



REGIONE SICILIA



PROVINCIA DI TRAPANI



COMUNE DI MAZARA DEL VALLO



COMUNE DI SANTA NINFA



COMUNE DI SALEMI

Proponente	Geremo S.r.l.				
Progettista:	SeaWindPower			Partnered by:	
Progettazione	Ing. Francesco Desiderio Lanzalaco Via A. Ognibene n. 10 92013 - Menfi (AG) <i>Ordine degli ingegneri della Provincia di Palermo n. 4488</i> seawindpower@pec.it		Studio Botanico Faunistico e Agronomico	Dott. For. Giuseppe D'Angelo Corso Umberto I n. 140 90010 - Gratteri (PA) g.dangelo@conafpec.it	
SIA PMA	Ing. Francesco Desiderio Lanzalaco Via A. Ognibene n. 107 92013 - Menfi (AG) seawindpower@pec.it		V.I. ARCH.	Dott. Sebastiano Muratore Via G. P. Giraldi n. 16 90123 - Palermo (PA) mutatore@pec.paropos.com	
Studio Idraulico	Ing. Dario Tricoli Via Carlo Pisacane n. 25/F 88100 - Catanzaro (CZ) ruwa@pec.ruwa.it		Studio Geologico Geofisico ed Idrogeologico	Dott. Leonardo Mauceri Via Olanda n. 15 92010 - Montevago (AG) geologomauceri@epap.sicurezza postale.it	
Studio impatto acustico	Ing. Maurizio V. Salvo Via Cavour n. 28 91025 - Marsala (TP) mediacom srl@gigapec.it		Studio preliminare strutture	Ing. Gaspare La Porta Via Rosario n. 44 92015 - Raffadali (AG) gaspare.la.porta@ingpec.eu	
Opera	Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato <i>Anemos</i>				
Oggetto	Codice elaborato interno - Titolo elaborato: ANMSS0R09-00 – CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI				
00	20/01/2023	Emissione per progetto definitivo	Ing. F.D. Lanzalaco	Ing. A. Letizia	Geremo s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

*Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos*

INDICE

1. Introduzione.....	3
2. Aspetti normativi per il calcolo dello Shadow Flickering.....	3
3. Modello di calcolo	4
4. Risultati.....	5
4.1. Recettori	5
4.2. Recettori sensibili	7
5. Analisi dei risultati e approfondimenti.....	14
5.1. Recettore sensibile: RS2	15
5.2. Recettore sensibile: RS3	15
6. Conclusioni.....	16

1. Introduzione

Lo shadow flickering è l'espressione utilizzata per descrivere il fenomeno dell'ombreggiamento intermittente provocato dalla rotazione delle pale ai danni di eventuali recettori presenti nelle vicinanze.

Il passaggio delle pale davanti al disco solare provoca una variazione alternativa dell'intensità luminosa che, a lungo andare, può arrecare fastidio ai recettori sensibili esposti al fenomeno; in particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5Hz ed i 20Hz (Verkujlen and Westra,1984).

A tal proposito è utile sottolineare che l'aerogeneratore tripala Vestas V163 oggetto dello studio presenta una velocità di rotazione nominale di circa 11 *giri/min*, corrispondente ad una frequenza di passaggio della pala sulla verticale di circa 0,55 *Hz*, quindi inferiore alla frequenza critica dei 2,5 *Hz*.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno dalle abitazioni, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestre rivolte verso le ombre.

In generale si può affermare che:

- Avendo le pale una forma rastremata con spessore che cresce in vicinanza del 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 ricettore determinano ombre meno nette, in tal caso l'effetto risulterà meno intenso e distinto.
- La presenza di schermature locali (come alberi interposti tra il recettore e la sorgente d'ombra) favorisce una diminuzione dell'effetto.

Il calcolo del potenziale periodo di ombreggiamento consiste nel determinare, attraverso software specifici, *le ore di intermittenza annue* cui ciascun recettore è sottoposto. Queste informazioni possono essere utilizzate per progettare e gestire la centrale eolica in modo da ridurre al minimo il disturbo causato alle persone.

L'analisi dello studio dell'ombreggiamento ha lo scopo di ridurre al minimo il disturbo causato dalle turbine ai recettori sensibili e consente di fornire al sistema di controllo degli impianti la data e le ore nel quale lo shadow flickering si manifesta, così da poter fermare gli stessi in caso di necessità.

2. Aspetti normativi per il calcolo dello Shadow Flickering

La normativa della regione Sicilia (ed europea in generale) risulta carente in materia di calcolo dell'ombreggiamento provocato dalle turbine eoliche.

Al momento solo la Germania ha emesso dettagliate linee guida dettagliate sui limiti e condizioni per il calcolo dell'impatto dell'ombreggiamento intermittente, le quali si trovano nel documento "*Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen*" (*WEA-Shattenwurf-Hinweise*).

Secondo le direttive tedesche, il limite di ombra è delimitato da due fattori:

- L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento deve essere pari a 3°;
- La pala della turbina eolica deve coprire almeno il 20% del disco solare.

Sono inoltre definiti anche i valori limiti espressi in ore/anno di ombreggiamento presso un recettore prossimo ad un impianto eolico:

- Massimo 30 ore/anno di massima ombra astronomica.
- Massimo 30 min/giorno di massima ombra astronomica.

Le ore del giorno in cui l'impatto dell'ombra è critico e la definizione del recettore d'ombra sono regolati meno rigidamente dalle normative, e vanno regolati caso per caso.

Ad esempio, una fabbrica o un edificio con uffici non verrebbero interessati se l'ombreggiamento avvenisse prima o dopo l'orario di lavoro; altresì, per abitazioni private, potrebbero essere accettabile subire l'ombreggiamento in orari nei quali gli abitanti sono fuori casa per lavoro.

È inoltre talvolta discutibile se l'ombreggiamento vada calcolato per una finestra, per l'intera facciata della casa o per l'intera proprietà.

Essendo la norma in questo campo carente o addirittura assente, andrà valutato attentamente caso per caso.

3. Modello di calcolo

Il modello di calcolo utilizzato per lo studio dell'ombreggiamento intermittente delle turbine del campo eolico "Anemos" è il modulo SHADOW del software WindPRO.

I calcoli effettuati sono basati sullo scenario peggiore, ovvero con cielo mai coperto e turbine sempre in funzione, valutando quindi il massimo impatto possibile.

Il software necessita per il calcolo delle seguenti informazioni:

- Posizione degli impianti.
- Altezza del mozzo e diametro del rotore.
- Posizione dei ricettori.
- Dimensione della finestra e orientamento.
- Latitudine, longitudine e fuso orario della zona.

Per valutare la propagazione dell'ombra inoltre il software utilizza i seguenti parametri:

- Diametro del sole, D : 1.390.000 *km*
- Distanza dal sole, d : 150.000.000 *km*
- Angolo d'attacco: 0,531°

Teoricamente questi parametri, per un rotore di 45 m di diametri, condurrebbero ad un ombreggiamento fino a 4,8 *km* di distanza; nella realtà però vanno considerate anche le caratteristiche ottiche dell'atmosfera, che dissipa le ombre prima che queste raggiungano il suolo (o il recettore) quando sono molto lunghe.

Il software WindPRO utilizza di default quanto indicato nelle linee guida tedesche, ovvero una distanza massima di 2 *km* oppure quella alla quale si ha una copertura del disco solare pari al 20% (viene scelta la distanza minore tra le due) ed un angolo minimo di 3° sopra l'orizzonte.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

4. Risultati

Come accennato nei paragrafi precedenti, il calcolo dell'ombreggiamento è effettuato utilizzando condizioni al contorno semplificate, le quali comportano una situazione quanto più peggiorativa possibile rispetto al caso reale (worst-case). In particolare:

- Il cielo è considerato sempre chiaro e limpido, e quindi non si considerano nubi, nebbia o qualsiasi ostacolo;
- Le turbine sono sempre in rotazione;
- L'asse del rotore è sempre orientato in direzione del recettore;
- Non sono considerati eventuali ostacoli (ad esempio gli alberi).

Inoltre, per la simulazione, ogni singolo recettore viene considerato in modalità "green house", ovvero tutte le finestre degli edifici sono perpendicolari agli impianti che influiscono sullo shadow flickering.

Si riporta nella seguente immagine l'area di influenza dello shadow flickering calcolata per l'intero campo eolico:

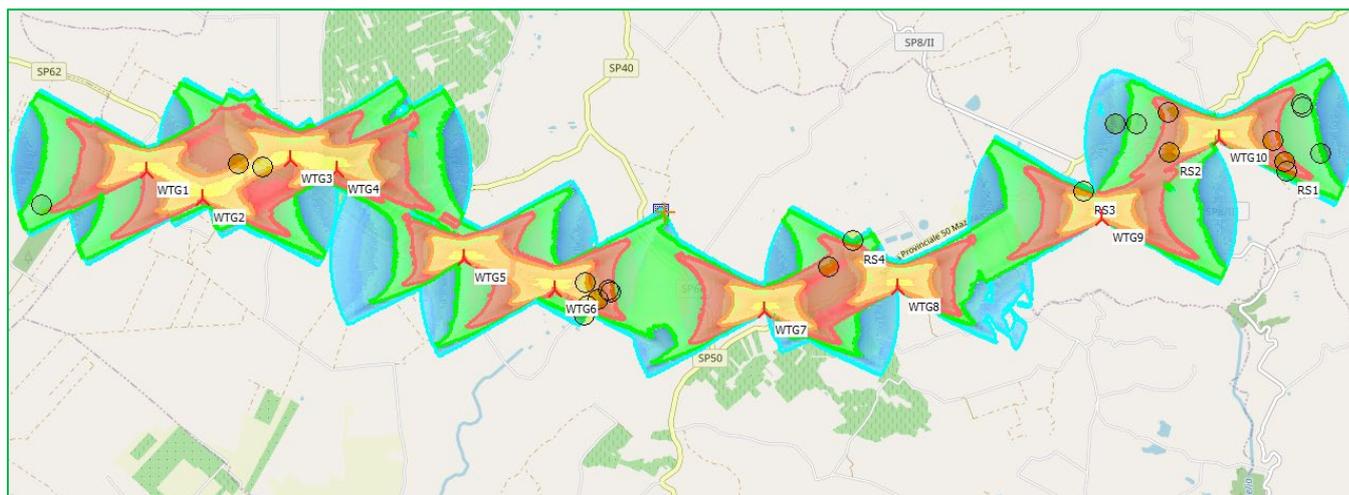


Figura 1 Area del campo eolico sottoposta all'ombreggiamento intermittente

4.1. Recettori

All'interno dell'area sono stati individuati i seguenti possibili recettori:

id	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	Sensibilità
1	Salemi	163	156	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
2	Salemi	163	154	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
3	Salemi	163	155	A03 - Abitazioni di tipo economico C02 - Magazzini e locali di deposito	No
4	Salemi	163	153	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
RS1	Salemi	165	134	A04 - Abitazioni di tipo popolare	Si

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

*Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos*

5	Salemi	165	138	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
6	Salemi	155	267	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
7	Salemi	155	303	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
8	Salemi	155	304	A03 - Abitazioni di tipo economico	No
RS2	Salemi	167	318	A04 - Abitazioni di tipo popolare	Si
9	Salemi	167	350	C02 - Magazzini e locali di deposito	No
RS3	Salemi	167	327	A04 - Abitazioni di tipo popolare C02 - Magazzini e locali di deposito	Si
10	Mazara del Vallo	53	192	D07 - Fabbricati costruiti o adattati per le speciali esigenze di un'attività industriale e non suscettibili di destinazione diversa senza radicali trasformazioni	No
RS4	Mazara del Vallo	52	119	A04 - Abitazioni di tipo popolare C02 - Magazzini e locali di deposito C06 - Stalle, scuderie, rimesse, autorimesse	Si
11	Mazara del Vallo	51	115	Non censito catastalmente come fabbricato	No
12	Mazara del Vallo	66	223	Non censito catastalmente come fabbricato	No
13	Mazara del Vallo	66	934	F02 - Unità collabenti	No
14	Mazara del Vallo	66	197	Non censito catastalmente come fabbricato	No
15	Mazara del Vallo	66	902	F02 - Unità collabenti	No
16	Mazara del Vallo	66	886	F02 - Unità collabenti	No
17	Mazara del Vallo	66	928	F02 - Unità collabenti	No
18	Mazara del Vallo	66	221	Non censito catastalmente come fabbricato	No
19	Mazara del Vallo	27	50	A03 - Abitazioni di tipo economico	No

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

				D10 - Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole.	
20	Mazara del Vallo	25	429	C02 - Magazzini e locali di deposito F02 - Unità collabenti	No
21	Marsala	323	300	C02 - Magazzini e locali di deposito	No

Tabella 1 - lista dei recettori individuati all'interno dell'area di interesse

Di tutti i recettori individuati, gli unici che risultano "sensibili" sono i recettori RS1, RS2, RS3 e RS4.

4.2. Recettori sensibili

Recettore sensibile RS1, comune di Salemi, foglio 165, particella 134, destinazione d'uso A04 – abitazioni di tipo popolare, C02, magazzini e locali di deposito.

- Coordinate: LAT: 37,761973°; LON: 12,765799°.
- Distanza dall'impianto ombreggiante: 1100 metri.

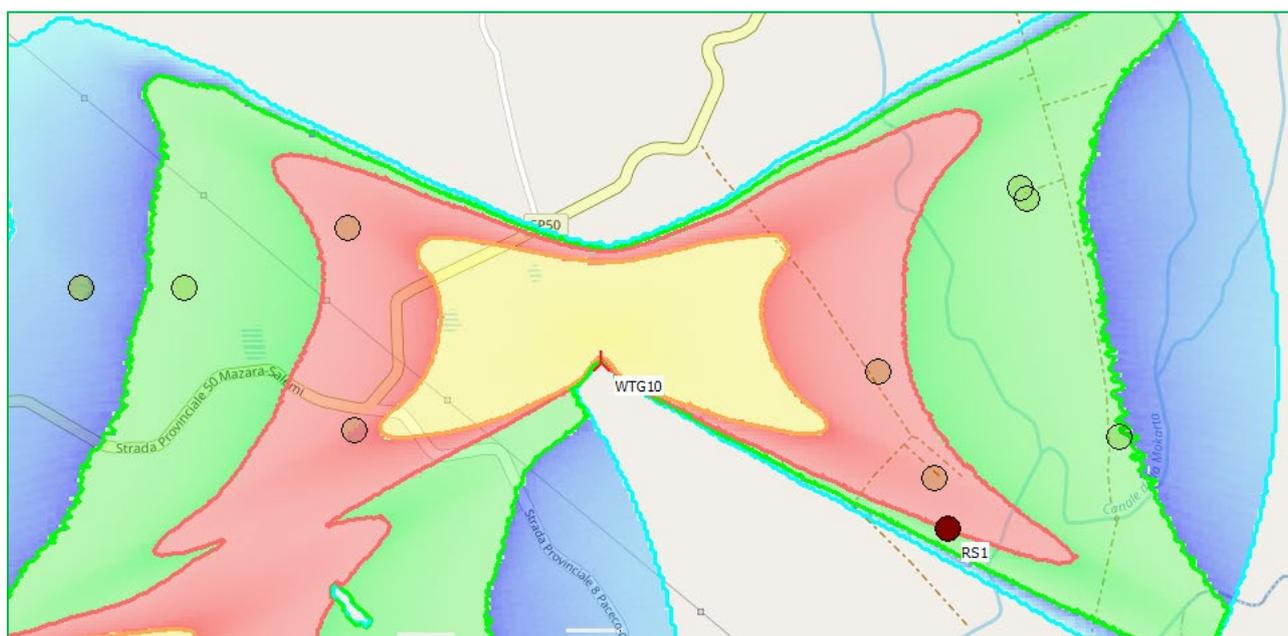


Figura 2 - posizione recettore sensibile RS1 all'interno dell'area di ombreggiamento intermittente dell'impianto WTG10

Il recettore, nelle condizioni di worst case, è sottoposto al seguente ombreggiamento intermittente da parte dell'impianto WTG10:

- Ore di ombreggiamento annue: 30:03 *ore/anno*
- Giorni dell'anno nel quale avviene almeno un minuto di ombreggiamento intermittente: 61 *giorni/anno*.
- Massimo tempo di ombreggiamento giornaliero: 00:36 *ore/giorno*.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

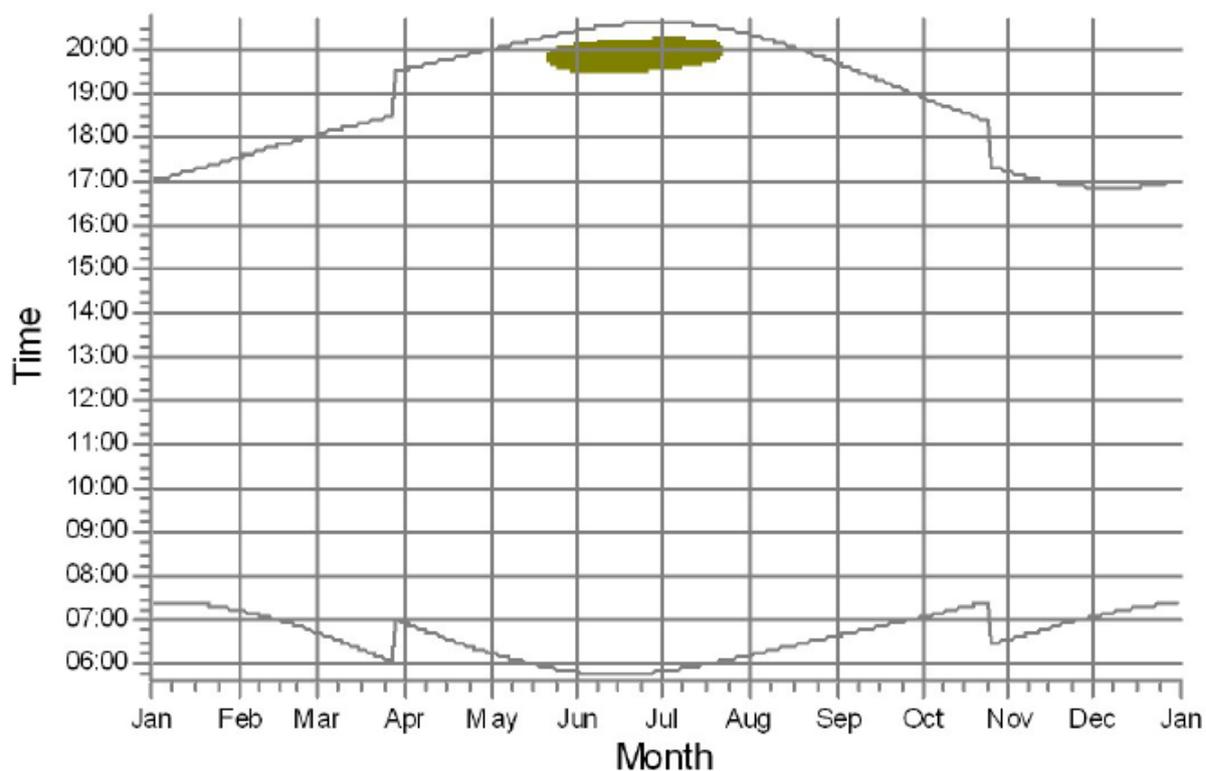


Figura 3 - giorni o orario nei quali può avvenire l'ombreggiamento sul recettore RS1

Il periodo nel quale si ha almeno un minuto al giorno di ombreggiamento intermittente va da fine maggio e meta luglio, tra le 19:30 e le 20:15.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

Recettore sensibile RS2, comune di Salemi, foglio 167, particella 318, destinazione d'uso A04 – abitazioni di tipo popolare.

Coordinate: LAT: 37,764473°; LON: 12,746791°.

Distanza dall'impianto ombreggiante: 700 metri circa

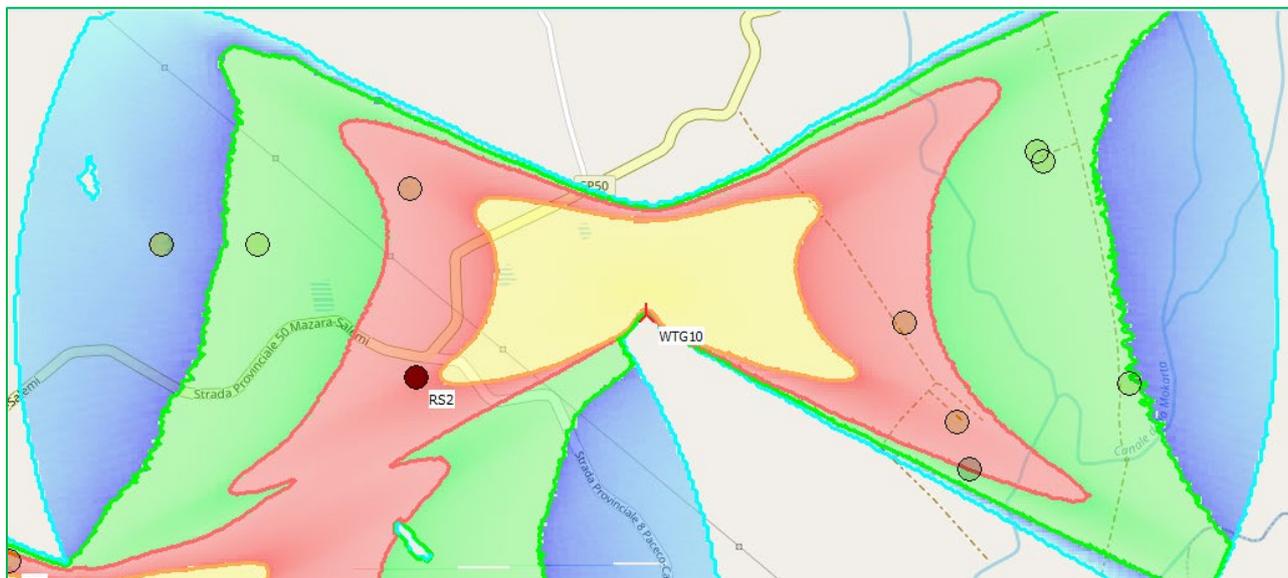


Figura 4 - posizione recettore sensibile RS2 all'interno dell'area di ombreggiamento intermittente dell'impianto WTG10

Il recettore, nelle condizioni di worst case, è sottoposto al seguente ombreggiamento intermittente da parte dell'impianto WTG10:

- Ore di ombreggiamento annue: 79: 39 *ore/anno*
- Giorni dell'anno nel quale avviene almeno un minuto di ombreggiamento intermittente: 128 *giorni/anno*.
- Massimo tempo di ombreggiamento giornaliero: 00: 54 *ore/giorno*.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

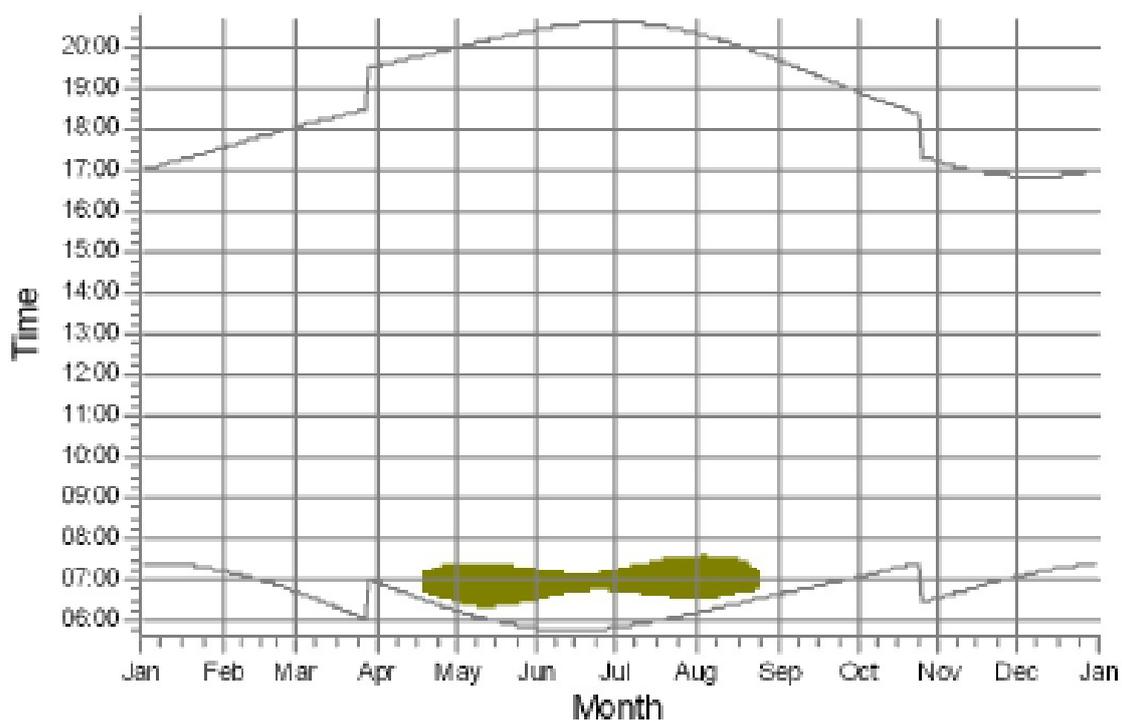


Figura 5 - giorni o orario nei quali può avvenire l'ombreggiamento sul recettore RS2

Il periodo nel quale si ha almeno un minuto al giorno di ombreggiamento intermittente va da metà aprile a meta agosto, dalle 6:30 e le 7:30.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

Recettore sensibile RS3, comune di Salemi, foglio 167, particella 327, destinazione d'uso A04 – abitazioni di tipo popolare.

Coordinate: LAT: 37,759437°; LON: 12,732796°.

Distanza dall'impianto ombreggiante: circa 460 metri



Figura 6 - posizione recettore sensibile RS3 all'interno dell'area di ombreggiamento intermittente dell'impianto WTG9

Il recettore, nelle condizioni di worst case, è sottoposto al seguente ombreggiamento intermittente da parte dell'impianto WTG10:

- Ore di ombreggiamento annue: 59: 44 *ore/anno*
- Giorni dell'anno nel quale avviene almeno un minuto di ombreggiamento intermittente: 64 *giorni/anno*.
- Massimo tempo di ombreggiamento giornaliero: 1: 10 *ore/giorno*.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

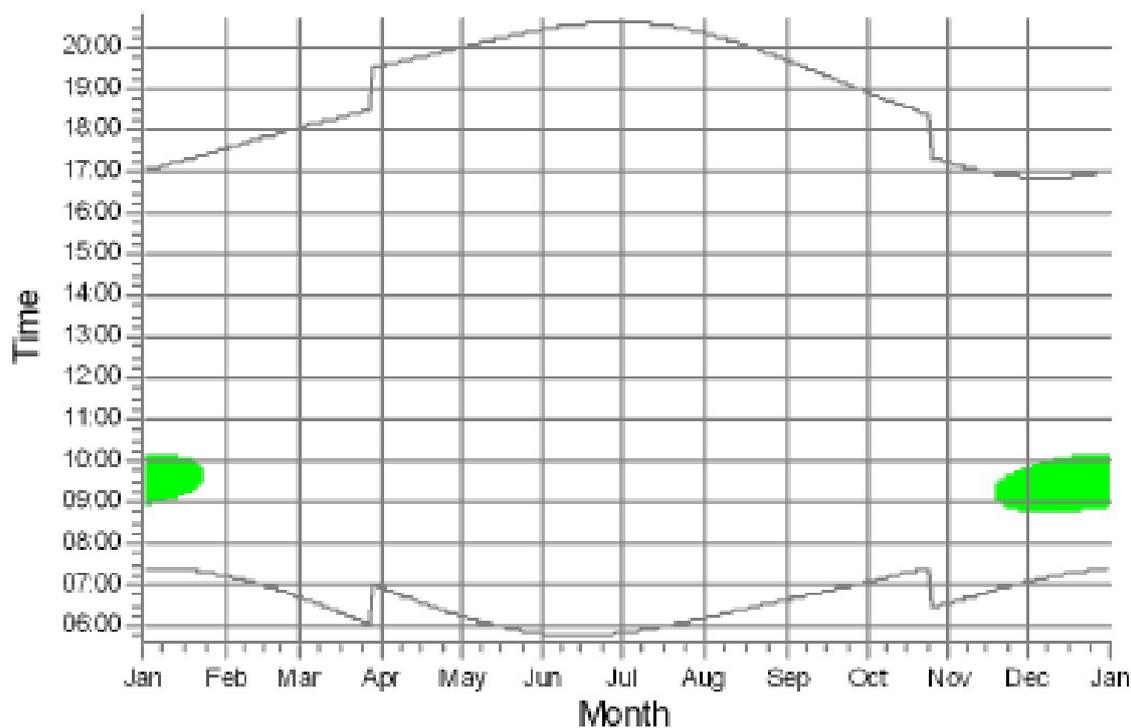


Figura 7 - giorni o orario nei quali può avvenire l'ombreggiamento sul recettore RS2

Il periodo nel quale si ha almeno un minuto al giorno di ombreggiamento intermittente va da fine novembre a meta gennaio, dalle le 9:00 alle 10:00 circa.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

Recettore sensibile RS4, comune di Mazara del Vallo, foglio 52, particella 119, destinazione d'uso A04 – abitazioni di tipo popolare, C02 - Magazzini e locali di deposito, C06 - Stalle, scuderie, rimesse, autorimesse

Coordinate: LAT: 37,753130°; LON: 12,695376°.

Distanza dall'impianto ombreggiante: 1600 metri.



Figura 8 - posizione recettore sensibile RS3 all'interno dell'area di ombreggiamento intermittente dell'impianto WTG7

Il recettore, nelle condizioni di worst case, è sottoposto al seguente ombreggiamento intermittente da parte dell'impianto WTG7:

- Ore di ombreggiamento annue: 1: 17 *ore/anno*
- Giorni dell'anno nel quale avviene almeno un minuto di ombreggiamento intermittente: 12 *giorni/anno*.
- Massimo tempo di ombreggiamento giornaliero: 0: 08 *ore/giorno*.

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

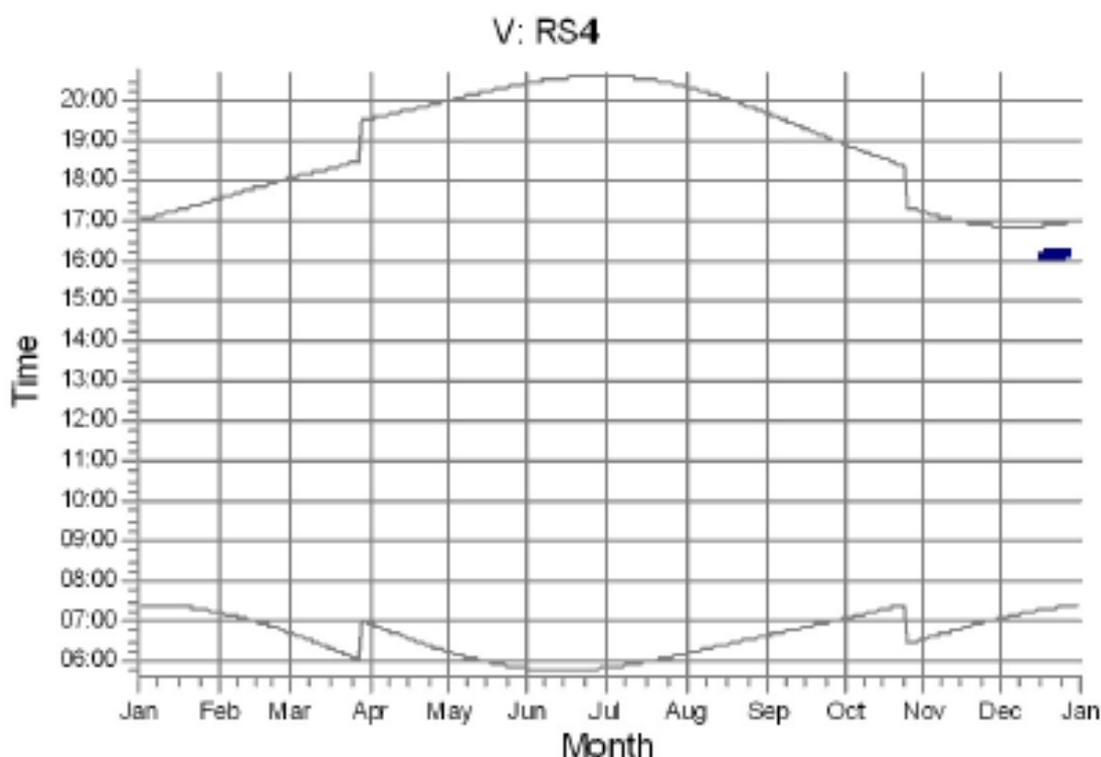


Figura 9 - giorni o orario nei quali può avvenire l'ombreggiamento sul recettore RS4

Si registrano alcuni giorni di ombreggiamento intermittente nella seconda metà di dicembre, contenuti nella fascia oraria 16:00 – 16:30.

5. Analisi dei risultati e approfondimenti

Dei quattro recettori sensibili analizzati, RS1 e RS4, anche nell'ipotesi di worst case, non presentano problematiche di ombreggiamento intermittente.

Per quanto riguarda invece i recettori RS2 e RS3 i risultati restituiti dal worst case impongono un'analisi più approfondita.

Per un'analisi più approfondita saranno mantenute tutte le condizioni utilizzate nel worst case eccetto:

- Il cielo considerato sempre chiaro e limpido

Sono utilizzati a tal proposito i dati della stazione meteorologica dell'aeroporto di Birgi, in provincia di Trapani, dai quali si ricava per ogni mese, le ore giornaliere di cielo limpido e sereno:

Monthly sunshine probabilities												
Station from database: [TRAPANI/BIRGI] <input type="button" value="Select"/>												
Manual input of <input type="text" value="S (Average daily sunshine hours)"/>												
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
4,19	5,03	5,88	7,20	8,84	10,13	10,81	10,16	8,18	6,48	5,21	3,91	

Figura 10 - medie delle ore giornaliere di cielo limpido e sereno per ogni mese

CALCOLO SHADOW FLICKERING DEGLI ELEMENTI ROTANTI

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse
nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato Anemos

- L'asse del rotore sempre in direzione del recettore sensibile

L'asse del rotore è direzionato a seconda della direzione del vento, che varia durante il funzionamento della macchina. Le probabilità di direzione di provenienza del vento sono state ricavate dal database AWS truepower e caricate all'interno del software WindPRO.

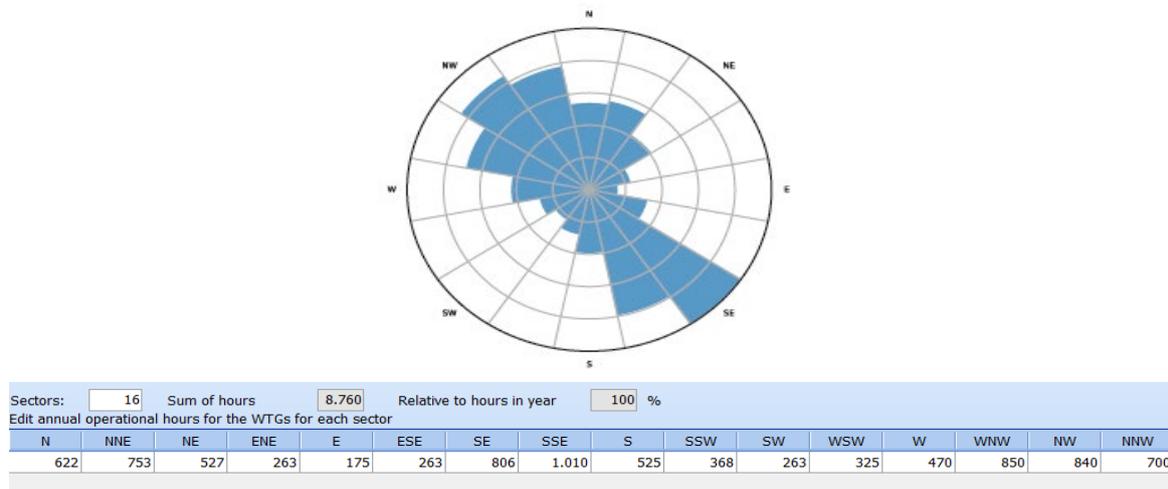


Figura 11 - rosa delle direzioni prevalenti di provenienza del vento

Rimangono quindi, anche in questo caso, le seguenti ipotesi conservative:

- Le turbine sono sempre in rotazione;
- Non sono considerati eventuali ostacoli (ad esempio gli alberi)
- I recettori sono in modalità "green house", ovvero le finestre sono sempre perpendicolari all'impianto ombreggiante

5.1. Recettore sensibile: RS2

Applicando le ipotesi precedentemente elencate al recettore RS2, si ha una drastica riduzione delle ore di ombreggiamento annue, da 79:39 a **31: 06 ore/anno**.

Come nel caso del worst case, l'ombreggiamento avviene tra fine aprile e fine agosto, tra le 6:30 e le 7:30.

5.2. Recettore sensibile: RS3

Applicando le ipotesi precedentemente elencate al recettore RS3, si ha anche in questo caso una drastica riduzione delle ore di ombreggiamento annue, da 59:44 a **18: 36 ore/anno**.

Come nel caso del worst case, l'ombreggiamento avviene tra fine novembre e metà gennaio, tra le 9:00 e le 10:00.

6. Conclusioni

Analizzando i recettori con condizioni al contorno più realistiche rispetto al worst case, ma comunque peggiorative rispetto al caso reale, si è ottenuta per entrambe una notevole diminuzione delle ore di ombreggiamento annue.

Lo shadow flickering sul recettore *RS2* risulta minimo, in quanto limitato a non più di 30 ore/anno e localizzato in una fascia oraria mattutina, che potrebbe arrecare disturbo ai residenti.

Tuttavia la posizione reciproca tra impianto e recettore si trova lungo una direttrice diversa dalle direzioni prevalenti di provenienza del vento, il che implica che molto difficilmente l'asse del rotore sarà orientato in direzione del recettore, rendendo molto remota la possibilità che avvenga effettivamente l'ombreggiamento.

Sul recettore *RS3* risulta un numero di ore annue ancora più ridotto, e in una fascia oraria che non dovrebbe arrecare disturbo ai residenti. Inoltre, dalla vista satellitare dell'edificio, non risultano pareti (e quindi finestre) perpendicolari all'asse del rotore, quindi nel caso reale si avrà un ombreggiamento ancora più ridotto.

Nonostante sia necessario comunque tenere in considerazione la presenza di questi due recettori, non si prevedono particolari disagi causati dallo shadow flickering.