Ruderi, box e depositi	945	615340	4505700	4(0 – 90 – 180 - 270)
R13	Ruderi, box e depositi	893	615097	4505547	4(0 – 90 – 180 - 270)
R14	Ruderi, box e depositi	411	616399	4504839	4(0 – 90 – 180 - 270)
R15	Ruderi, box e depositi	397	616384	4504843	4(0 – 90 – 180 - 270)
R16	Ruderi, box e depositi	389	616377	4504835	4(0 – 90 – 180 - 270)
R17	Ruderi, box e depositi	383	616372	4504829	4(0 – 90 – 180 - 270)
R18	Ruderi, box e depositi	379	616367	4504833	4(0 – 90 – 180 - 270)
R19	Ruderi, box e depositi	1000	616622	4503967	4(0 – 90 – 180 - 270)
R20	Ruderi, box e depositi	756	616341	4504081	4(0 – 90 – 180 - 270)
R21	Ruderi, box e depositi	860	616425	4504008	4(0 – 90 – 180 - 270)
R22	Residenziale	948	616405	4503898	4(0 – 90 – 180 - 270)
R23	Ruderi, box e depositi	920	616913	4504828	4(0 – 90 – 180 - 270)
R24	Ruderi, box e depositi	987	617045	4504868	4(0 – 90 – 180 - 270)
R25	Industriale	1000	617002	4504785	4(0 – 90 – 180 - 270)
R26	Residenziale	595	618248	4505093	4(0 – 90 – 180 - 270)
R27	Ruderi, box e depositi	603	618245	4505080	4(0 – 90 – 180 - 270)
R28	Ruderi, box e depositi	582	618231	4505095	4(0 – 90 – 180 - 270)
R29	Ruderi, box e depositi	583	618246	4505110	4(0 – 90 – 180 - 270)

Ric.	Usò in atto	Distanza da aerogeneratore piú vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
R30	Ruderi, box e depositi	767	618615	4505078	4(0 – 90 – 180 - 270)
R31	Ruderi, box e depositi	965	618880	4504973	4(0 – 90 – 180 - 270)
R32	Ruderi, box e depositi	606	617636	4501276	4(0 – 90 – 180 - 270)
R33	Ruderi, box e depositi	784	618222	4501178	4(0 – 90 – 180 - 270)
R34	Ruderi, box e depositi	999	616670	4500375	4(0 – 90 – 180 - 270)
R35	Ruderi, box e depositi	955	616708	4500401	4(0 – 90 – 180 - 270)
R36	Ruderi, box e depositi	898	616760	4500424	4(0 – 90 – 180 - 270)
R37	Ruderi, box e depositi	882	616768	4500460	4(0 – 90 – 180 - 270)
R38	Ruderi, box e depositi	996	616683	4500344	4(0 – 90 – 180 - 270)
R39	Ruderi, box e depositi	957	616720	4500356	4(0 – 90 – 180 - 270)
R40	Ruderi, box e depositi	967	616736	4500287	4(0 – 90 – 180 - 270)
R41	Ruderi, box e depositi	927	616776	4500295	4(0 – 90 – 180 - 270)
R42	Ruderi, box e depositi	901	616791	4500325	4(0 – 90 – 180 - 270)
R43	Ruderi, box e depositi	856	616949	4500143	4(0 – 90 – 180 - 270)
R44	Ruderi, box e depositi	858	616941	4500151	4(0 – 90 – 180 - 270)
R45	Residenziale	870	616936	4500137	4(0 – 90 – 180 - 270)
R46	Residenziale	794	617160	4500026	4(0 – 90 – 180 - 270)
R47	Ruderi, box e depositi	818	618329	4500256	4(0 – 90 – 180 - 270)
R48	Ruderi, box e depositi	837	618351	4500257	4(0 – 90 – 180 - 270)
R49	Ruderi, box e depositi	887	618363	4500180	4(0 – 90 – 180 - 270)
R50	Ruderi, box e depositi	913	618346	4500112	4(0 – 90 – 180 - 270)
R51	Ruderi, box e depositi	943	618376	4500101	4(0 – 90 – 180 - 270)
R52	Ruderi, box e depositi	964	618347	4500033	4(0 – 90 – 180 - 270)
R53	Ruderi, box e depositi	965	618378	4500067	4(0 – 90 – 180 - 270)
R54	Ruderi, box e depositi	1000	618379	4500010	4(0 – 90 – 180 - 270)

Tabella 3 Coordinate geografiche puntuali ricettori

### 3.5 *Metodologia di calcolo e software utilizzato*

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, la valutazione tecnica è stata eseguita con l'ausilio del software WindFarm 5 della ReSoft Ltd, software di simulazione specifico per la progettazione di impianti eolici.

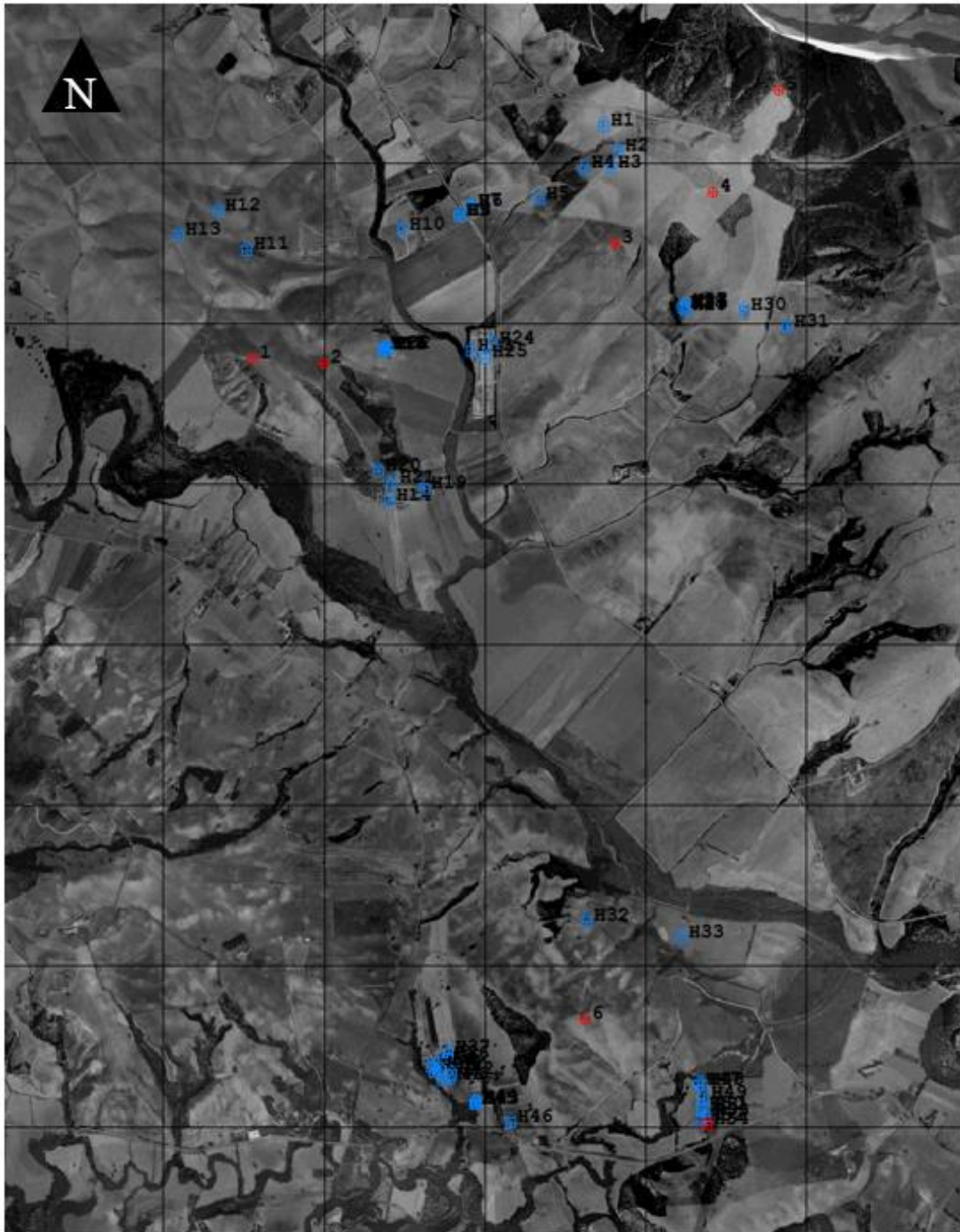


Figura 3-8 Ricettori (blu) e aerogeneratori (rosso) inseriti nel software Windfarm

Il Software 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;
- creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di iso-durata) nell'arco dell'anno.

Il software utilizza una serie di dati di input caratterizzanti quali:

- l'altimetria della zona simulata (formato GTH, vedi Figura 3-9);
- la disposizione geografica delle turbine e dimensione geometrica dei loro componenti (torre e pale);
- la disposizione geografica dei "ricettori sensibili" (abitazioni/edifici lavorativi e relative finestre);
- la latitudine e longitudine dell'area interessata.

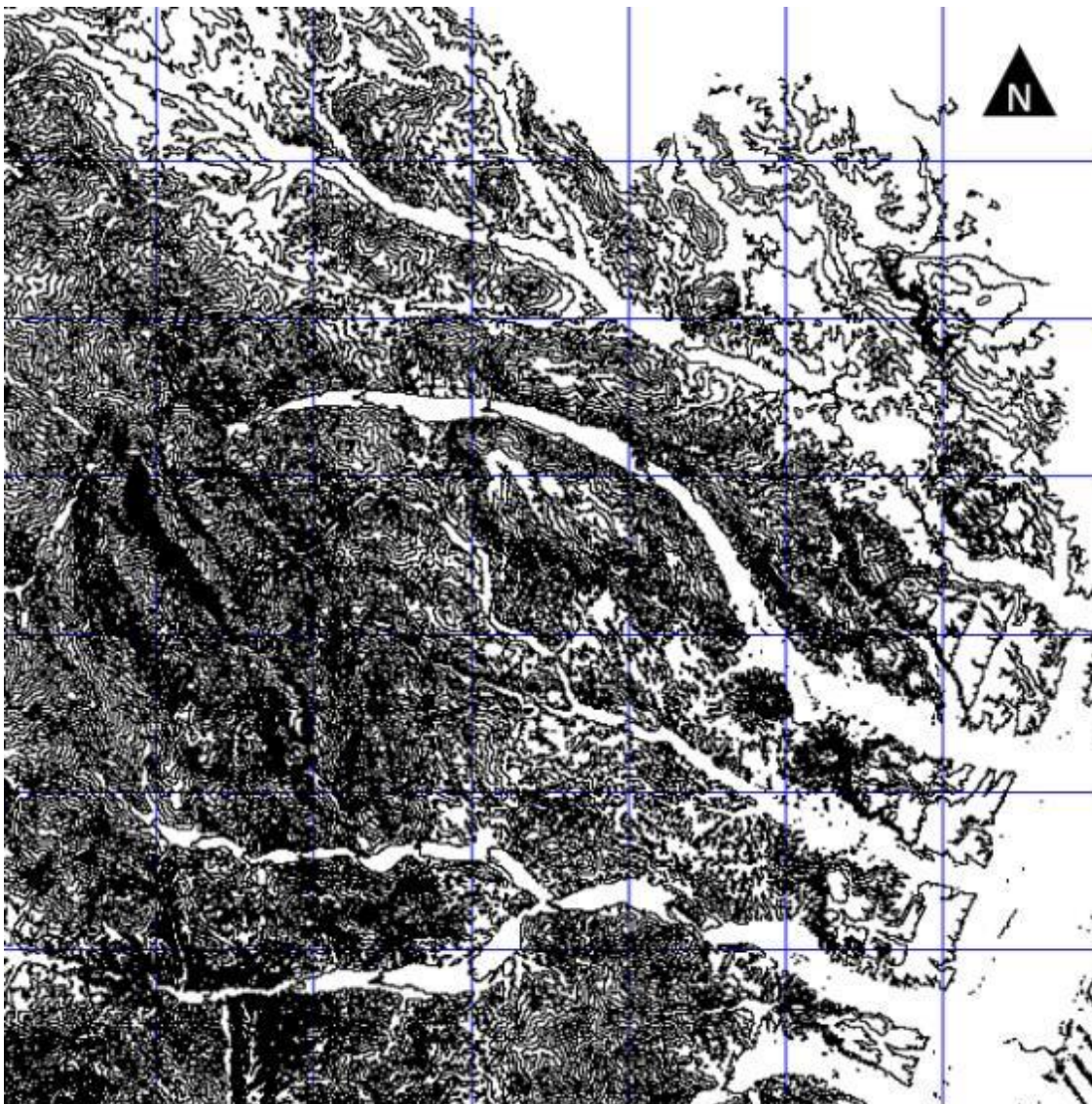


Figura 3-9 Stralcio delle curve di livello del terreno in WindFarm

Sulla base di questi dati il software calcola il numero di ore annue di esposizione allo shadow flickering per ciascun nodo del grigliato che copre l'intera area, nonché il numero di ore di esposizione per gli ambienti abitativi/lavorativi attraverso le finestre.

```

Project   : GROTTOLENEW
Run Name  : Flickering_Grottole.WFK
Title     : Flickering_Grottole
Time      : 10:24:41, 17 Mar 2022

SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH HOUSE FROM ALL TURBINES

```

House	Easting	Northing	Days per year	Max hours per day	Mean hours per day	Total hours
1	617742	4506230	81	0.87	0.67	54.1
2	617828	4506071	81	1.02	0.80	65.0
3	617780	4505968	137	1.00	0.79	108.0
4	617622	4505961	144	1.19	0.82	118.3
5	617337	4505774	98	1.17	0.91	89.4
6	616922	4505730	56	0.73	0.57	32.1
7	616911	4505726	56	0.72	0.56	31.6
8	616850	4505671	53	0.69	0.54	28.8

Figura 3-10 Stralcio di output elaborato tramite WindFarm5

Per l'esecuzione della simulazione sono stati fissati i seguenti parametri:

- coordinate geografiche baricentriche (UTM): 601600 - Est, 4489200- Nord;
- coordinate geografiche delle turbine considerate (vedi Tabella 1);
- coordinate geografiche dei ricettori considerati e disposizione delle finestre (vedi Tabella 3);
- estensione area simulata: 8 km x 4 km (32 km<sup>2</sup>);
- risoluzione di calcolo: 50 m
- raggio d'influenza massimo: 1 km dal punto di installazione dell'aerogeneratore;
- altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m
- parametri turbina:
  - diametro rotore: 162 m
  - altezza torre: 126 m
  - larghezza media della pala: 3 m

Il modello numerico utilizzato, produce in output una mappa di impatto, e prende in considerazione un caso molto cautelativo relativo, ad una configurazione puramente teorica che vede la costante e contemporanea presenza dei fattori di attivazione del fenomeno, ossia sole scevro da nubi (potenzialità di generare ombre) e velocità del vento superiore a quella di cut-in (rotore in moto).

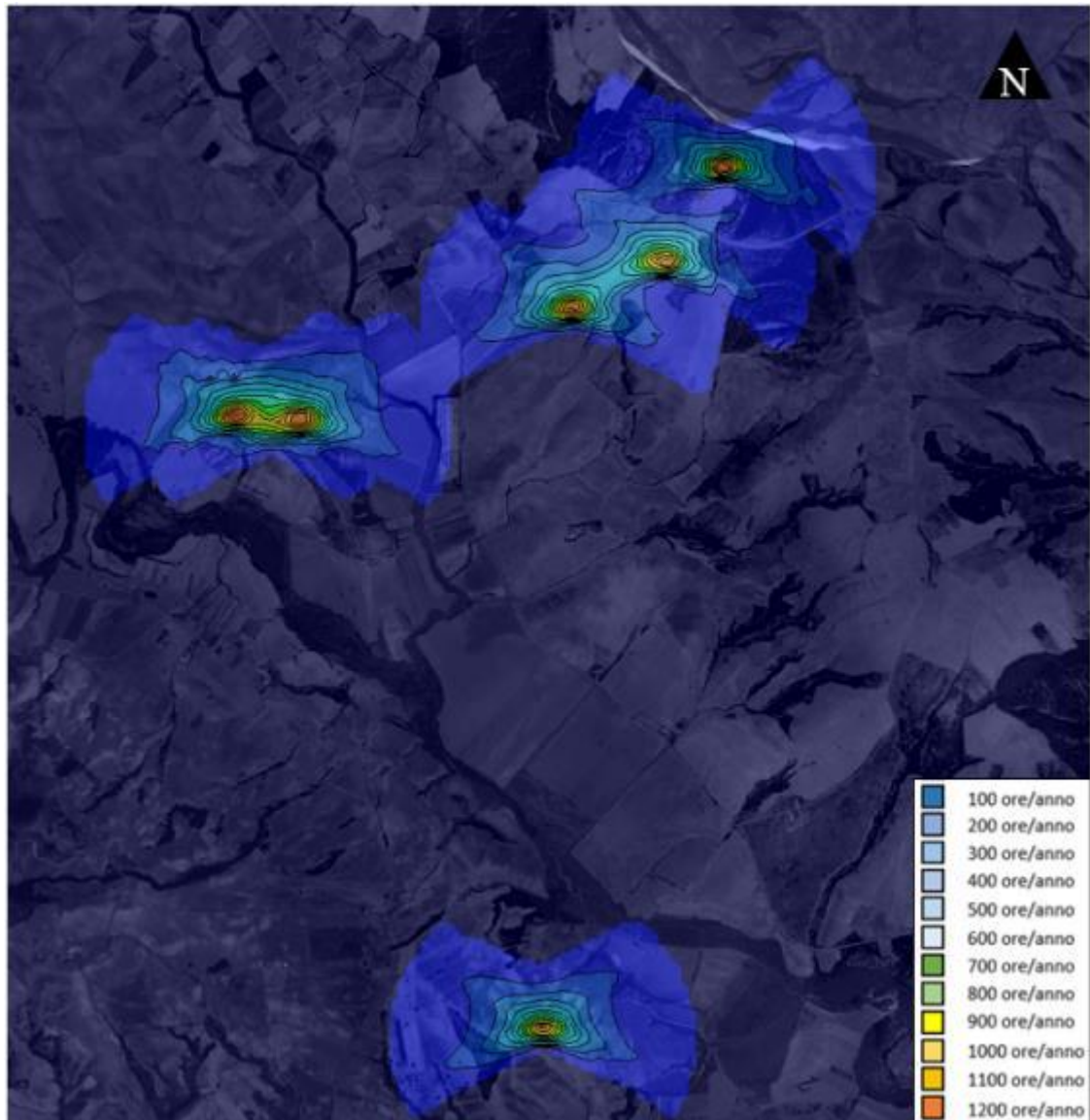


Figura 3-11 Stralcio della mappa di Shadow Flickering restituita dal software WindFarm  
Di seguito vengono riportate tutte le ipotesi utilizzate per il calcolo del fenomeno di shadow flickering (vedi “caso peggiore” in Tabella 4) effettuato tramite il software WindFarm:

- il sole splende per tutta la giornata, dall'alba al tramonto (cioè si è sempre in assenza di copertura nuvolosa);
- il piano di rotazione delle pale è sempre perpendicolare alla direttrice sole - aerogeneratore (ovvero l'aerogeneratore “insegue” il sole);

- gli aerogeneratori sono sempre operativi;
- non sono presenti alberi o altri ostacoli che, intercettando l'ombra degli aerogeneratori, riducano o annullino l'effetto di flickering.

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà sono estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica. Allo scopo di pervenire a valori più realistici, prossimi al caso reale, è stato corretto il dato di output prendendo in considerazione l'eliofania locale e le ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno.

Nel caso in analisi, sapendo che il tempo in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno è di circa 4380 ore; tenendo conto dell'eliofania media locale (3669 h/anno), ovvero il numero di ore in cui il cielo è libero da nubi durante il giorno e a partire dalle registrazioni anemometriche relative alla stazione meteorologica più vicina all'area di studio e climaticamente compatibile, ovvero quella di Gioia del Colle (BA), si è stimato che l'impianto eolico sarà in funzione per circa il 60% del tempo nell'arco dell'anno, corrispondente a 2633 ore.

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno) sono desunti in funzione della probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti.

### 3.6 Risultati

La seguente tabella riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo descritta nel paragrafo precedente.

Ricettore	Caso peggiore		Caso reale [ore/anno]
	Giorni /anno	Ore /anno	
R1	81	54,1	32,5
R2	81	65,0	39,0
R3	137	108,0	64,8
R4	144	118,3	71,0
R5	98	89,4	53,6
R6	56	32,1	19,3
R7	56	31,6	19,0
R8	53	28,8	17,3
R9	52	28,2	16,9
R10	0	0,0	0,0
R11	0	0,0	0,0
R12	0	0,0	0,0
R13	0	0,0	0,0
R14	123	162,6	97,6
R15	127	172,5	103,5
R16	131	180,0	108,0
R17	135	184,9	110,9



Ricettore	Caso peggiore		Caso reale [ore/anno]
	Giorni /anno	Ore /anno	
R18	135	188,3	113,0
R19	0	0,0	0,0
R20	0	0,0	0,0
R21	0	0,0	0,0
R22	0	0,0	0,0
R23	57	32,9	19,7
R24	0	0,0	0,0
R25	0	0,0	0,0
R26	0	0,0	0,0
R27	0	0,0	0,0
R28	0	0,0	0,0
R29	0	0,0	0,0
R30	53	27,6	16,6
R31	0	0,0	0,0
R32	0	0,0	0,0
R33	105	77,2	46,3
R34	101	53,1	31,9
R35	97	54,3	32,6
R36	105	61,1	36,7
R37	87	53,6	32,2
R38	106	62,4	37,4
R39	106	64,1	38,5
R40	84	53,5	32,1
R41	82	53,1	31,9
R42	90	60,9	36,5
R43	0	0,0	0,0
R44	0	0,0	0,0
R45	0	0,0	0,0
R46	0	0,0	0,0
R47	0	0,0	0,0
R48	0	0,0	0,0
R49	0	0,0	0,0
R50	0	0,0	0,0
R51	0	0,0	0,0
R52	0	0,0	0,0
R53	0	0,0	0,0
R54	0	0,0	0,0

Tabella 4 Risultati di calcolo

In particolare, nella precedente Tabella 4 vengono riportati il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore reale atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi (caso reale). A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso reale, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra.

Sempre dalla Tabella 4 si evince che presso 28 fabbricati non si manifesta il fenomeno in analisi mentre per i restanti 26 potrebbe verificarsi.

Tuttavia, tale effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso reale, ad un numero esiguo di ore l'anno.

Per i fabbricati evidenziati all'interno della sopracitata Tabella 4, presso i quali l'effetto di shadow flickering potrebbe essere superiore a 80 ore reali l'anno, è stato elaborato un calendario dell'ombra che riporta in maniera grafica i periodi dell'anno in cui è possibile il verificarsi il fenomeno (condizioni del caso peggiore).

Al fine di garantire una più chiara comprensione di tali grafici, prima di effettuarne la disamina, si riporta una guida alla lettura degli stessi:

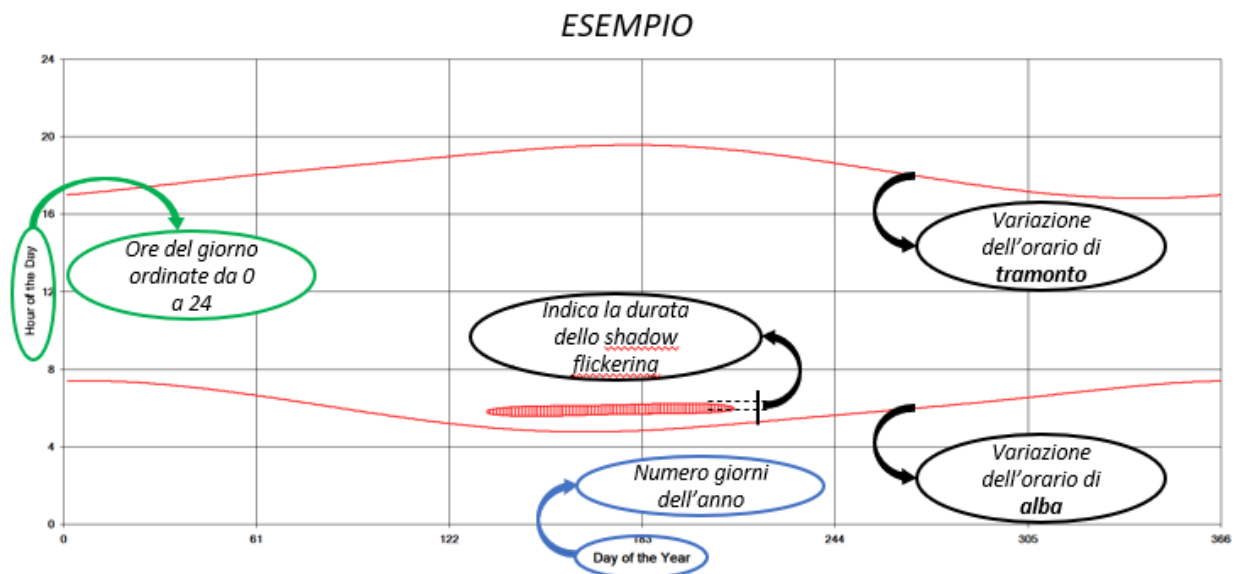


Figura 3-12 Esempio di output grafico dei risultati di simulazione del fenomeno di shadow flickering

Le curve di colore rosso indicano l'ora dell'alba e del tramonto mentre le aree campite il periodo in cui è possibile che il fenomeno si verifichi.

Inoltre, sull'asse delle ordinate sono riportati i giorni dell'anno e su quello delle ascisse l'ora del giorno (ora solare).

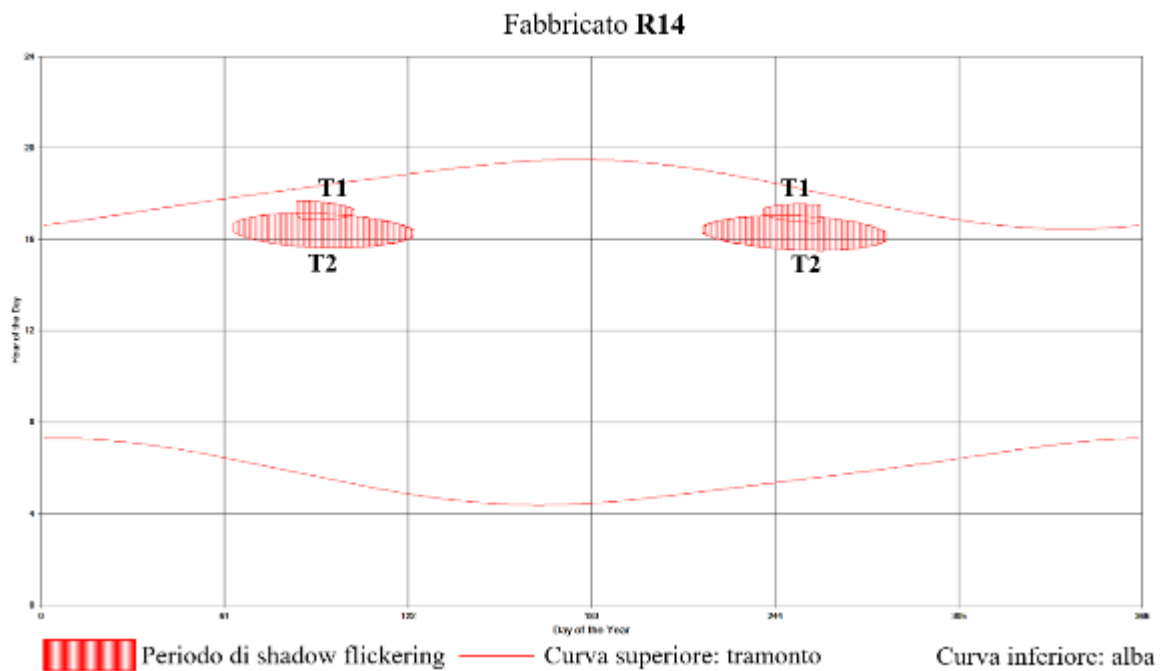


Figura 3-13 Periodi di shadow flickering per il ricettore R14

Per quanto riguarda il fabbricato R14, classificato come deposito agricolo, si riportano le Turbine Eoliche (Tx) che generano interferenza in relazione al fenomeno dello shadow flickering ed i relativi periodi temporali di riferimento:

- **T1** dal 26 marzo al 14 aprile tra le 16.52 e le 17.40 e dal 28 agosto al 16 settembre tra le 16.43 e le 17.32;
- **T2** dal 5 marzo al 4 maggio tra le 15.38 e le 17.08 e dal 8 agosto al 8 ottobre tra le 15.30 e le 17.02.

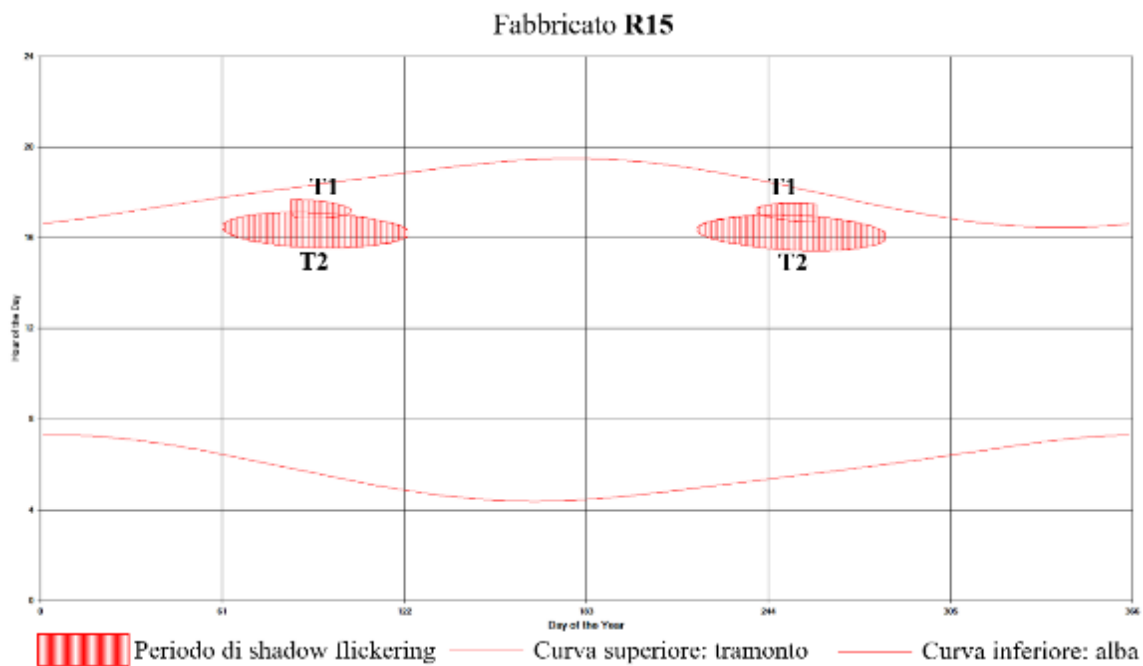


Figura 3-14 Periodi di shadow flickering per il ricettore R15

In coerenza al fabbricato precedente si riportano, per il ricettore R15 classificato come deposito agricolo, le Turbine che generano interferenza ed i relativi periodi temporali:

- **T1** dal 25 marzo al 14 aprile tra le 16.51 e le 17.40 e dal 28 agosto al 17 settembre tra le 16.42 e le 17.31.
- **T2** dal 2 marzo al 3 maggio tra le 15.32 e le 17.07 e dal 8 agosto al 10 ottobre tra le 15.25 e le 17.00

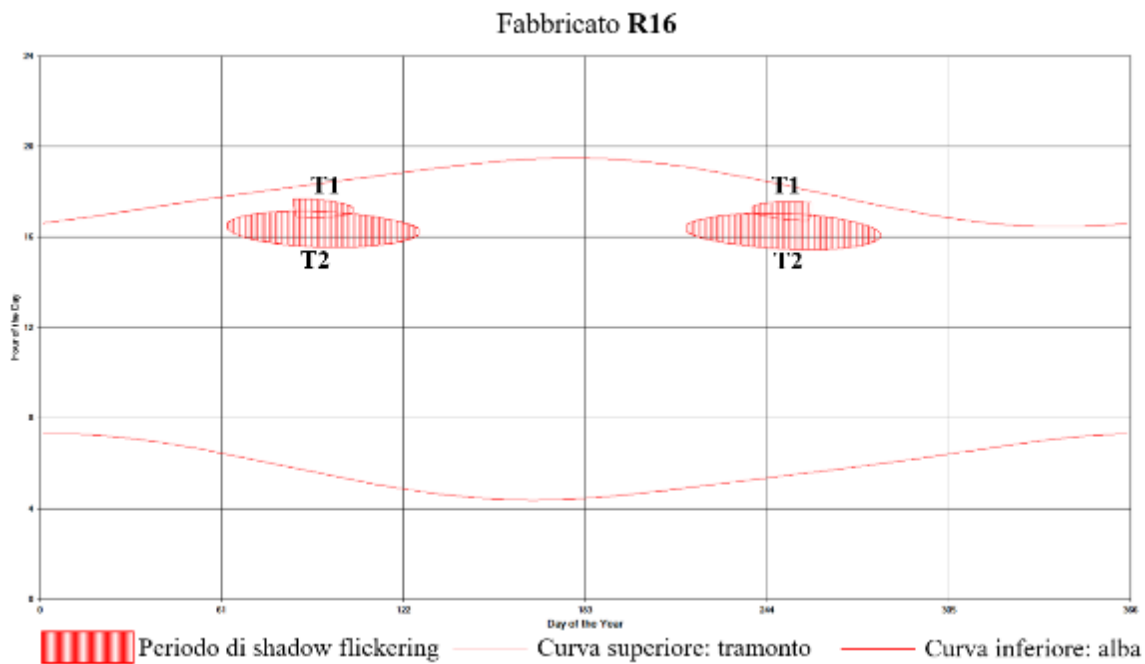


Figura 3-15 Periodi di shadow flickering per il ricettore R16

In coerenza al fabbricato precedente si riportano, per il ricettore R16 classificato come deposito agricolo, le Turbine che generano interferenza ed i relativi periodi temporali:

- **T1** dal 26 marzo al 15 aprile tra le 16.51 e le 17.41 e dal 27 agosto al 16 settembre tra le 16.43 e le 17.33;
- **T2** dal 4 marzo al 7 maggio tra le 15.32 e le 17.08 e dal 5 agosto al 9 ottobre tra le 15.26 e le 17.03;

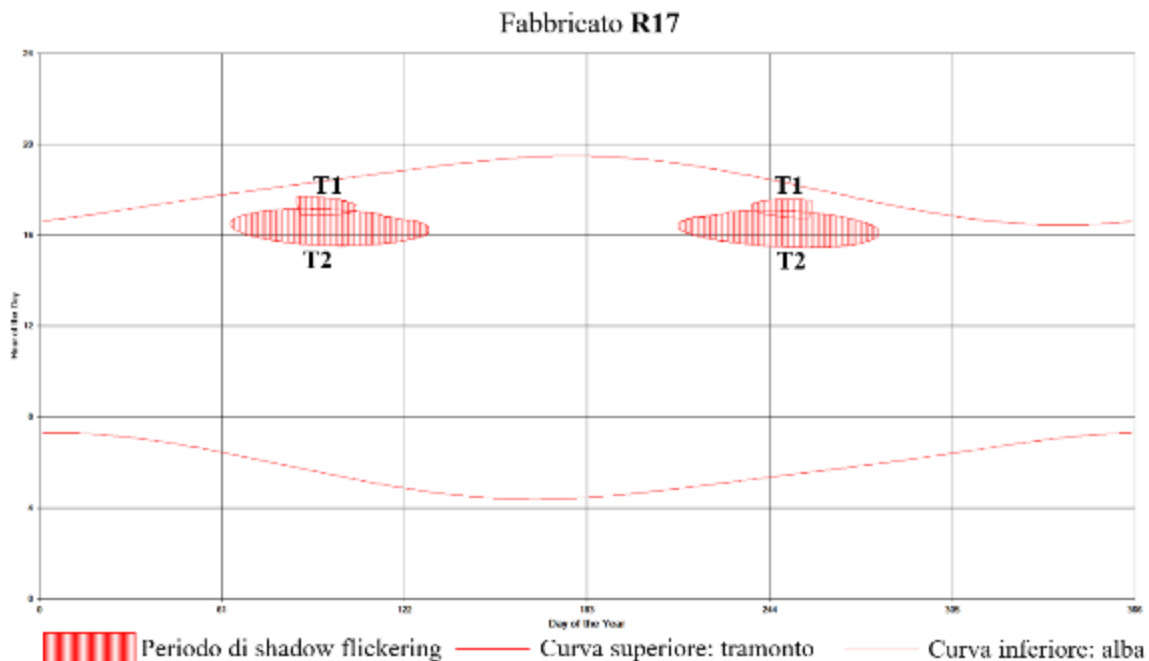


Figura 3-16 Periodi di shadow flickering per il ricettore R17

In coerenza al fabbricato precedente si riportano, per il ricettore R17 classificato come deposito agricolo, le Turbine che generano interferenza ed i relativi periodi temporali:

- **T1** dal 27 marzo al 16 aprile tra le 16.52 e le 17.42 e dal 26 agosto al 15 settembre tra le 16.44 e le 17.35;
- **T2** dal 5 marzo al 10 maggio tra le 15.32 e le 17.10 e dal 1 agosto al 7 ottobre tra le 15.28 e le 17.05.

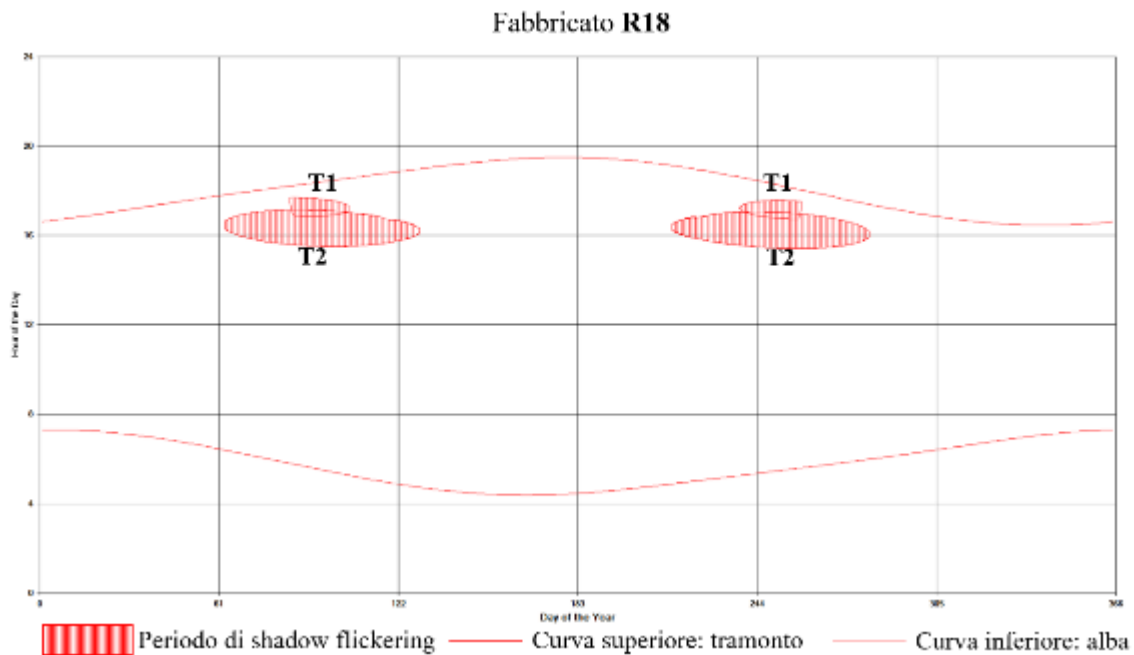


Figura 3-17 Periodi di shadow flickering per il ricettore R18

In coerenza al fabbricato precedente si riportano, per il ricettore R18 classificato come deposito agricolo, le Turbine che generano interferenza ed i relativi periodi temporali:

- **T1** dal 26 marzo al 15 aprile tra le 16.51 e le 17.41 e dal 26 agosto al 16 settembre tra le 16.43 e le 17.34;
- **T2** dal 4 marzo al 9 maggio tra le 15.30 e le 17.08 e dal 3 agosto al 9 ottobre tra le 15.24 e le 17.03.

#### 4 CONCLUSIONI

A seguito di quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa, in quanto non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra, il fenomeno dello shadow flickering si potrebbe verificare su 26 dei 54 fabbricati considerati (vedi Tabella 4). L'incidenza di tale fenomeno sulla qualità della vita e degli ambienti lavorativi può ritenersi nullo in quanto, il valore in termini di ore per questa tipologia di ricettori (residenziali ed industriali) è sempre pari a zero. Inoltre, nella maggior parte dei casi (45 su 54 fabbricati) la durata simulata ed attesa del fenomeno è inferiore a 40 ore l'anno, ed esclusivamente su 5 fabbricati (R14, R15, R16, R17 ed R18) supera le 80 ore "reali" annue. Se si rapporta tale valore a quello di eliofania media locale dell'area (3669 ore/anno) si avrebbe un'incidenza percentuale del fenomeno che mediamente si attesta intorno al 1% ed al più pari a 9%, solo per alcuni sporadici casi.

A tali considerazioni va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione della turbina è 8,5 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;
- i ricettori maggiormente interessati al fenomeno, ovvero quelli con valore di shadow flickering compreso tra le 80 e 113 ore/anno (R14, R15, R16, R17 ed R18), risultano essere edifici adibiti a deposito agricolo e quindi a scarsa densità abitativa durante l'anno;
- le turbine in progetto che causano il fenomeno dell'ombreggiamento sono molto lontane dalla quasi totalità (48/54) dei ricettori, essendo le distanze sempre superiori ai 500 m. In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal recettore è molto ridotto. Per quanto riguarda i fabbricati R3, R14, R15, R16, R17 ed R18, posti a distanze comprese tra 379 e 474 m, le interferenze potenziali dovute all'ombreggiamento si ritengono estremamente marginali in quanto il fenomeno per arrecare disturbo deve poter essere osservato in maniera continuativa, circostanza che si ritiene altamente improbabile considerando la tipologia di fabbricati.

***Stante tutto quanto sopra riportato è possibile concludere come l'interferenza tra la componente in esame, relativa allo shadow flickering, sui ricettori presi in considerazione possa considerarsi trascurabile.***