

**Parco eolico “SCOLPITO”**  
**Comune di Comune di Brindisi (BR)**

**STUDIO DEGLI EFFETTI DELLO SHADOW FLICKERING**

Ing. Alberto Voltolina

## **INDICE**

1	INTRODUZIONE	3
	1.1 Descrizione del fenomeno	4
2	DESCRIZIONE DEGLI AEREOGENERATORI	7
	2.1 Torre di sostegno	8
	2.2 Rotore e pale	9
	2.3 Navicella	10
	2.4 Generatore	10
3	DESCRIZIONE DELL'AMBITO DI STUDIO	11
4	ANALISI DEI RISULTATI	16
	4.1 Risultati numerici	16
	4.2 Mappe shadow flicker	17

## 1 INTRODUZIONE

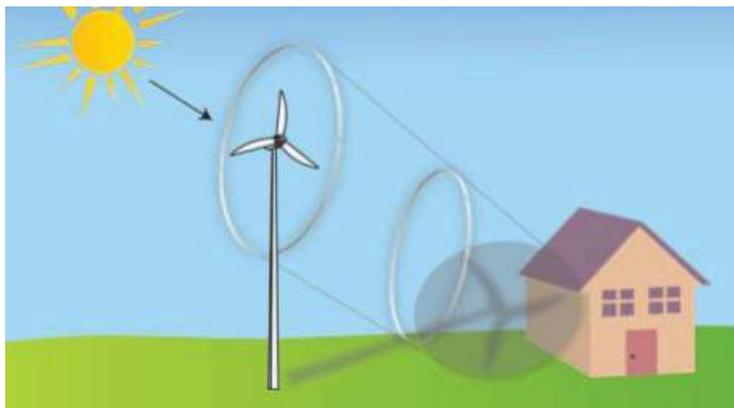
La presente relazione ha come oggetto di analisi la descrizione e la rappresentazione dell'ombreggiamento intermittente (*shadow flickering*) generato dal Parco eolico "Scolpito".

Il terreno individuato ricade nel territorio comunale di Brindisi, ed è situato circa 12 Km a Sud-Ovest rispetto al centro. I più vicini comuni sono Tuturano, situato 4 km a Nord-Ovest, San Donaci, a circa 7 Km a Sud, e Mesagne, 8.5 Km a Nord-Ovest rispetto agli generatori.



**Figura 1 - Localizzazione degli aerogeneratori**

Lo shadow flicker è un fenomeno generato dai raggi solari quando impattano sulle pale del rotore di un aerogeneratore in rotazione. Questo genera un'alternanza continua di luci e ombre che possono provocare disturbo ai recettori sensibili posti in prossimità del parco stesso.



**Figura 2 - Rappresentazione effetto flickering**

### ***1.1 Descrizione del fenomeno***

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

Il fenomeno del "flicker" indica l'effetto di lampeggiamento che si verifica quando le pale del rotore in movimento "tagliano" la luce solare in maniera intermittente.

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). 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 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 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 flicker sulla salute umana raccomandano, al fine di ridurre al minimo i fastidi, una velocità di flicker 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 l'intensità e la durata dell'ombreggiamento.

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 meteo-climatiche medie della penisola italiana, è possibile affermare che le aree soggette al fenomeno di shadow flicker non si estendono mai oltre i 500-

2000 m dall'aerogeneratore. 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 flicker 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 flicker 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 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 flicker 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.

Al fine di mitigarne l'impatto, in fase di scelta di localizzazione si è cercato di posizionare gli aerogeneratori il più possibile distanti dall'area urbana, dagli edifici abitativi e da quelli lavorativi.

## 2 DESCRIZIONE DEGLI AEROGENERATORI

Il parco eolico sarà composto da 5 aerogeneratori del tipo GE Renewable Energy Cypress 158- 50/60 Hz o similare, con le seguenti caratteristiche dimensionali:

<b>Cypress 158 – 50/60 Hz</b>	
Potenza nominale generatore	6 MW
Altezza hub	121 m
Diametro rotore	158 m
Altezza totale	200 m

Gli aerogeneratori sono ad asse orizzontale, costituiti da un sistema tripala. La tipica configurazione di un aerogeneratore di questo tipo prevede un sostegno costituito da una torre tubolare con la navicella alla sua sommità, all'interno della quale sono contenuti l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico, il trasformatore MT/BT e i dispositivi ausiliari.

La struttura in elevazione dell'aerogeneratore è costituita da una torre in acciaio di forma tronco-conica, realizzata in 5 tronchi assemblati in sito. Il rotore si trova all'estremità dell'albero lento, è posto sopravento rispetto al sostegno, ed è costituito da tre pale fissate ad un mozzo, corrispondente all'estremo anteriore della navicella. La navicella può ruotare rispetto al sostegno in modo tale da tenere l'asse dell'aerogeneratore sempre parallela alla direzione del vento (movimento di imbardata). Rotore e generatore elettrico possono essere direttamente collegati oppure associati ad un moltiplicatore di giri. Indispensabile nei grandi aerogeneratori, il moltiplicatore di giri fa sì che la lenta rotazione delle pale permetta comunque una corretta alimentazione del generatore elettrico.

Opzionalmente gli impianti di energia eolica possono essere dotati di un ascensore in grado di trasportare due persone dalla base della torre alla gondola o viceversa. Gli aerogeneratori potranno essere dotati di segnalazione cromatica, costituendo un ostacolo alla navigazione aerea a bassa quota. In particolare, ciascuna delle tre pale

potrà essere verniciata sulle estremità con tre bande di colore rosso/bianco/rosso ognuna di larghezza minima pari a 6m, fino a coprire 1/3 della lunghezza della pala.

Potrebbe inoltre essere prevista l'installazione delle segnalazioni "notturne", costituite da luci intermittenti di colore rosso sull'estradosso della navicella. Ad ogni modo le prescrizioni degli Enti preposti (ENAC/ENAV) potranno modificare le suddette segnalazioni.

### ***2.1 Torre di sostegno***

La torre di sostegno di tipo tubolare avrà una struttura in acciaio ed un'altezza complessiva fino all'asse del rotore pari al massimo a 121 m per il modello sopracitato. Il colore della struttura sarà chiaro, avrà una forma tronco-conica e sarà costituita da cinque tronchi. Le diverse sezioni sono state ottimizzate per lunghezza, diametro e peso allo scopo di assicurare anche un peso adeguato al trasporto. Il collegamento tra le singole sezioni è realizzato in cantiere tramite flange bullonate fra loro. Il design dei tubi in acciaio è scelto in modo tale da permettere una combinazione modulare dei segmenti alle altezze al mozzo necessarie.

Le torri sono composte da un diverso numero di sezioni ottimizzate per lunghezza, diametro e peso dal punto di vista del peso e del trasporto. In questo modo è assicurata la possibilità di un più semplice trasporto. Le sezioni di cui si compongono le torri saranno realizzate in officina quindi trasportati e montati in cantiere. La protezione dalla corrosione necessaria è realizzata da un rivestimento a più strati da sistemi di verniciatura conformi alla specificazione di protezione dalla corrosione.

La struttura interna delle torri tubolari in acciaio corrisponde ai requisiti generali per interventi industriali di montaggio e di servizio. A tal proposito le singole sezioni delle torri sono dotate di relative piattaforme di montaggio, sistemi di scale con elementi di sostegno, sistemi di illuminazione a norma e sistemi di illuminazione di emergenza. In

questo modo interventi di assistenza e di montaggio sono quasi completamente indipendenti dalle condizioni atmosferiche esterne.

Alla base della torre ci sarà una porta che permetterà l'accesso ad una scala montata all'interno, dotata ovviamente di opportuni sistemi di protezione (parapetti). Per ogni tronco di torre è prevista una piattaforma di riposo. È previsto inoltre un sistema di illuminazione di emergenza interno.

## **2.2 Rotore e pale**

Il rotore si trova all'estremità dell'albero ed è costituito da tre pale realizzate in fibra di vetro rinforzata con resina epossidica e fissate ad un mozzo, corrispondente all'estremo anteriore della navicella; il mozzo del rotore, realizzato in ghisa sferoidale, è montato sull'albero con un attacco a flangia e le dimensioni sono sufficienti a garantire l'accesso ai tecnici durante le fasi di manutenzione.

Il rotore è posto sopravento rispetto alla torre di sostegno e, nel caso del parco in oggetto, caratterizzato da un diametro pari a 158 m, con velocità variabile progettata per massimizzare la potenza e minimizzare emissioni acustiche.

Nelle turbine "sopravento", che sono di gran lunga le più diffuse è importante mantenere un allineamento più continuo possibile tra l'asse del rotore e la direzione del vento, per assicurare sempre il massimo rendimento dell'aerogeneratore. Nel grande eolico, per orientare il rotore nella direzione del vento rilevata da appositi sensori, e mantenerlo entro un opportuno angolo, si usa un sistema di imbardata poggiato su dei cuscinetti e dotato di un motore.

Le pale, a profilo alare e incernierate al mozzo, sono realizzate in fibra di vetro rinforzata con carbonio e ottimizzate per operare a velocità variabile. Le pale saranno verniciate con colore chiaro e protette dalle scariche atmosferiche da un sistema parafulmine integrato.

### 2.3 Navicella

La navicella è il corpo centrale dell'aerogeneratore, posizionato sulla cima della torre. È una cabina in cui sono contenute le principali apparecchiature elettromeccaniche necessarie alla generazione di energia elettrica. È vincolata alla testa della torre tramite un cuscinetto a strisciamento che le consente di ruotare sul suo asse di imbardata.

### 2.4 Generatore

Il generatore trasforma l'energia meccanica in energia elettrica. I giri al minuto dell'aerogeneratore, e quindi la frequenza dell'energia elettrica prodotta, sono molto variabili (come lo è la velocità del vento). Il generatore è del tipo asincrono trifase a doppia alimentazione con rotore a gabbia, collegato alla rete tramite un convertitore di frequenza PWM che consente il funzionamento del generatore a velocità e tensione variabile, fornendo al contempo potenza costante. L'alloggiamento del generatore consente la circolazione dell'aria di raffreddamento all'interno dello statore e del rotore. L'aria-acqua per lo scambio di calore avviene in uno scambiatore di calore esterno.

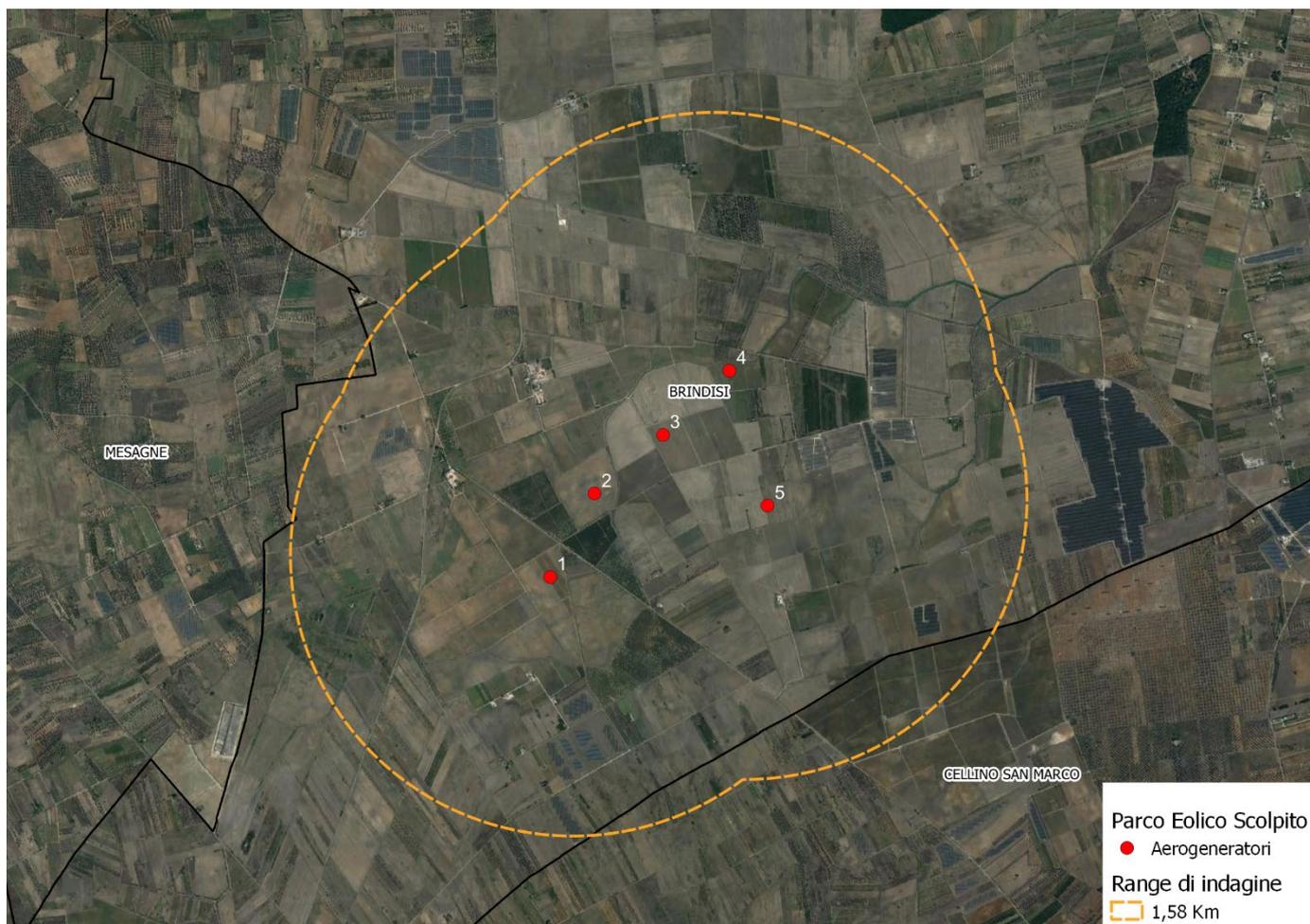
Di seguito si riportano le posizioni degli aerogeneratori:

WTG No.	Longitude (E)	Latitude (N)	Z [m]
01	17,894277°	40,510911°	69,1
02	17,897409°	40,515129°	67,6
03	17,902137°	40,518027°	65,5
04	17,906712°	40,521209°	62,9
05	17,908947°	40,514217°	64,6

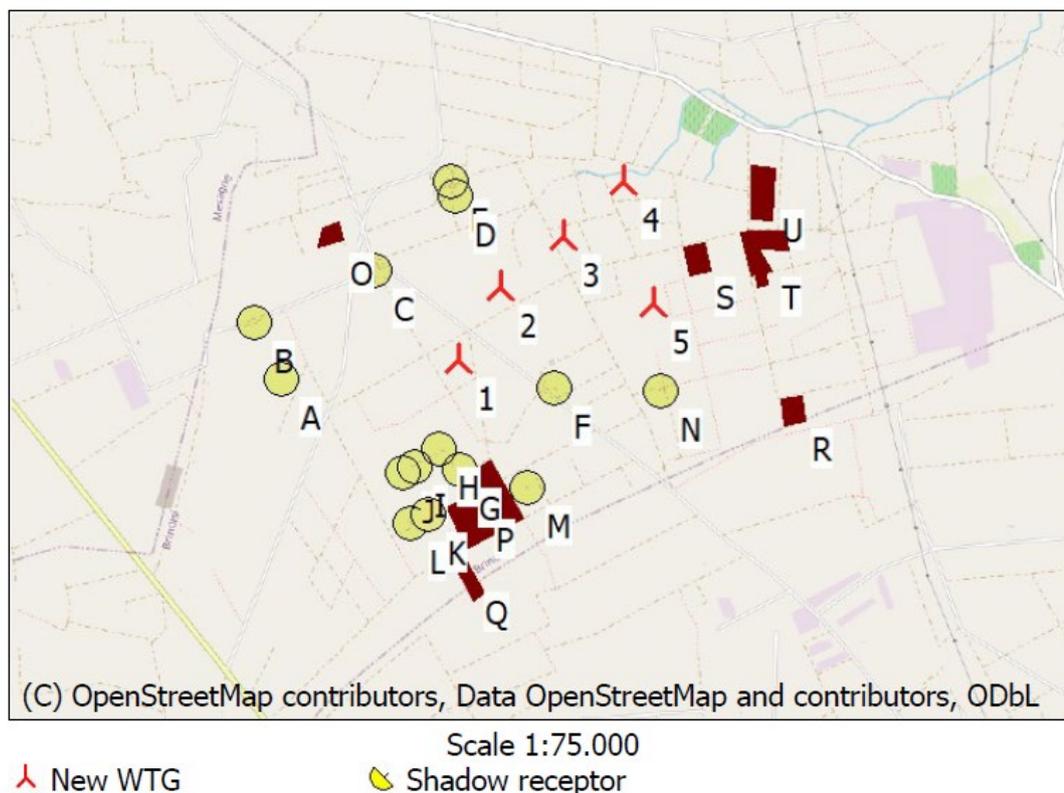
### 3 DESCRIZIONE DELL'AMBITO DI STUDIO

L'area di interesse, al pari della Provincia di Brindisi, presenta un'occupazione del suolo prevalentemente destinata a superfici agricole. Gli aerogeneratori, in particolare, ricadono in superficie pianeggiante, principalmente adibita a seminativi semplici in aree non irrigue.

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici e sugli impianti fotovoltaici circostanti da parte dell'impianto eolico in progetto, sulla base di quanto stabilito dalla "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN- 3)" (UK, 2011) sono stati individuati i recettori potenzialmente sensibili presenti in un'areale corrispondente all'involuppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nell'ipotesi progettuale pari a 158m). L'area di analisi così ottenuta ha un'estensione di circa 13 km<sup>2</sup>.



**Figura 3 Area di indagine Shadow Flickering**



**Figura 4 - Recettori individuati per lo studio**

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestrate localizzate lungo la direttrice sole-aerogeneratore e, per tale ragione, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza pari a 1.5 metri e larghezza pari ad 1 metro, posizionate ad una quota dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici considerati (Green House).

Per quanto riguarda i parchi fotovoltaici presenti, l'analisi è stata svolta considerando l'estensione del parco fotovoltaico in termini di area e presupponendo un'altezza media dei moduli pari a 1.5 m.

L'area di interesse per questo studio non presenta abitazioni al suo interno, ma solo fabbricati o strutture utilizzate per attività industriali. Si è comunque deciso, in via cautelativa, di considerare tali strutture con le stesse caratteristiche di case di proprietà e dare evidenza dello scarso impatto del fenomeno di ombreggiamento intermittente.



Per la quantificazione di tale fenomeno è stato utilizzato il software *WindPRO 3.5.587 by EMD International*, particolarmente adatto per le simulazioni inerenti i parchi eolici e tutti i fenomeni ad essi connessi. Nello specifico, per l'analisi relativa all'ombreggiamento si è utilizzato l'apposito pacchetto "SHADOW (Flicker)".

Inoltre, **si è analizzato il "worst case"**, il quale prevede le seguenti ipotesi:

- Sole splendente tutto il giorno, senza nuvole e nebbia;
- Piano del rotore sempre perpendicolare alla linea virtuale tra l'aerogeneratore ed il sole;
- Aerogeneratore sempre attivo.

Per cui i risultati ai quali si perverrà sono ampiamente cautelativi.

Si riportano i risultati ottenuti, in termini di ore, relativamente all'ombreggiamento provocato su ciascun ricettore e da ogni aerogeneratore:

**Tabella 1 Ombreggiamento causato su ciascun recettore**

No.	Description	Shadow hours per year [h/year]	Shadow days per year [days/year]	Max shadow hours per day [h/day]
<b>1</b>	A	35:40	115	00:32
<b>2</b>	B	18:25	67	00:27
<b>3</b>	C	81:15	189	00:46
<b>4</b>	D	74:46	156	00:50
<b>5</b>	E	68:15	152	00:47
<b>6</b>	<b>F</b>	<b>102:30</b>	<b>120</b>	<b>01:00</b>
<b>7</b>	G	0:00	0	0:00
<b>8</b>	H	0:00	0	0:00
<b>9</b>	I	0:00	0	0:00
<b>10</b>	J	0:00	0	0:00
<b>11</b>	K	0:00	0	0:00
<b>12</b>	L	0:00	0	0:00
<b>13</b>	M	0:00	0	0:00
<b>14</b>	N	13:03	40	0:28
<b>FV1</b>	O	94:05	189	0:44
<b>FV2</b>	P	0:00	0	0:00
<b>FV3</b>	Q	0:00	0	0:00
<b>FV4</b>	R	0:00	0	0:00
<b>FV5</b>	<b>S</b>	<b>642:42</b>	<b>365</b>	<b>3:05</b>
<b>FV6</b>	<b>T</b>	<b>371:50</b>	<b>365</b>	<b>1:20</b>
<b>FV7</b>	<b>U</b>	<b>270:56</b>	<b>346</b>	<b>1:09</b>

**Tabella 2 Ombreggiamento provocato da ciascun aerogeneratore**

WTG No.	Shadow hours per year [h/year]
<b>01</b>	217:15
<b>02</b>	149:47
<b>03</b>	280:15
<b>04</b>	234:02
<b>05</b>	603:54

## 4 ANALISI DEI RISULTATI

### 4.1 Risultati numerici

Analizzando le tabelle riportate in precedenza, si nota come in molti dei ricettori nel buffer il fenomeno sia totalmente assente. Gli 11 ricettori restanti sono divisi tra 7 fabbricati di tipo agricolo/produttivo e 4 parchi fotovoltaici.

Relativamente agli edifici, è possibile notare come lo shadow flicker massimo in termini di h/anno sia pari a 102:30 ore nel ricettore "F".

Sulla base dei dati disponibili dalla stazione meteorologica di Brindisi-Casale per il periodo 1981-2010, che ha misurato un eliofania assoluta di circa 2600 ore all'anno, l'aumento di ombreggiamento causato dall'impianto corrisponderebbe al 3,9%.

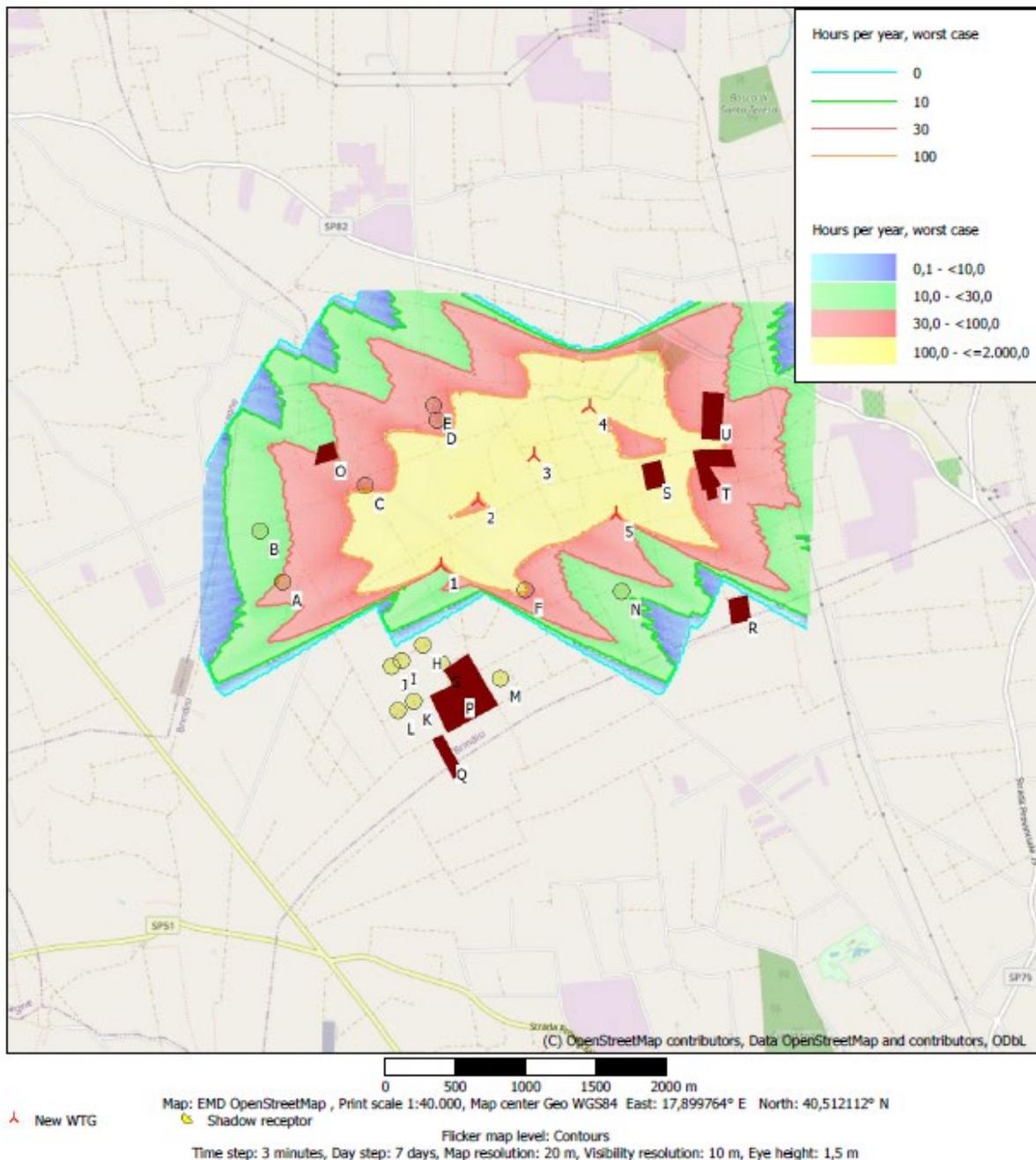
Per quanto riguarda i parchi FV vicini, quelli che subiscono maggiormente l'influenza del fenomeno sono gli impianti "S", "T" e "U", con 642, 371 e 270 ore rispettive.

Paragonandole alle 2600 ore di eliofania si ottiene che il fenomeno interessa in particolare l'impianto "S" per quasi il 25% delle ore annue. Bisogna comunque considerare che si tratta di previsioni molto conservative, in quanto ottenute nello scenario peggiore, vale a dire dalla concomitanza, non realistica, dei fattori più sfavorevoli come definiti in precedenza.

Tenendo dunque conto dello scenario difficilmente realizzabile e della presenza soltanto saltuaria di persone su tali recettori, l'impatto dovuto shadow flickering è considerato come trascurabile.

## 4.2 Mappe shadow flicker

Quanto descritto in termini numerici può essere valutato anche dalla seguente mappa:



**Figura 5 - Mappa con le ore di shadow flicker**

Si verifica come tutti i recettori legati ad attività agricole ricadono al di fuori dell'area potenzialmente interessata più di frequente dall'ombreggiamento, e solo uno (il recettore "F") ricade parzialmente nell'area di maggiore incidenza del fenomeno.

Tra i parchi fotovoltaici considerati, solo il recettore "S" ricade completamente nell'area "gialla", a causa della sua vicinanza alle torri 4 e 5, mentre gli impianti "T" ed "U" ne sono interessati solo parzialmente.

Il fatto che abbiano un valore di copertura in termini di ore più alto rispetto ai recettori di tipo "edificio" è dovuto alla maggiore estensione superficiale, che però non genera disturbo.