

# Integrale ricostruzione dell'impianto eolico VRG-040

## Progetto definitivo

Oggetto:

**040-54 - Relazione sugli effetti shadow-flickering**

Proponente:

**VRgwind040**

VRG Wind 040 S.r.l.  
Via Algardi 4  
Milano (MI)

Progettista:

 **Stantec**

Stantec S.p.A.  
Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova  
Segrate (Milano)

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
01	05/08/2022	Integrati Commenti	M. Carnevale	M. Terzi	L. Lavazza
02	19/04/2024	Integrazioni volontarie	M. Carnevale	M. Carnevale	P. Polinelli
03	14/05/2024	Integrazioni volontarie	L. Di Matteo	M. Carnevale	P. Polinelli
Fase progetto: <b>Definitivo</b>				Formato elaborato: <b>A4</b>	

Nome File: **040-54.03 - Relazione sugli effetti shadow-flickering.docx**

# Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1	Descrizione del proponente .....	3
1.2	Contenuti della relazione.....	4
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI.....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>RISULTATI .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>44</b>
<b>8.1</b>	<b>Calendari di shadow flickering .....</b>	<b>44</b>
8.1.1	Recettore RC 30.....	44
8.1.2	Recettore RC 109.....	45
8.1.3	Recettore RC 129.....	45
8.1.4	Recettore RC 138.....	46
8.1.5	Recettore RC 169.....	46
8.1.6	Recettore RC 170.....	47

# Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto VRG-040.....	5
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto VRG-040 nel suo stato di fatto e nello stato di progetto. In evidenza i settori nei comuni di Villafrati (sopra) e Campofelice di Fitalia (sotto). .....	6
Figura 3-1: rappresentazione schematica.....	8
Figura 7-1: Frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica di Marineo .....	40
Figura 7-2: Foto del recettore 109 da rilevamenti in sito .....	41
Figura 7-3: Inquadramento del recettore RC 138.....	42

## 1 PREMESSA

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Sorgenia S.p.A. di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nei Comuni di Campofelice di Fitalia (PA), Villafrati (PA) e Ciminna (PA), costituito da 35 aerogeneratori di potenza 0,85 MW ciascuno, con una potenza complessiva dell'impianto pari a 29,75 MW installati.

L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori dell'impianto viene convogliata tramite cavidotto interrato MT da 20 kV, alla Sottostazione Utente, ubicata nel comune di Ciminna. L'allacciamento dell'impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) avviene attraverso un collegamento direttamente alla Cabina Primaria di Ciminna di Enel Distribuzione, la quale a sua volta è collegata in entra-esce sulla linea esistente AT a 150 kV "Ciminna-Castronovo".

L'intervento in progetto consiste nella sostituzione delle 35 turbine eoliche dell'impianto esistente con 11 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6 MW ciascuno. Si prevede di collegare gli 11 aerogeneratori di progetto alla Sottostazione di trasformazione MT/AT del comune di Ciminna mediante un cavo interrato MT da 33 kV. Il seguente progetto di repowering consente di aumentare notevolmente la potenza complessivamente prodotta dall'impianto, riducendo gli impatti sul territorio grazie al più ridotto numero di aerogeneratori impiegati. Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporta un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO2 equivalente.

### 1.1 Descrizione del proponente

Il soggetto proponente del progetto in esame è VRG Wind 040 S.r.l., interamente parte del gruppo Sorgenia Spa, uno dei maggiori operatori energetici italiani.

Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca. 33 MW). In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%.

Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali VRG Wind 040 S.r.l., è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

## 1.2 Contenuti della relazione

Il presente documento costituisce revisione dell'elaborato depositato in fase di prima istanza per una modifica di layout sopraggiunta a seguito di approfondimenti sulle caratteristiche ed il rischio geomorfologico del sito che hanno portato ad una ottimizzazione della localizzazione degli aerogeneratori e delle relative opere, volta a garantire la stabilità idrogeomorfologica dei versanti, nonché alla minimizzazione dell'entità di scavi e riporti.

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello "shadow flickering" e di valutare il suo effetto nell'area circostante l'impianto eolico in progetto.

Il Capitolo 2 fornisce una descrizione dell'inquadramento territoriale e geografico dell'impianto oggetto di integrale ricostruzione.

Il Capitolo 3 illustra il fenomeno dello "shadow flickering" prodotto dagli aerogeneratori.

Il Capitolo 4 fornisce un breve quadro normativo di riferimento.

Il Capitolo 5 elenca i recettori sensibili che sono stati identificati nell'area di indagine.

Il Capitolo 6 descrive la metodologia che è stata utilizzata per valutare l'effetto dello "shadow flickering" e valutare il suo impatto sui recettori individuati.

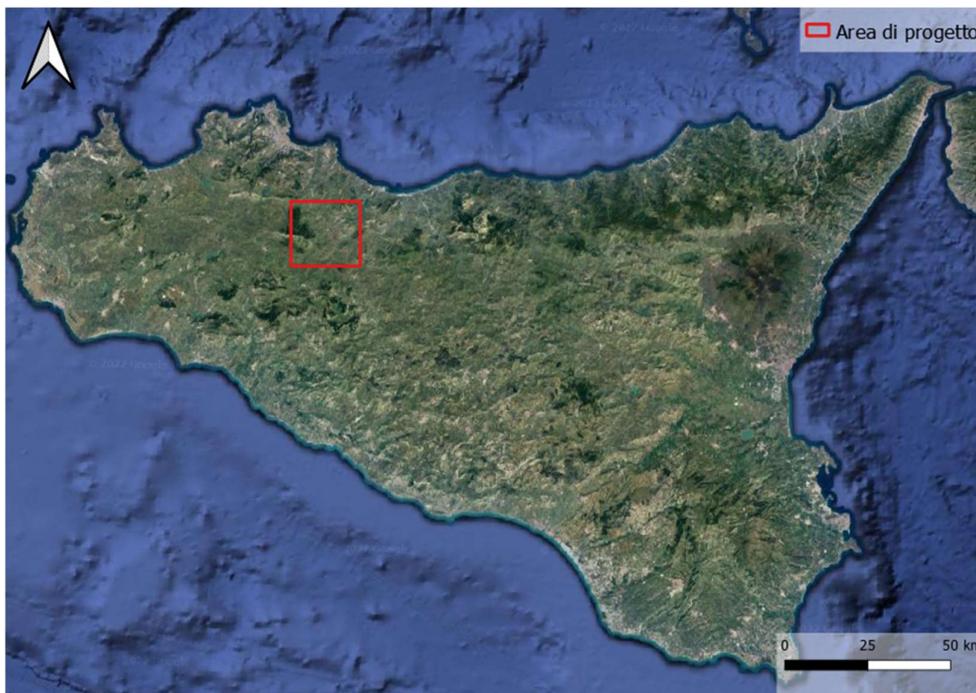
Il Capitolo 7 presenta i risultati del calcolo valutandone l'impatto.

Infine, il Capitolo 8 mostra la tavola grafica dei fabbricati considerati nella presente analisi ed i calendari di shadow flickering dei recettori più soggetti al fenomeno.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito in cui è ubicato il parco eolico oggetto di Repowering, denominato VRG-040, è collocato nei comuni di Villafrati, Ciminna, Campofelice di Fitalia e Mezzojuso, nella provincia di Palermo, in Sicilia.

L'impianto VRG-040 è localizzato a circa 30 km a Sud dal capoluogo, a 2 km in direzione Sud-Est rispetto al centro urbano del Comune di Villafrati ed a 0,8 km in direzione Sud/Sud-Ovest rispetto al centro storico di Campofelice di Fitalia.



**Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto VRG-040**

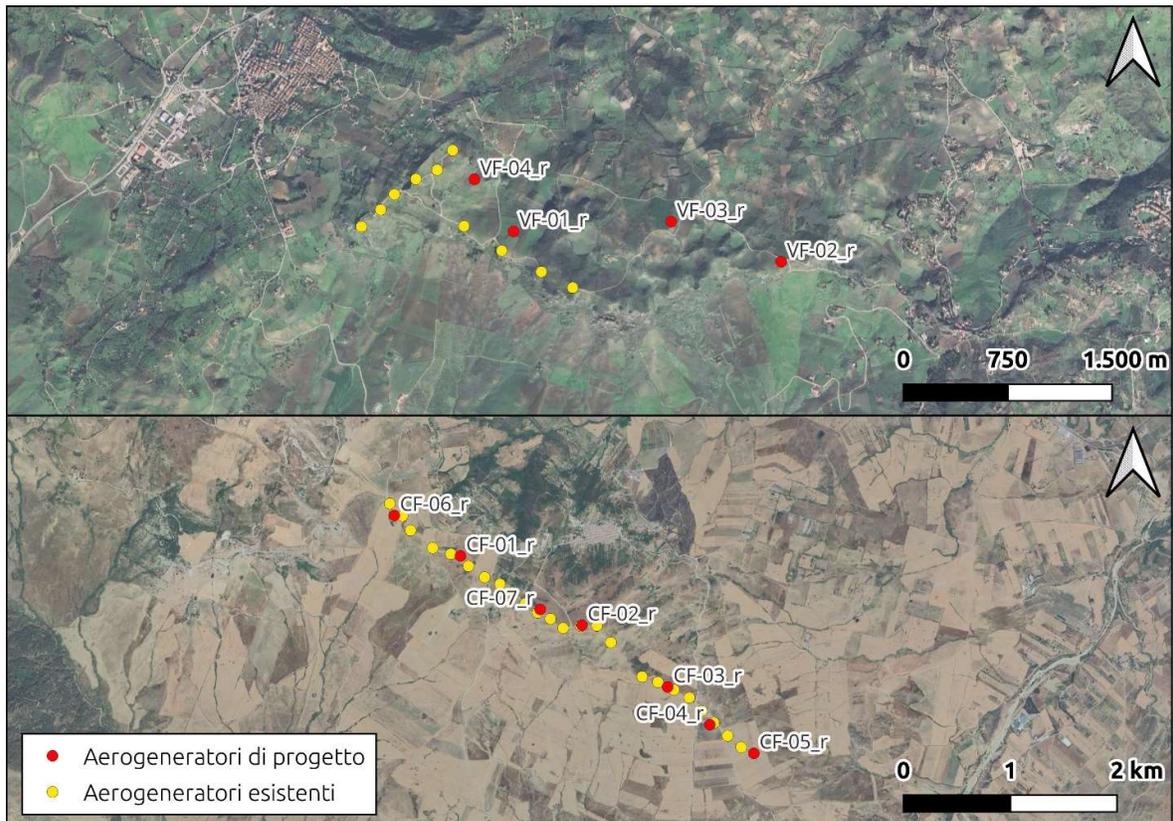
L'impianto eolico VRG-040 è situato in una zona prevalentemente collinare non boschiva caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 700 m, ma con rilievi montuosi non trascurabili, con sporadiche formazioni di arbusti e la presenza di terreni seminativi/incolti.

Gli aerogeneratori di progetto ricadono all' interno dei seguenti fogli catastali:

- Fogli 5, 8, 11, 13 nel comune di Campofelice di Fitalia;
- Fogli 15, 16, 17, 18 nel comune di Villafrati;
- Foglio 28 nel comune di Mezzojuso.

L'intervento di integrale ricostruzione e potenziamento dell'impianto consiste nello smantellamento dei 35 aerogeneratori esistenti e la relativa sostituzione con 11 turbine eoliche di potenza ed efficienza maggiore.

In Figura 2-2 è riportato l'inquadramento territoriale dell'area, con la posizione degli aerogeneratori su ortofoto nel suo stato di fatto e nel suo stato di progetto.



**Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto VRG-040 nel suo stato di fatto e nello stato di progetto. In evidenza i settori nei comuni di Villafrati (sopra) e Campofelice di Fitalia (sotto).**

Si riporta in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione degli aerogeneratori di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33 N:

**Tabella 1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione**

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]
<b>VF-01_r</b>	Villafrati	368426	4195457
<b>VF-02_r</b>	Villafrati	370351	4195239
<b>VF-03_r</b>	Villafrati	369560	4195527
<b>VF-04_r</b>	Villafrati	368145	4195831
<b>CF-01_r</b>	Mezzojuso	365474	4187475
<b>CF-02_r</b>	Campofelice di Fitalia	366612	4186827
<b>CF-03_r</b>	Campofelice di Fitalia	367414	4186249
<b>CF-04_r</b>	Campofelice di Fitalia	367808	4185895
<b>CF-05_r</b>	Campofelice di Fitalia	368221	4185627
<b>CF-06_r</b>	Campofelice di Fitalia	364855	4187855
<b>CF-07_r</b>	Campofelice di Fitalia	366221	4186975

### 3 IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

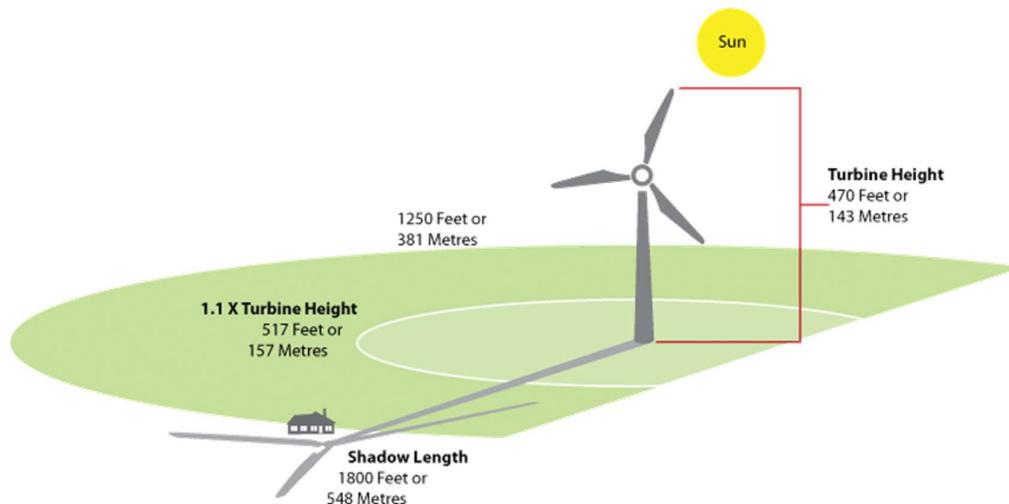
Gli aerogeneratori, al pari di tutte le altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una fluttuazione periodica dell'intensità luminosa osservata. Tale effetto (stroboscopico) è causato dalla proiezione, su una generica superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento. Nel caso specifico di un impianto eolico, il fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un recettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione allorché il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale recettore, 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 dalla nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale dell'aerogeneratore 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.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione di molto 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 riportata in letteratura. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.



**Figura 3-1: rappresentazione schematica**

Tale fenomeno, se sperimentato da un recettore per periodi di tempo prolungati, può generare un disturbo, nelle seguenti condizioni:

- Presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ovvero in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- Assenza di ostacoli sulla congiungente recettore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti all'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno. Quindi, condizione favorevole affinché il fenomeno in esame si verifichi, è quella rappresentata dall'orientamento perpendicolare delle finestre di un'abitazione rispetto alla linea congiungente il recettore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- Orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - recettore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-recettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "disco" che induce un effetto non trascurabile di shadow flickering; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole, l'ombra proiettata risulterebbe molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe del tutto trascurabile.

Inoltre, affinché lo shadow flickering abbia un'intensità non trascurabile è necessario che:

- la posizione del sole sia tale da produrre una luminosità sufficiente; tale condizione corrisponde, per la latitudine di progetto, in un'altezza del sole sull'orizzonte dell'ordine di almeno 10°;
- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;

- l'aerogeneratore ed il potenziale recettore non siano troppo distanti: infatti, le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità rispetto a quelle proiettate ad una distanza crescente. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un recettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del recettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e recettore le 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.

Alla luce di quanto sopra esposto, le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un recettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flickering. Per distanze dell'ordine dei 400-500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe e la radiazione diretta è di minore intensità 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 apparente del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulti ortogonale alla congiungente recettore – sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari a quello del 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 flickering non si estende oltre i 500÷1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 500 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 potenziale 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 definitiva, 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 recettore;
- L'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- Maggiori distanze tra generatore e recettore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

La presente relazione ha lo scopo di stimare le aree potenzialmente interessate dal fenomeno in relazione agli aerogeneratori che costituiscono il parco eolico in oggetto.

Nello specifico, quando si valuta l'impatto da shadow flickering, lo stesso può essere realizzato attraverso l'analisi di due casi specifici:

- Il worst case, in cui viene valutata la massima durata del fenomeno, ovvero quella astronomica, che corrisponde alle condizioni di cielo sempre sgombro da nubi, di rotore in movimento continuo e di perpendicolarità tra quest'ultimo ed il potenziale recettore;
- Il real case, in cui viene valutata la durata realistica del fenomeno, tenendo conto del soleggiamento effettivo dell'area e delle specifiche condizioni anemologiche che determinano la reale operabilità degli aerogeneratori.

## 4 NORME DI RIFERIMENTO

Attualmente nel nostro paese non sono state emanate specifiche norme o linee guida che regolamentino i limiti di esposizione al fenomeno dello Shadow flickering generato dall'esercizio degli impianti eolici, né è stata definita una distanza massima oltre la quale si ritiene improbabile il verificarsi di un impatto significativo sulla salute umana.

Viceversa, a livello internazionale esistono diverse linee guida e normative che stabiliscono specifici limiti di esposizione, in termini di ore/anno e ore/giorno, al fenomeno in esame.

La presente valutazione è finalizzata a valutare il cosiddetto "worst case", tenendo conto delle principali linee guida e/o normative internazionali che fissano i limiti di esposizione entro i quali gli effetti del fenomeno sulla salute umana possono considerarsi trascurabili o nulli, quali:

- Länderausschuss für Immissionsschutz "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (Guideline for identification and evaluation of the optical emissions of wind turbines) (WEA-Schattenwurf-Hinweise)" (Germania, 2002);
- Department of Energy and Climate Change "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (Regno Unito, 2011).

A titolo puramente informativo si riportano di seguito i riferimenti di altre norme in materia:

- Environment Protection and Heritage Council (EPHC) "National Wind Farm Development Guidelines - Draft" (Australia-Governo Nazionale, 2010);
- State of Queensland, Department of Infrastructure, Local Government and Planning "Wind farm State Code Planning Guideline" (Australia-Stato del Queensland, 2017);
- Western Australian Planning Commission "Guidelines for Wind Farm Development" (Western Australia, 2004);
- Victoria State Government, Department of Environment, Land, Water and Planning "Policy and planning Guidelines for Development of Wind Energy Facilities in Victoria" (Australia, 2017);
- Vlaamse overheid – Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, VLAREM II (Belgio-Regione delle Fiandre 2017);
- Arrêté du Gouvernement wallon portant conditions sectorielles relatives aux parcs d'éoliennes d'une puissance totale supérieure ou égale à 0,5 MW (Belgio-Regione Vallone, 2014);
- Scottish Government "Onshore wind turbines" (Scozia, 2012);

- Danish Government, Naturstyrelsen, Miljøministeriet "Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller" (Danimarca, 2015).

La maggior parte dei paesi che hanno adottato specifiche linee guida o regolamenti in materia si sono basati sulle norme di riferimento tedesche e sui limiti di accettabilità da esse introdotti. In assenza di una specifica normativa o linea guida, nazioni quali Austria, Brasile, Canada, India, Giappone e Polonia, impiegano, come buona pratica, le indicazioni contenute nelle linee guida tedesche.

Nello specifico, tali linee guida sono state introdotte nel 2002 dal comitato statale per il controllo dell'inquinamento e, da allora, sono state adottate dalla maggior parte dei Lander e sono comunemente considerate buone pratiche nella valutazione dell'impatto prodotto da un parco eolico. In particolare, tali linee guida, stabiliscono che lo shadow flickering deve essere valutato:

- Fino ad una distanza tale che il rotore copra il 20% del disco solare; a distanze superiori il fenomeno è considerato troppo diffuso da poter produrre fastidio;
- Per angoli del sole sull'orizzonte superiori a 3 gradi; per angoli inferiori il fenomeno si ritiene schermato dalla presenza di edifici e/o vegetazione;
- Ad un'altezza di 2 metri dal suolo;

Gli obiettivi di qualità stabiliti dalle suddette linee guida sono un massimo di:

- 30 minuti al giorno;
- 30 ore all'anno.

## 5 INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici da parte dell'impianto eolico in progetto, 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 (nel caso in esame 1700 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto (D pari a 170 m), con centro coincidente con le postazioni delle WTG in oggetto; ciò in accordo con quanto stabilito dalla "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (UK, 2011) (PPS22 per l'Inghilterra, TAN8 per il Galles), secondo la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo da shadow flickering a distanze superiori a dieci volte il diametro del rotore. Si è preferito optare per seguire le indicazioni delle Linee Guida anglosassoni in quanto da esperienze pregresse è sempre risultato che i 10 diametri sono più che cautelativi nella valutazione dello shadow flickering, come peraltro avviene di default all'interno di tutti i software che valutano tale impatto.

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, in direzione dei quattro punti cardinali (N-E-S-W).

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei potenziali recettori individuati nel buffer sopra specificato.

**Tabella 2: recettori considerati**

Recettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
RC 2	367246	4195827	A7	Villafraati
RC 3	367728	4195976	A7	Villafraati
RC 5	367468	4195956	A7	Villafraati
RC 7	367548	4196094	A7	Villafraati
RC 9	367297	4196236	A3	Villafraati
RC 11	367660	4196153	A7	Villafraati
RC 12	367693	4196158	A7	Villafraati
RC 14	367911	4196178	A7	Villafraati
RC 15	367895	4196234	A7	Villafraati
RC 17	367860	4196330	A7	Villafraati

RC 18	367833	4196331	A7	Villafrati
RC 19	367781	4196364	A7	Villafrati
RC 20	367658	4196298	A4	Villafrati
RC 23	368027	4196249	A3	Villafrati
RC 24	368084	4196218	A4	Villafrati
RC 30	368303	4196099	A4	Villafrati
RC 31	367886	4195636	A7	Villafrati
RC 34	368175	4196426	A4	Villafrati
RC 44	368588	4196245	A7	Villafrati
RC 45	368681	4196177	A7	Villafrati
RC 66	367535	4194999	A4	Mezzojuso
RC 99	367719	4196503	A7	Villafrati
RC 106	364351	4187747	A4	Corleone
RC 109	365089	4188028	A4	Mezzojuso
RC 111	365272	4188142	A7	Mezzojuso
RC 129	365911	4187570	A7	Campofelice di Fitalia
RC 134	365815	4187226	A7	Campofelice di Fitalia
RC 138	366057	4187252	A4	Campofelice di Fitalia
RC 143	365417	4186955	A4	Campofelice di Fitalia
RC 149	366185	4187644	A4	Campofelice di Fitalia
RC 150	366205	4187565	A7	Campofelice di Fitalia
RC 151	366249	4187628	A4	Campofelice di Fitalia
RC 152	366271	4187637	A7	Campofelice di Fitalia
RC 153	367596	4196524	A4	Villafrati
RC 154	368366	4196733	A7	Villafrati
RC 159	368877	4196485	A7	Villafrati
RC 165	368991	4196021	A4	Villafrati

RC 166	368997	4196020	A4	Villafrati
RC 168	368998	4196337	A2	Villafrati
RC 169	369115	4195927	A7	Villafrati
RC 170	369050	4195803	A7	Villafrati
RC 176	364559	4188696	A4	Mezzojuso
RC 179	365790	4187993	A7	Mezzojuso
RC 185	366749	4187666	A4	Campofelice di Fitalia
RC 190	369010	4185909	A7	Campofelice di Fitalia
RC 124	365784	4187792	A7	Mezzojuso
RC 125	365497	4188029	A4	Mezzojuso
RC 126	365542	4188040	A3	Mezzojuso
RC 127	365568	4188062	A4	Mezzojuso
RC 201	365211	4188712	A7	Mezzojuso
RC 205	364325	4187739	A4	Corleone
RC 250	370951	4194666	A7	Ciminna
RC 254	370700	4194815	D1	Ciminna
RC 256	370739	4194875	A7	Ciminna
RC 260	371145	4195084	D1	Ciminna
RC 261	370965	4195089	A4	Ciminna
RC 262	370853	4195086	A7	Ciminna
RC 265	370662	4195053	A7	Ciminna
RC 266	371308	4195309	A7	Ciminna
RC 267	371309	4195342	A7	Ciminna
RC 268	371280	4195358	A7	Ciminna
RC 269	371282	4195368	A7	Ciminna
RC 270	371293	4195381	A7	Ciminna
RC 271	371319	4195386	A7	Ciminna
RC 272	371323	4195398	A2	Ciminna
RC 273	371341	4195352	A7	Ciminna
RC 274	371246	4195513	A7	Villafrati

RC 275	371293	4195502	A7	Ciminna
RC 279	371255	4195641	A7	Villafraati
RC 280	371276	4195614	A7	Villafraati
RC 339	371193	4195060	A7	Ciminna
RC 340	371256	4194891	A7	Ciminna
RC 341	371233	4195015	A7	Ciminna
RC 343	371247	4195020	A7	Ciminna
RC 344	367121	4194904	A7	Mezzojuso
RC 346	366643	4195134	A4	Mezzojuso
RC 347	366704	4195268	A7	Mezzojuso
RC 348	366539	4195338	A7	Cefalà Diana
RC 352	366587	4195481	A7	Cefalà Diana
RC 353	366622	4195471	A7	Cefalà Diana
RC 354	366591	4195530	A7	Cefalà Diana
RC 356	366548	4195597	A7	Cefalà Diana
RC 358	367021	4195332	A7	Mezzojuso
RC 359	366581	4195850	A7	Cefalà Diana
RC 361	366583	4195905	A3	Cefalà Diana
RC 363	366684	4195884	A10	Villafraati
RC 364	366625	4195843	D1	Villafraati
RC 369	366865	4196034	A7	Villafraati
RC 370	366883	4196039	A7	Villafraati
RC 371	366918	4196057	A7	Villafraati
RC 372	366879	4196068	A4	Villafraati
RC 374	367036	4196157	A4	Villafraati
RC 375	366910	4196167	A7	Villafraati
RC 376	366844	4196173	A3	Villafraati
RC 379	366558	4196002	A2	Cefalà Diana
RC 380	366555	4196011	A2	Cefalà Diana
RC 381	366544	4196032	A3	Cefalà Diana
RC 382	366599	4196042	A3	Villafraati
RC 383	366590	4196065	A3	Villafraati

RC 384	366602	4196062	A2	Villafrati
RC 385	366614	4196060	A4	Villafrati
RC 386	366592	4196081	A3	Villafrati
RC 387	366593	4196089	A3	Villafrati
RC 388	366604	4196105	A2	Villafrati
RC 389	366624	4196128	A4	Villafrati
RC 390	366634	4196140	A4	Villafrati
RC 392	366578	4196155	A7	Cefalà Diana
RC 393	366548	4196098	A2	Cefalà Diana
RC 394	366711	4196176	A7	Villafrati
RC 395	366747	4196216	A4	Villafrati
RC 397	366780	4196194	A2	Villafrati
RC 399	366883	4196565	A2	Villafrati
RC 400	367084	4196447	A3	Villafrati
RC 401	367024	4196336	A7	Villafrati
RC 403	367224	4196407	A4	Villafrati
RC 404	367225	4196432	A7	Villafrati
RC 406	367220	4196455	A4	Villafrati
RC 407	367335	4196449	A4	Villafrati
RC 410	367346	4196568	A7	Villafrati
RC 411	367358	4196611	A7	Villafrati
RC 414	367152	4196533	A4	Villafrati
RC 415	367161	4196536	A3	Villafrati
RC 417	367189	4196540	A7	Villafrati
RC 421	367290	4196654	A3	Villafrati
RC 422	368908	4196528	A7	Villafrati
RC 423	369004	4196583	A7	Villafrati
RC 424	368990	4196537	A7	Villafrati
RC 427	369235	4196988	A7	Villafrati
RC 430	370835	4196280	A7	Baucina
RC 434	363800	4187394	A4	Corleone
RC 439	363339	4187481	A7	Corleone

RC 440	363287	4187426	A4	Corleone
RC 450	366433	4188315	A4	Campofelice di Fitalia
RC 451	366571	4188521	A7	Campofelice di Fitalia
RC 454	367343	4187711	A6	Campofelice di Fitalia
RC 463	367293	4187758	A6	Campofelice di Fitalia
RC 467	367291	4187773	A6	Campofelice di Fitalia
RC 470	367313	4187779	A6	Campofelice di Fitalia
RC 472	367343	4187767	A6	Campofelice di Fitalia
RC 473	367348	4187763	A6	Campofelice di Fitalia
RC 477	368702	4186724	A3	Campofelice di Fitalia
RC 480	369335	4186267	A3	Campofelice di Fitalia
RC 482	366957	4195109	A3	Mezzojuso
RC 488	367388	4187702	A6	Campofelice di Fitalia
RC 494	366776	4187826	A7	Campofelice di Fitalia
RC 495	367144	4188206	A3	Campofelice di Fitalia
RC 496	367116	4188207	D1	Campofelice di Fitalia
RC 505	366091	4188840	A7	Mezzojuso
RC 506	366151	4188840	A7	Mezzojuso
RC 519	366574	4195628	A7	Cefalà Diana
RC 522	366655	4195838	A10	Villafraati
RC 531	366862	4196132	A3	Villafraati
RC 532	366838	4196150	A3	Villafraati
RC 533	366866	4196170	A3	Villafraati

RC 534	366716	4196157	A7	Villafrati
RC 538	366708	4196259	D1	Villafrati
RC 541	367142	4196314	A3	Villafrati
RC 543	367186	4196678	D1	Villafrati
RC 545	366831	4196181	A3	Villafrati
RC 546	371671	4196256	A3	Ciminna
RC 547	371596	4196112	A7	Ciminna
RC 548	371616	4196086	A3	Ciminna
RC 549	371620	4196072	A7	Ciminna
RC 550	371551	4196136	A7	Ciminna
RC 551	371550	4196113	A7	Ciminna
RC 552	371549	4196092	A2	Ciminna
RC 553	371576	4196033	A2	Ciminna
RC 554	371590	4196020	A7	Ciminna
RC 555	371604	4195987	A7	Ciminna
RC 556	371609	4195965	A4	Ciminna
RC 557	371644	4196038	A7	Ciminna
RC 559	371744	4195936	A7	Ciminna
RC 561	371621	4195933	A7	Ciminna
RC 562	371635	4195879	A7	Ciminna
RC 563	371635	4195842	A7	Ciminna
RC 564	371618	4195819	A7	Ciminna
RC 565	371567	4195852	A7	Ciminna
RC 566	371480	4195940	A7	Ciminna
RC 567	371446	4195993	A3	Villafrati
RC 569	371389	4195895	A3	Villafrati
RC 571	371508	4195817	A7	Ciminna
RC 572	371539	4195817	A7	Ciminna
RC 574	371385	4195695	A2	Ciminna
RC 576	371398	4195684	A2	Ciminna
RC 577	371458	4195702	A7	Ciminna
RC 578	371463	4195672	A7	Ciminna

RC 579	371305	4195646	A7	Villafrati
RC 580	371332	4195631	A7	Ciminna
RC 581	371533	4195646	A2	Ciminna
RC 582	371506	4195613	A7	Ciminna
RC 584	371563	4195619	A7	Ciminna
RC 585	371569	4195597	A7	Ciminna
RC 586	371538	4195551	A4	Ciminna
RC 587	371534	4195551	A4	Ciminna
RC 588	371512	4195536	A3	Ciminna
RC 589	371475	4195552	D1	Ciminna
RC 590	371644	4195549	A7	Ciminna
RC 592	371562	4195542	A2	Ciminna
RC 593	371558	4195530	A2	Ciminna
RC 594	371552	4195513	A2	Ciminna
RC 595	371540	4195480	A3	Ciminna
RC 596	371588	4195482	A7	Ciminna
RC 597	371587	4195412	A7	Ciminna
RC 601	371467	4195432	A7	Ciminna
RC 603	371436	4195342	A7	Ciminna
RC 606	371470	4195222	A7	Ciminna
RC 607	372032	4195280	A7	Ciminna
RC 608	372016	4195253	A7	Ciminna
RC 609	371994	4195198	A7	Ciminna
RC 612	371984	4194992	A7	Ciminna
RC 614	371407	4195095	A7	Ciminna
RC 617	371508	4194967	A7	Ciminna
RC 621	371383	4194845	A7	Ciminna
RC 624	371439	4194788	A7	Ciminna
RC 626	371447	4194658	A7	Ciminna
RC 627	371469	4194629	A7	Ciminna
RC 629	371551	4194552	A7	Ciminna
RC 630	371658	4194480	A4	Ciminna

RC 632	371624	4194600	A7	Ciminna
RC 634	371838	4194493	A7	Ciminna
RC 635	371801	4194514	A7	Ciminna
RC 639	371771	4194552	A3	Ciminna
RC 640	371856	4194576	A7	Ciminna
RC 641	371724	4194614	A2	Ciminna
RC 645	371606	4194752	A7	Ciminna
RC 648	371659	4194751	A2	Ciminna
RC 649	371681	4194741	A3	Ciminna
RC 650	371700	4194737	A7	Ciminna
RC 653	371711	4194790	A7	Ciminna
RC 654	371784	4194725	A7	Ciminna
RC 655	371808	4194746	A3	Ciminna
RC 656	371827	4194752	A7	Ciminna
RC 657	371865	4194781	A7	Ciminna
RC 658	371914	4194784	A7	Ciminna
RC 659	371900	4194677	A4	Ciminna
RC 660	371937	4194638	A7	Ciminna
RC 661	371949	4194757	A7	Ciminna
RC 662	371910	4194831	A3	Ciminna
RC 665	371962	4194839	A7	Ciminna

## 6 MODELLO DI CALCOLO

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

L'analisi si basa necessariamente sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei potenziali recettori 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 recettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto (coordinate baricentriche del dominio di calcolo).

Nello specifico, nel presente studio, è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 5.0.1.2 (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno allo scopo di identificare i tempi in cui ogni aerogeneratore 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, come già osservato, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro apparente del disco solare 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 o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Come accennato sopra, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a 10 volte il diametro dell'aerogeneratore di progetto (1700 m) ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 3°. Tali assunzioni di input al modello risultano molto conservative in relazione a quanto espresso sopra in termini teorici in riferimento al fenomeno di shadow flickering.

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

Nello specifico, il worst case è caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

- Assenza di qualsiasi ostacolo naturale o artificiale (alberature, muri di cinta, edifici, ecc...), ad eccezione dell'orografia dell'area, frapposto tra i recettori e gli aerogeneratori, tale da limitare o eliminare completamente il fenomeno dello shadow flickering;
- Aerogeneratori sempre operativi;
- Presenza di sole durante tutto il periodo diurno dell'anno (assenza di nubi);
- Perpendicolarità tra il piano del rotore e la congiungente sole-recettore (worst case wind direction), ovvero l'aerogeneratore insegue il sole;
- Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà risultano estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (REAL CASE), si dovrebbe considerare il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno, e quello delle ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno. Per l'area in esame il valore medio di eliofania corrisponde a circa 2500 h/a<sup>1, 2</sup>, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 42,92 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2500/4380 = 57,08 \%$ , dove 4380 h sono le ore di luce annue teoriche.

In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce realisticamente, per l'area in esame, al 57,08 % del valore calcolato dal modello impiegato e 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 (considerando la condizione più penalizzante di rotore permanentemente in moto) possono essere ulteriormente abbattuti di una percentuale

---

<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.

corrispondente alle ore annue di effettivo funzionamento macchina rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h).

Per il parco eolico in esame le ore macchina sono stimate pari al 68,39% delle ore anno, ovvero circa 6764 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 77,21 % (pari circa al rapporto 6764/8760).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno presso i diversi recettori individuati) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto  $77,21 \% \times 57,08 \% = 44,07 \%$ , corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in rotazione (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità, ovvero **55,93%**.

## 7 RISULTATI

Al fine di verificare la presenza e l'intensità del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni con software dedicato che hanno tenuto conto:

- Della latitudine locale, allo scopo di considerare il corretto diagramma solare;
- Della geometria effettiva delle macchine previste, ed in particolare dell'altezza complessiva di macchina, intesa come somma tra l'altezza del mozzo ed il raggio del rotore;
- Dell'orientamento del rotore rispetto al recettore;
- Della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- Dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM) dell'area di installazione del parco;
- Della posizione dei possibili recettori (abitazioni), nonché degli aerogeneratori (layout di progetto).

Come sopra accennato, le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra i recettori individuati e gli aerogeneratori previsti in progetto.

Il programma effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul recettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (worst case) che poi può essere ridotta in considerazione delle giornate soleggiate, dell'operatività effettiva dell'impianto eolico, della direzione del vento ecc... Inoltre, avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si ottengono così i dati sinteticamente riportati nelle seguenti figure.

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 0,4-0,45 Hz (corrispondenti a 8 - 9 rpm, circa un passaggio ogni 2-2,5 secondi). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue.

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo descritta nelle sezioni precedenti:

Tabella 3: risultati del calcolo, in rosso i recettori con più di 30 ore/anno nel caso real case

Recettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Caso "realistico"	Categoria catastale
	[giorni/anno]	[ore/anno]	[ore/anno]	[min/giorno]	
RC 2	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 3	76	72.4	31.9	25.2	A7
RC 5	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 7	23	10.7	4.7	12.3	A7
RC 9	26	9.8	4.3	10.0	A3
RC 11	23	8.7	3.8	10.0	A7
RC 12	22	8.3	3.7	10.0	A7
RC 14	72	71.3	31.4	26.2	A7
RC 15	46	29.7	13.1	17.1	A7
RC 17	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 18	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 19	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 20	78	32.0	14.1	10.8	A4
RC 23	70	26.0	11.5	9.8	A3
RC 24	105	69.9	30.8	17.6	A4
RC 30	173	283.2	124.8	43.3	A4
RC 31	169	110.5	48.7	17.3	A7
RC 34	76	29.2	12.9	10.2	A4
RC 44	133	150.0	66.1	29.8	A7
RC 45	161	116.7	51.4	19.2	A7
RC 66	29	5.2	2.3	4.7	A4
RC 99	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 106	194	178.2	78.5	24.3	A4
RC 109	209	324.1	142.8	41.0	A4
RC 111	133	123.3	54.3	24.5	A7
RC 124	204	200.0	88.1	25.9	A7
RC 125	76	58.8	25.9	20.5	A4
RC 126	77	51.2	22.6	17.6	A3
RC 127	68	47.2	20.8	18.4	A4
RC 129	253	236.5	104.2	24.7	A7
RC 134	130	141.3	62.3	28.7	A7
RC 138	254	433.6	191.1	45.1	A4
RC 143	101	61.9	27.3	16.2	A4
RC 149	117	69.0	30.4	15.6	A4
RC 150	140	74.4	32.8	14.1	A7
RC 151	109	60.6	26.7	14.7	A4

RC 152	105	57.6	25.4	14.5	A7
RC 153	0	0.0	0.0	0.0	A4
RC 154	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 159	90	54.0	23.8	15.9	A7
RC 165	166	173.5	76.5	27.6	A4
RC 166	166	175.0	77.1	27.9	A4
RC 168	86	39.7	17.5	12.2	A2
RC 169	176	232.8	102.6	35.0	A7
RC 170	204	202.0	89.0	26.2	A7
RC 176	0	0.0	0.0	0.0	A4
RC 179	144	113.7	50.1	20.9	A7
RC 185	105	54.1	23.8	13.6	A4
RC 190	160	76.1	33.5	12.6	A7
RC 201	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 205	190	166.4	73.3	23.2	A4
RC 250	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 254	0	0.0	0.0	0.0	D1
RC 256	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 260	80	58.9	26.0	19.5	D1
RC 261	131	125.0	55.1	25.2	A4
RC 262	110	136.5	60.2	32.8	A7
RC 265	50	17.1	7.5	9.0	A7
RC 266	52	29.5	13.0	15.0	A7
RC 267	53	29.6	13.0	14.8	A7
RC 268	54	30.7	13.5	15.0	A7
RC 269	53	30.3	13.4	15.1	A7
RC 270	51	29.4	13.0	15.2	A7
RC 271	51	28.0	12.3	14.5	A7
RC 272	50	27.6	12.2	14.6	A2
RC 273	50	27.7	12.2	14.6	A7
RC 274	86	41.4	18.2	12.7	A7
RC 275	52	27.6	12.2	14.0	A7
RC 279	15	4.0	1.8	7.1	A7
RC 280	34	15.0	6.6	11.7	A7
RC 339	51	22.1	9.7	11.5	A7
RC 340	92	58.9	26.0	16.9	A7
RC 341	92	54.7	24.1	15.7	A7
RC 343	88	51.2	22.6	15.4	A7
RC 344	69	31.4	13.8	12.0	A7

RC 346	25	1.7	0.7	1.8	A4
RC 347	35	2.9	1.3	2.2	A7
RC 348	22	4.0	1.8	4.8	A7
RC 352	16	2.3	1.0	3.8	A7
RC 353	12	1.4	0.6	3.1	A7
RC 354	12	2.0	0.9	4.4	A7
RC 356	12	2.4	1.1	5.3	A7
RC 358	30	11.5	5.1	10.1	A7
RC 359	12	2.9	1.3	6.4	A7
RC 361	10	2.6	1.1	6.9	A3
RC 363	10	2.4	1.1	6.3	A10
RC 364	11	2.7	1.2	6.5	D1
RC 369	8	2.3	1.0	7.6	A7
RC 370	8	2.2	1.0	7.3	A7
RC 371	8	2.4	1.1	7.9	A7
RC 372	8	2.5	1.1	8.3	A4
RC 374	16	5.4	2.4	8.9	A4
RC 375	14	4.2	1.9	7.9	A7
RC 376	12	3.9	1.7	8.6	A3
RC 379	10	2.6	1.1	6.9	A2
RC 380	10	2.8	1.2	7.4	A2
RC 381	10	2.7	1.2	7.1	A3
RC 382	10	2.9	1.3	7.7	A3
RC 383	10	2.8	1.2	7.4	A3
RC 384	10	2.9	1.3	7.7	A2
RC 385	10	3.0	1.3	7.9	A4
RC 386	11	3.1	1.4	7.5	A3
RC 387	10	3.0	1.3	7.9	A3
RC 388	11	3.0	1.3	7.2	A2
RC 389	11	3.2	1.4	7.7	A4
RC 390	11	3.1	1.4	7.5	A4
RC 392	12	3.0	1.3	6.6	A7
RC 393	11	3.2	1.4	7.7	A2
RC 394	12	3.4	1.5	7.5	A7
RC 395	14	4.2	1.9	7.9	A4
RC 397	13	3.9	1.7	7.9	A2
RC 399	25	6.7	3.0	7.1	A2
RC 400	28	8.6	3.8	8.1	A3
RC 401	21	6.7	3.0	8.4	A7

RC 403	32	11.1	4.9	9.2	A4
RC 404	36	12.0	5.3	8.8	A7
RC 406	37	12.7	5.6	9.1	A4
RC 407	46	15.3	6.7	8.8	A4
RC 410	52	23.6	10.4	12.0	A7
RC 411	35	11.8	5.2	8.9	A7
RC 414	42	13.6	6.0	8.6	A4
RC 415	44	14.4	6.3	8.7	A3
RC 417	53	17.2	7.6	8.6	A7
RC 421	35	11.7	5.2	8.8	A3
RC 422	82	47.3	20.8	15.3	A7
RC 423	78	41.0	18.1	13.9	A7
RC 424	87	46.5	20.5	14.1	A7
RC 427	28	6.3	2.8	5.9	A7
RC 430	53	20.5	9.0	10.2	A7
RC 434	34	11.3	5.0	8.8	A4
RC 439	34	11.2	4.9	8.7	A7
RC 440	39	12.9	5.7	8.7	A4
RC 450	12	1.9	0.8	4.2	A4
RC 451	45	11.0	4.8	6.5	A7
RC 454	99	38.2	16.8	10.2	A6
RC 463	88	37.9	16.7	11.4	A6
RC 467	87	37.0	16.3	11.2	A6
RC 470	89	37.5	16.5	11.1	A6
RC 472	93	40.1	17.7	11.4	A6
RC 473	94	40.9	18.0	11.5	A6
RC 477	121	54.6	24.1	11.9	A3
RC 480	82	32.1	14.1	10.4	A3
RC 482	46	17.3	7.6	9.9	A3
RC 488	102	45.3	20.0	11.7	A6
RC 494	40	16.3	7.2	10.8	A7
RC 495	0	0.0	0.0	0.0	A3
RC 496	0	0.0	0.0	0.0	D1
RC 505	57	16.4	7.2	7.6	A7
RC 506	84	24.7	10.9	7.8	A7
RC 519	12	2.2	1.0	4.8	A7
RC 522	11	2.6	1.1	6.2	A10
RC 531	11	3.1	1.4	7.5	A3
RC 532	12	3.4	1.5	7.5	A3

RC 533	12	4.0	1.8	8.8	A3
RC 534	12	3.4	1.5	7.5	A7
RC 538	16	4.2	1.9	6.9	D1
RC 541	24	8.5	3.7	9.4	A3
RC 543	48	18.8	8.3	10.4	D1
RC 545	14	4.2	1.9	7.9	A3
RC 546	0	0.0	0.0	0.0	A3
RC 547	47	11.2	4.9	6.3	A7
RC 548	23	4.3	1.9	4.9	A3
RC 549	20	3.4	1.5	4.5	A7
RC 550	62	24.7	10.9	10.5	A7
RC 551	66	26.8	11.8	10.7	A7
RC 552	70	26.8	11.8	10.1	A2
RC 553	34	8.4	3.7	6.5	A2
RC 554	35	9.1	4.0	6.9	A7
RC 555	36	10.8	4.8	7.9	A7
RC 556	36	10.7	4.7	7.9	A4
RC 557	19	3.5	1.5	4.9	A7
RC 559	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 561	26	6.7	3.0	6.8	A7
RC 562	18	4.2	1.9	6.2	A7
RC 563	18	4.6	2.0	6.8	A7
RC 564	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 565	41	15.2	6.7	9.8	A7
RC 566	91	33.9	14.9	9.9	A7
RC 567	78	35.4	15.6	12.0	A3
RC 569	92	39.9	17.6	11.5	A3
RC 571	41	15.5	6.8	10.0	A7
RC 572	35	12.4	5.5	9.4	A7
RC 574	36	14.4	6.3	10.6	A2
RC 576	32	12.7	5.6	10.5	A2
RC 577	36	14.5	6.4	10.7	A7
RC 578	40	17.4	7.7	11.5	A7
RC 579	19	5.9	2.6	8.2	A7
RC 580	34	14.7	6.5	11.4	A7
RC 581	37	15.5	6.8	11.1	A2
RC 582	40	17.1	7.5	11.3	A7
RC 584	33	13.8	6.1	11.1	A7
RC 585	34	14.5	6.4	11.3	A7

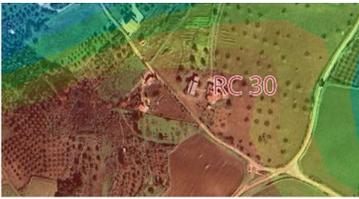
RC 586	32	14.0	6.2	11.6	A4
RC 587	32	14.0	6.2	11.6	A4
RC 588	30	12.7	5.6	11.2	A3
RC 589	32	13.6	6.0	11.2	D1
RC 590	24	9.5	4.2	10.5	A7
RC 592	32	13.1	5.8	10.8	A2
RC 593	30	12.3	5.4	10.8	A2
RC 594	27	10.9	4.8	10.7	A2
RC 595	22	9.3	4.1	11.2	A3
RC 596	23	9.4	4.1	10.8	A7
RC 597	4	0.6	0.3	4.0	A7
RC 601	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 603	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 606	32	15.1	6.7	12.5	A7
RC 607	28	9.9	4.4	9.3	A7
RC 608	29	10.1	4.5	9.2	A7
RC 609	31	10.9	4.8	9.3	A7
RC 612	37	12.8	5.6	9.1	A7
RC 614	45	22.5	9.9	13.2	A7
RC 617	54	24.5	10.8	12.0	A7
RC 621	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 624	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 626	38	12.8	5.6	8.9	A7
RC 627	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 629	0	0.0	0.0	0.0	A7
RC 630	8	0.5	0.2	1.7	A4
RC 632	48	18.8	8.3	10.4	A7
RC 634	58	21.3	9.4	9.7	A7
RC 635	56	22.0	9.7	10.4	A7
RC 639	60	24.8	10.9	10.9	A3
RC 640	74	30.7	13.5	11.0	A7
RC 641	68	29.5	13.0	11.5	A2
RC 645	36	3.7	1.6	2.7	A7
RC 648	64	20.3	8.9	8.4	A2
RC 649	70	23.9	10.5	9.0	A3
RC 650	74	26.4	11.6	9.4	A7
RC 653	61	22.0	9.7	9.5	A7
RC 654	70	23.5	10.4	8.9	A7
RC 655	60	21.1	9.3	9.3	A3

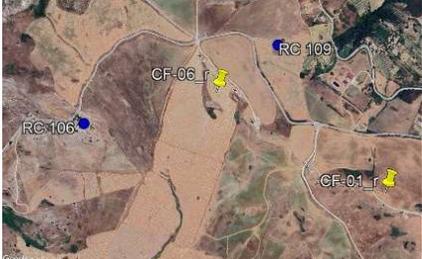
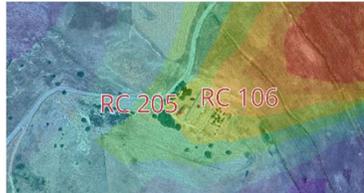
RC 656	58	20.5	9.0	9.3	A7
RC 657	52	18.7	8.2	9.5	A7
RC 658	50	17.5	7.7	9.3	A7
RC 659	64	20.3	8.9	8.4	A4
RC 660	72	21.9	9.7	8.0	A7
RC 661	48	16.9	7.4	9.3	A7
RC 662	46	16.5	7.3	9.5	A3
RC 665	43	14.9	6.6	9.2	A7

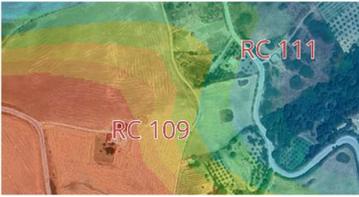
Nello specifico, la tabella precedente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, 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 fatto che il piano di rotazione delle pale non sempre risulta ortogonale alla direttrice sole-recettore e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole ed il singolo recettore.

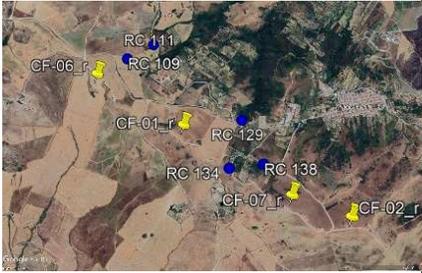
Dall'analisi della tabella si evince che, considerando il real case, dei recettori all'interno del buffer di 1700 m dagli aerogeneratori, venticinque fabbricati adibiti ad abitazione risultano essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno e solo cinque di essi supera un numero di minuti giorno pari a 30. Il dettaglio dei fabbricati considerati nella presente analisi è riportato nella tavola grafica allegata alla presente relazione.

Tabella 4: inquadramento su ortofoto e su carta dello shadow flickering dei recettori

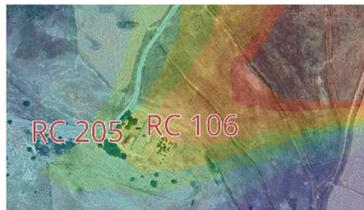
Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (worst case) <b>Legenda:</b> <table border="1" data-bbox="1096 373 1427 575"> <thead> <tr> <th colspan="2">Shadow Flickering (worst case)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-30 ore</td></tr> <tr><td>30-60 ore</td></tr> <tr><td>60-90 ore</td></tr> <tr><td>90-120 ore</td></tr> <tr><td>120-150 ore</td></tr> <tr><td>150-180 ore</td></tr> <tr><td>180-210 ore</td></tr> <tr><td>210-240 ore</td></tr> <tr><td>&gt;240 ore</td></tr> </tbody> </table>	Shadow Flickering (worst case)		0-30 ore	30-60 ore	60-90 ore	90-120 ore	120-150 ore	150-180 ore	180-210 ore	210-240 ore	>240 ore
Shadow Flickering (worst case)														
0-30 ore														
30-60 ore														
60-90 ore														
90-120 ore														
120-150 ore														
150-180 ore														
180-210 ore														
210-240 ore														
>240 ore														
RC 3		VF-04_r a circa 440m												
RC 14		VF-04_r a circa 420m												
RC 24		VF-04_r a circa 390m VF-03_r a circa 1630m												
RC 30		VF-04_r a circa 310m VF-03_r a circa 1380m												

Recettore	Inquadratura recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadratura su carta dello Shadow Flickering (worst case)</p> <p><b>Legenda:</b></p> <p>Shadow Flickering (worst case)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0-30 ore</li> <li>30-60 ore</li> <li>60-90 ore</li> <li>90-120 ore</li> <li>120-150 ore</li> <li>150-180 ore</li> <li>180-210 ore</li> <li>210-240 ore</li> <li>&gt;240 ore</li> </ul>
RC 31		VF-04_r a circa 325m VF-01_r a circa 570m VF-03_r a circa 1670m	
RC 44		VF-04_r a circa 605m VF-03_r a circa 1210m	
RC 45		VF-04_r a circa 635m VF-03_r a circa 1090m	
RC 106		CF-06_r a circa 515m CF-01_r a circa 1155m	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<b>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (worst case)</b>  <b>Legenda:</b> Shadow Flickering (worst case) 0-30 ore 30-60 ore 60-90 ore 90-120 ore 120-150 ore 150-180 ore 180-210 ore 210-240 ore >240 ore
RC 109		CF-06_r a circa 290m CF-01_r a circa 675m	
RC 111		CF-06_r a circa 505m	
RC 124		CF-01_r a circa 445m CF-06_r a circa 930m CF-02_r a circa 1270m	
RC 129		CF-01_r a circa 450m CF-07_r a circa 670m CF-02_r a circa 1020m CF-06_r a circa 1097m	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (worst case)  <b>Legenda:</b> Shadow Flickering (worst case) 0-30 ore 30-60 ore 60-90 ore 90-120 ore 120-150 ore 150-180 ore 180-210 ore 210-240 ore >240 ore
RC 134		CF-07_r a circa 480m CF-02_r a circa 890m	
RC 138		CF-07_r a circa 320m CF-01_r a circa 625m CF-02_r a circa 700m CF-06_r a circa 1345m	
RC 149		CF-01_r a circa 730m CF-06_r a circa 1350m	
RC 150		CF-01_r a circa 740m CF-02_r a circa 840m CF-06_r a circa 1380m	

Recettore	Inquadratura recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadratura su carta dello Shadow Flickering (worst case) <b>Legenda:</b> Shadow Flickering (worst case) <table border="1" data-bbox="1094 331 1427 533"> <tr><td>0-30 ore</td></tr> <tr><td>30-60 ore</td></tr> <tr><td>60-90 ore</td></tr> <tr><td>90-120 ore</td></tr> <tr><td>120-150 ore</td></tr> <tr><td>150-180 ore</td></tr> <tr><td>180-210 ore</td></tr> <tr><td>210-240 ore</td></tr> <tr><td>&gt;240 ore</td></tr> </table>	0-30 ore	30-60 ore	60-90 ore	90-120 ore	120-150 ore	150-180 ore	180-210 ore	210-240 ore	>240 ore
0-30 ore												
30-60 ore												
60-90 ore												
90-120 ore												
120-150 ore												
150-180 ore												
180-210 ore												
210-240 ore												
>240 ore												
RC 165		VF-03_r a circa 755m VF-01_r a circa 800m VF-04_r a circa 865m VF-02_r a circa 1570m										
RC 166		VF-03_r a circa 750m VF-01_r a circa 800m VF-04_r a circa 870m VF-02_r a circa 1565m										
RC 169		VF-03_r a circa 600m VF-01_r a circa 835m VF-04_r a circa 975m VF-02_r a circa 1415m										
RC 170		VF-03_r a circa 580m VF-01_r a circa 715m VF-04_r a circa 905m VF-02_r a circa 1420m										

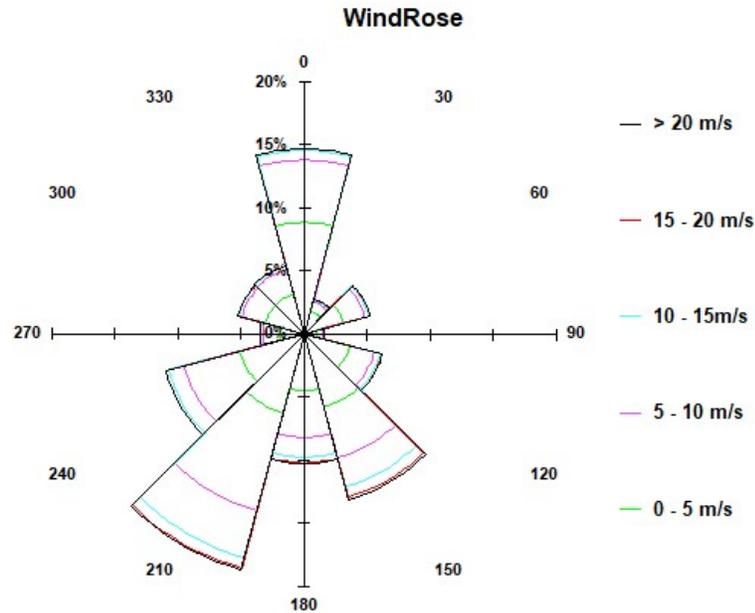
Recettore	Inquadratura recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadratura su carta dello Shadow Flickering (worst case)</p> <p><b>Legenda:</b></p> <p>Shadow Flickering (worst case)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0-30 ore</li> <li>30-60 ore</li> <li>60-90 ore</li> <li>90-120 ore</li> <li>120-150 ore</li> <li>150-180 ore</li> <li>180-210 ore</li> <li>210-240 ore</li> <li>&gt;240 ore</li> </ul>
RC 179		CF-01_r a circa 610m CF-06_r a circa 945m	
RC 190		CF-05_r a circa 840m CF-04_r a circa 1200m CF-03_r a circa 1630m	
RC 205		CF-06_r a circa 540m CF-01_r a circa 1180m	
RC 261		VF-02_r a circa 630m VF-03_r a circa 1470m	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<b>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (worst case)</b>  <b>Legenda:</b> Shadow Flickering (worst case) 0-30 ore 30-60 ore 60-90 ore 90-120 ore 120-150 ore 150-180 ore 180-210 ore 210-240 ore >240 ore
RC 262		VF-02_r a circa 525m VF-03_r a circa 1365m	

L'effetto si può considerare ulteriormente ridotto, sulla base della seguente considerazione.

Se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (figura successiva) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto si evince che i risultati sopra riportati possono essere ridotti, per i recettori più esposti, ovvero posizionati lungo la direttrice prevalente del vento, di almeno un ulteriore 65,97%, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere quella sud ovest (19,36% circa) e quella nord (14,67% circa). Alla luce di ciò, l'effetto si riduce ulteriormente diventando assolutamente trascurabile. Tuttavia, gli edifici adibiti ad abitazione RC 30, RC 109, RC 129, RC 138, RC 169 e RC 170 risultano essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore annue:

- **RC 30:** 42,5 h/anno, 14,7 min/giorno;
- **RC 109:** 48,6 h/anno, 14,0 min/giorno;
- **RC 129:** 35,5 h/anno, 8,4 min/giorno;
- **RC 138:** 65,0 h/anno, 15,4 min/giorno;
- **RC 169:** 34,9 h/anno, 11,9 min/giorno;
- **RC 170:** 30,3 h/anno, 8,9 min/giorno.



**Figura 7-1: Frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica di Marineo**

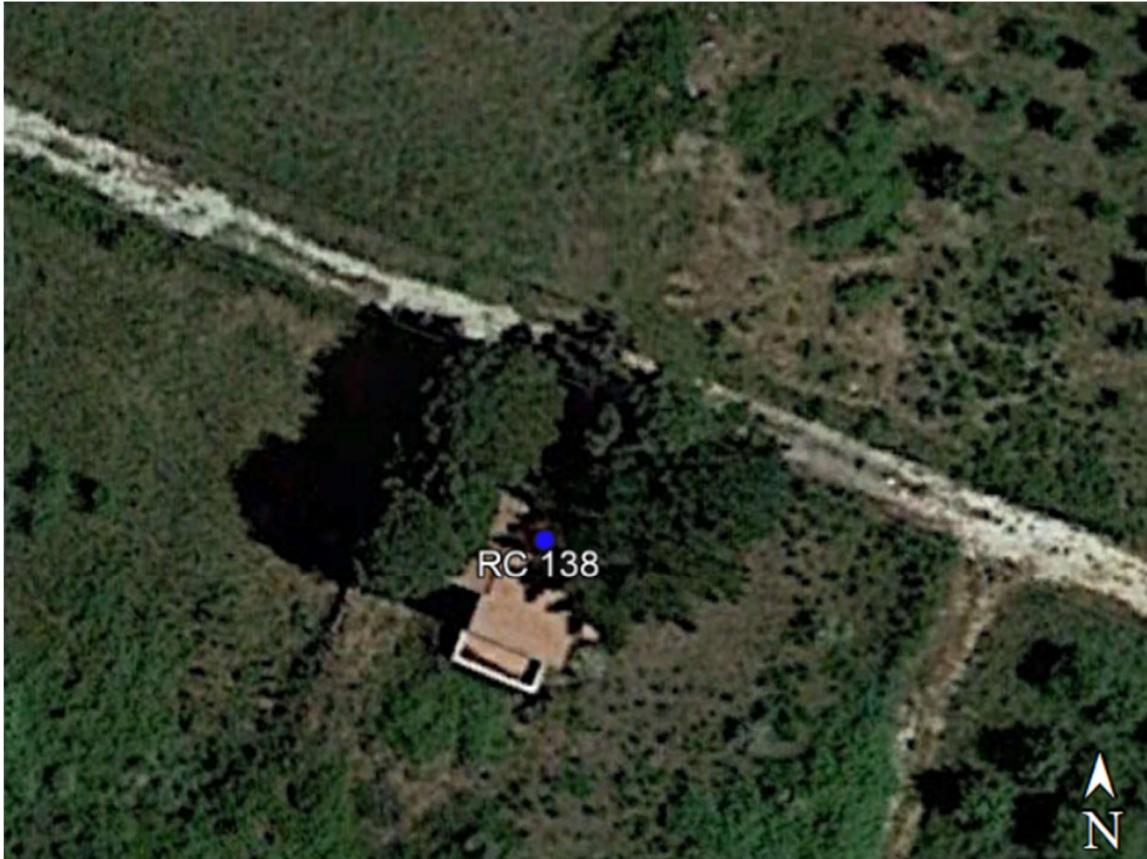
A seguito di quanto descritto nelle sezioni precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa in quanto non si è tenuto conto dell'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e i recettori considerati, il fenomeno dello shadow flickering si verifica per oltre 30 ore l'anno in corrispondenza di soli 6 recettori (RC 30, RC 109, RC 129, RC 138, RC 169 e RC 170), incidendo in maniera molto limitata e poco significativa, in quanto il valore atteso massimo è risultato di poco superiore alle 30 ore l'anno per tutti i casi, ad eccezione dei recettori, RC 109 e RC 138.

Il fabbricato RC 109 (mostrato in Figura 7-2) è caratterizzato da un numero ridotto di finestre rivolte verso gli aerogeneratori. Nel caso venisse registrato effettivo disturbo verrà effettuata comunque una piantumazione di alberature per schermare il fabbricato e ridurre l'effetto.



**Figura 7-2: Foto del recettore 109 da rilevamenti in sito**

Per quanto riguarda il recettore RC 138, si può notare da ortofoto (Figura 7-3) che esso è circondato, nelle direzioni più soggette al fenomeno (Nord-Ovest e Sud-Est), da alberi che fungono da ostacolo alla diffusione dello shadow flickering, limitandone così l'influenza reale.



**Figura 7-3: Inquadramento del recettore RC 138** Inoltre, si rammenta che si tratta di fenomeni:

- Limitati nello spazio, in quanto relativi solo ad un edificio;
- Episodici durante l'anno e localizzati all'alba o al tramonto;
- Di breve durata nel corso della giornata, in quanto l'edificio è interessato solo per un breve periodo;
- Limitati come intensità, dal momento che la luce del sole, in condizioni di alba o tramonto, risulta di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo shadow flickering.

Va altresì sottolineato che:

- La velocità di rotazione dell'aerogeneratore di progetto è dell'ordine di 8/9 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.

Le distanze reciproche tra generatori eolici e recettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame. In aggiunta, il fenomeno si manifesta su un numero limitatissimo di recettori esclusivamente quando il sole

presenta un'altezza inferiore ai  $20^\circ$  sull'orizzonte, pertanto può ritenersi trascurabile, per l'elevata intensità della radiazione diffusa rispetto a quella diretta.

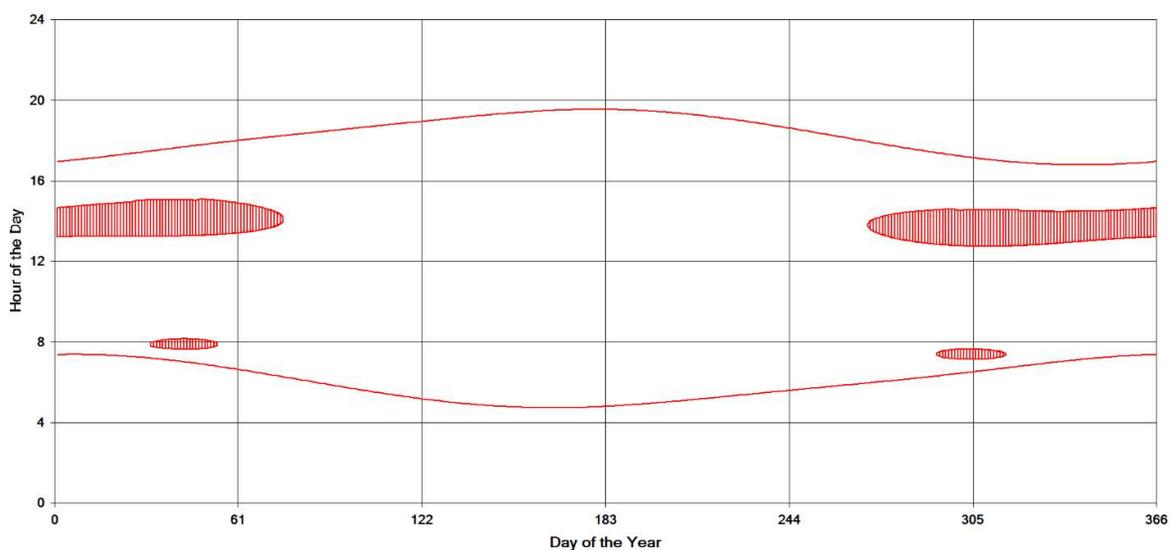
## 8 ALLEGATI

Il dettaglio dei fabbricati considerati nella presente analisi è riportato nella tavola grafica (worst case) allegata alla presente relazione.

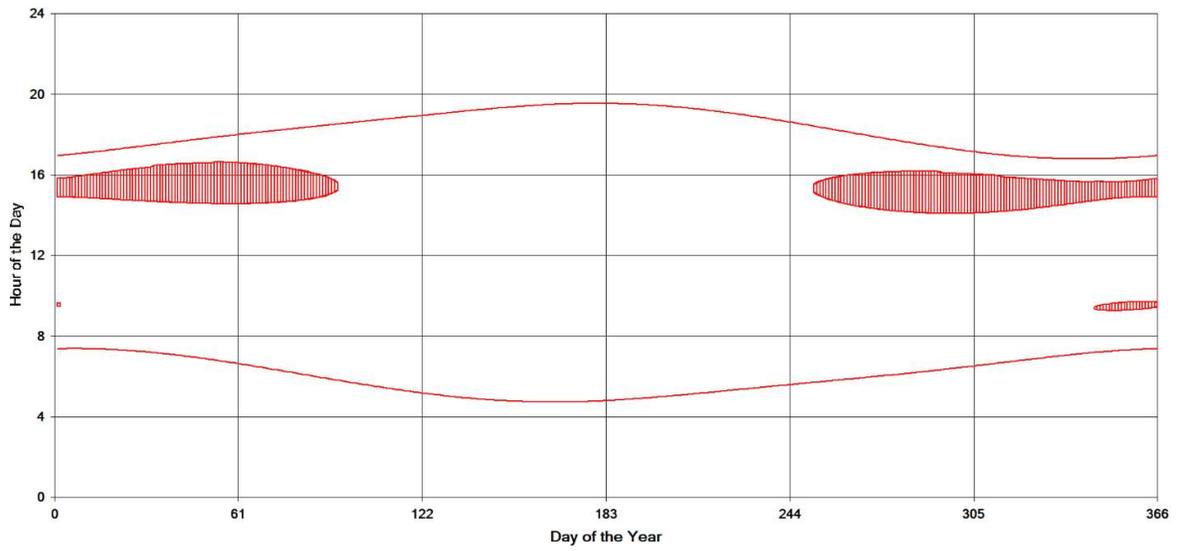
Inoltre, vengono allegati i calendari worst case di shadow-flickering dei recettori RC 30, RC 109, RC 129, RC 138, RC 169 e RC 170.

### 8.1 Calendari di shadow flickering

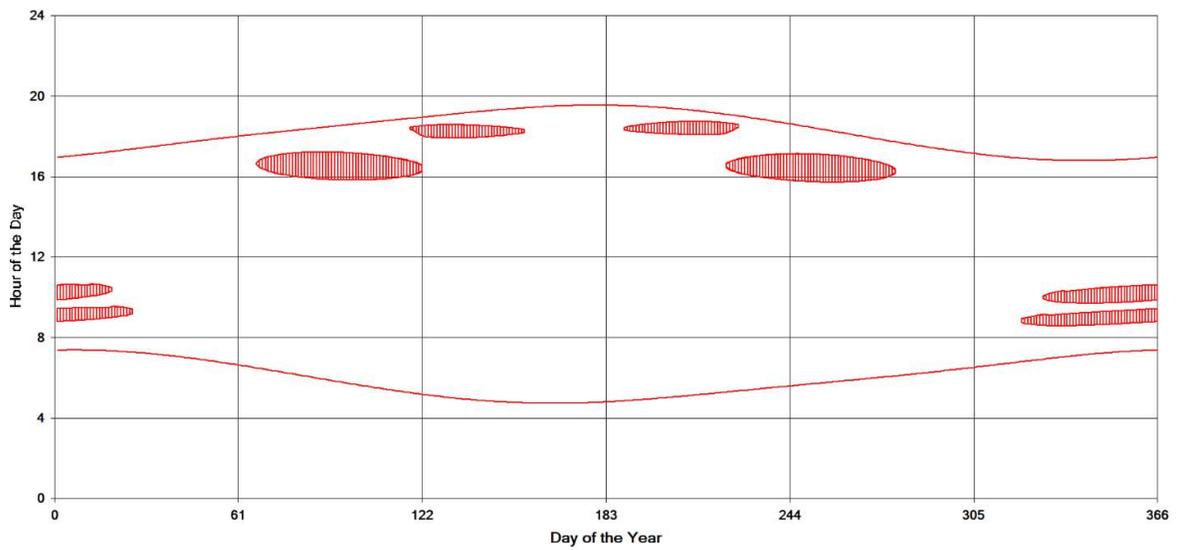
#### 8.1.1 Recettore RC 30



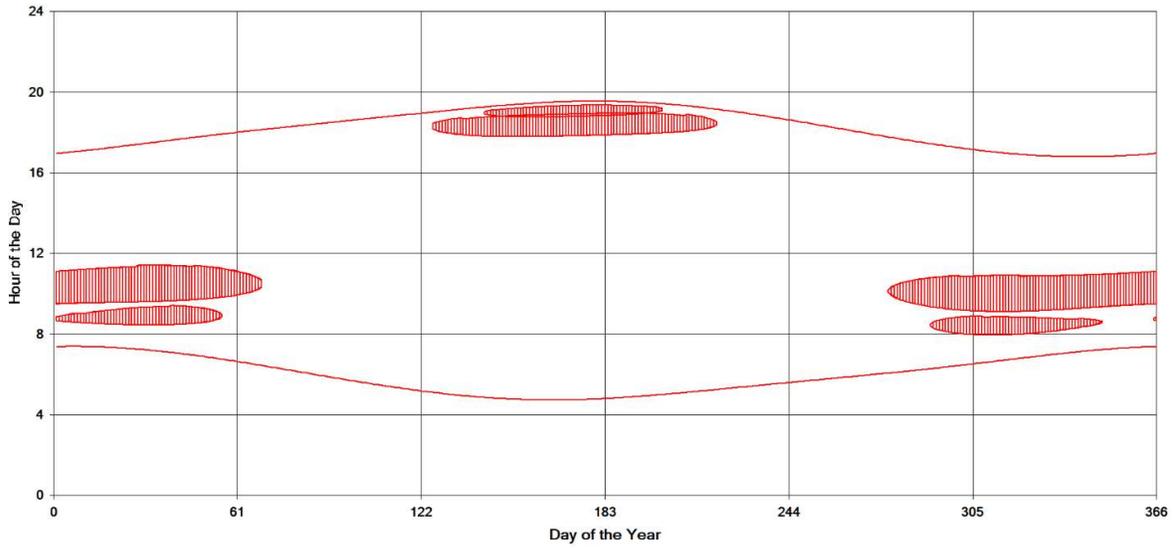
### 8.1.2 Recettore RC 109



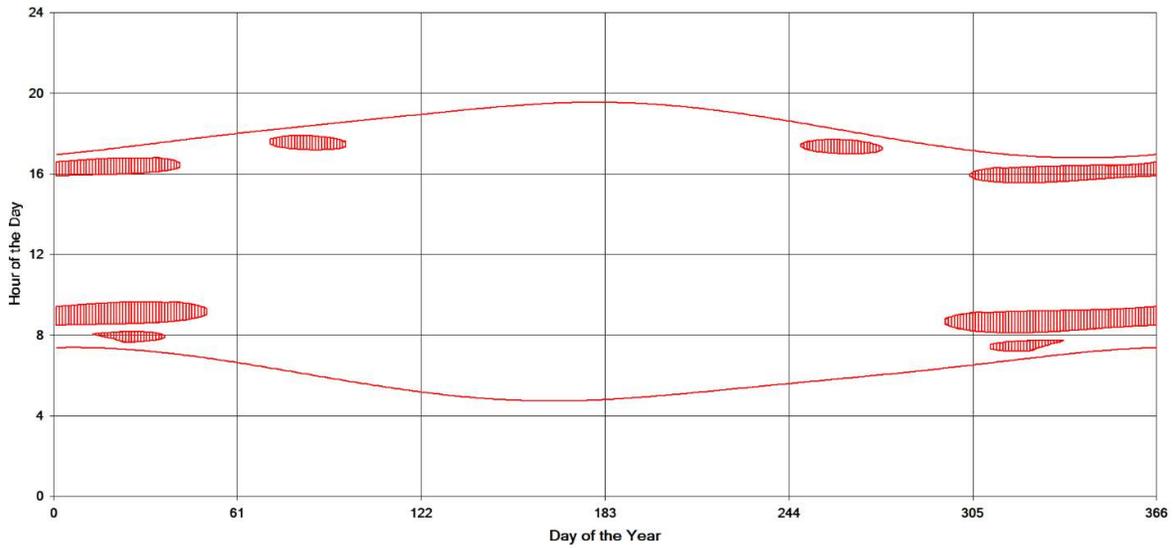
### 8.1.3 Recettore RC 129



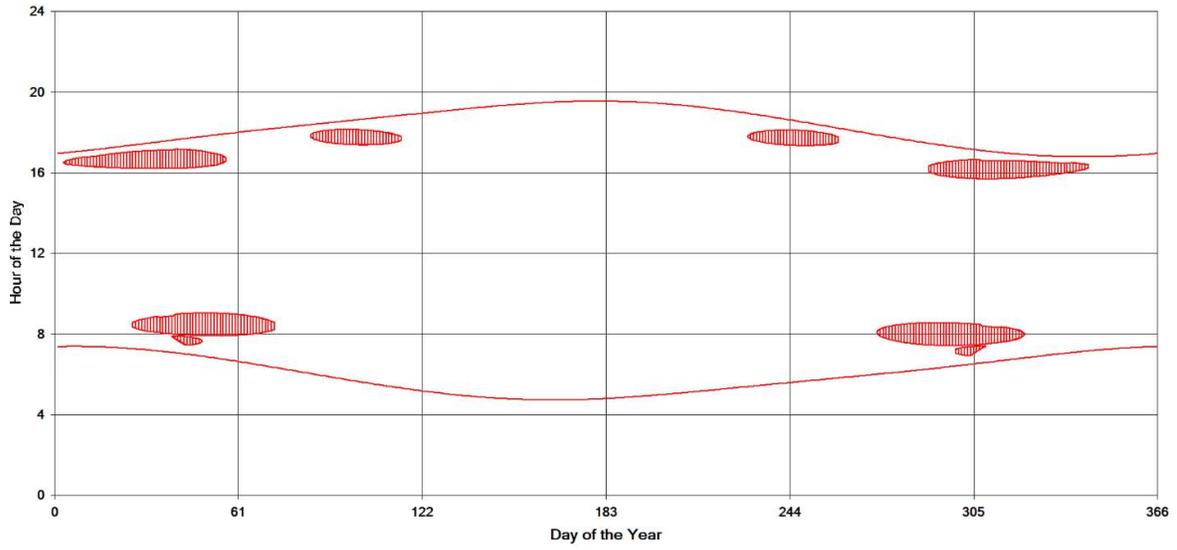
### 8.1.4 Recettore RC 138

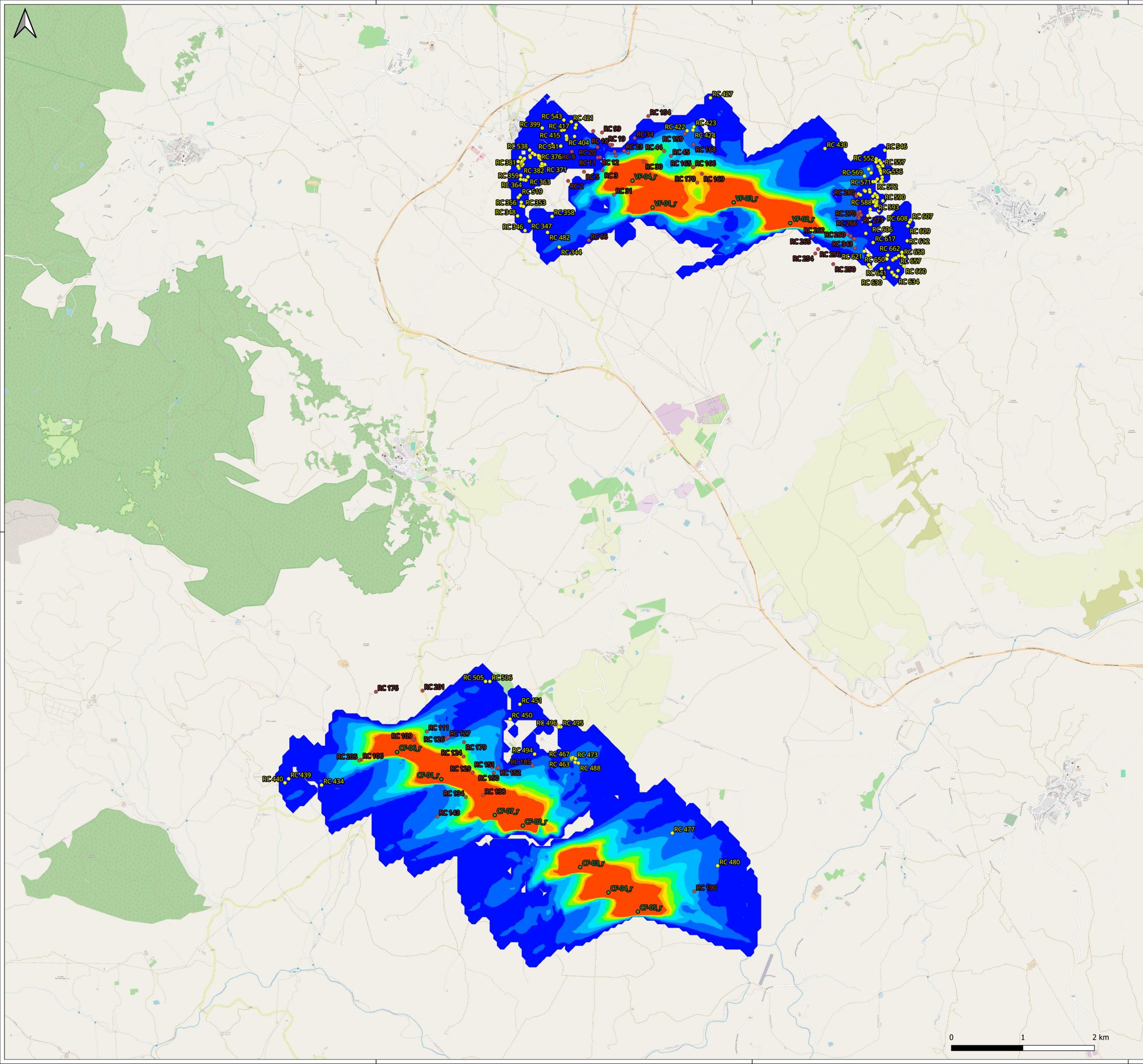


### 8.1.5 Recettore RC 169



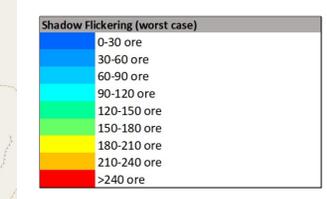
### 8.1.6 Recettore RC 170





**LEGENDA**

- Aerogeneratori - stato di progetto
- Recettori sensibili - entro 1000 m
- Recettori sensibili - da 1000 m a 1700 m



## INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL' IMPIANTO EOLICO VRG-040

Oggetto

040-54 - Tavola sugli effetti shadow-flickering

**Proponente:**

VRGwind040

VRG Wind 040 S.r.l.  
Via Algardi n.4. MILANO (MI)

**Progettista:**

**Stantec**

Stantec S.p.A.  
Centro Direzionale Milano 2  
Palazzo Canova - 20090  
Segrate  
(Milano)  
Tel: +39 02 94757420  
www.stantec.com

03	INTEGRAZIONI VOLONTARIE	L. Di Matteo	M. Carnevale	P. Palmelli	14/05/2024
02	INTEGRAZIONI VOLONTARIE	L. Di Matteo	M. Carnevale	P. Palmelli	19/04/2024
01	INTEGRAZIONI COMMENTI	M. Carnevale	M. Carnevale	P. Palmelli	05/08/2022
Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato	Data

Fase del Progetto: Definitiva

Formato: A1

Scala: 1:25000

