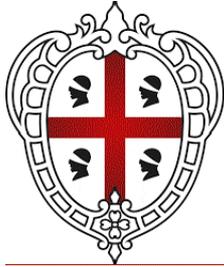


PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO E  
DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN  
POTENZA NOMINALE 78 MW

REGIONE  
SARDEGNA



PROVINCIA  
di SASSARI



COMUNE di  
SASSARI



Località "Crabileddu"

Scala:

Formato Stampa:

-

A4

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

A8

*Effetti di Shadow-Flickering*

Progettazione:



**R.S.V. Design Studio S.r.l.**  
Piazza Carmine, 5 | 84077 Torre Orsaia (SA)  
P.IVA 05885970656  
Tel./fax: +39 0974 985490 | e-mail: info@rsv-ds.it

Committenza:



**PLANET SARDINIA 1 S.r.l.**  
Via del Gallitello, 89  
85100 Potenza (PZ)  
P.IVA 02134270764

Responsabili Progetto:

Ing. Vassalli  
Quirino



Ing. Speranza  
Carmine Antonio



Catalogazione Elaborato

ITW\_SSR\_A8\_RELAZIONE SUGLI EFFETTI DI SHADOW-FLICKERING.pdf

ITW\_SSR\_A8\_RELAZIONE SUGLI EFFETTI DI SHADOW-FLICKERING.doc

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Maggio 2022	Prima emissione	LC	QV/IAS	RSV

## SOMMARIO

<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b> A  INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b> B  NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b> C  IL PROGETTO</b> .....	<b>4</b>
<b>I. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PROGETTUALE</b> .....	<b>4</b>
<b>II. RICETTORI INTERESSATI</b> .....	<b>5</b>
<b> D  ANALISI DELL'OMBRA SU STRADA</b> .....	<b>6</b>
<b> E  ANALISI DELLO SHADOW FLICKERING</b> .....	<b>9</b>
<b>I. METODOLOGIA DI ANALISI</b> .....	<b>11</b>
<b>II. DATI DI INPUT</b> .....	<b>14</b>
<b>a. DTM</b> .....	<b>14</b>
<b>b. SHADOW RECEPTORS</b> .....	<b>15</b>
<b>c. WTG</b> .....	<b>18</b>
<b>d. DATI VENTO</b> .....	<b>18</b>
<b>e. SITO METEREOLOGICO</b> .....	<b>18</b>
<b>III. REAL CASE</b> .....	<b>19</b>
<b> F  RISULTATI</b> .....	<b>20</b>
<b>I. ANALISI RISULTATI</b> .....	<b>22</b>
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>26</b>

## PREMESSA

Questo documento riporta un'analisi dell'effetto di Shadow-Flickering del progetto eolico da realizzare in località "Crebileddu" nel comune di Sassari (SS), della Regione Sardegna.

Lo "shadow flicker", tradotto letteralmente come ombreggiamento intermittente, risulta dalla proiezione dell'ombra delle pale rotanti degli aerogeneratori sottoposte alla luce diretta del sole. Da tutto ciò deriva un effetto stroboscopico che vede un "taglio" intermittente della luce solare; tale intermittenza viene ad intensificarsi nelle ore vicine all'alba o al tramonto ossia quando la posizione del sole è in grado di generare delle ombre più consistenti.

Considerato che a lungo andare questa alternanza di luce-ombra potrebbe dare fastidio agli occupanti delle abitazioni rurali poste nelle vicinanze dell'impianto e le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso, è essenziale stimare le ore/anno di esposizione per ciascun "ricettore sensibile".

L'impianto oggetto di studio, da realizzare nel comune di Sassari (SS), è costituito da 13 aerogeneratori della potenza nominale di circa 6.0 MW per una potenza totale complessiva di circa 78 MW.

All'interno del presente documento, a seguito di una breve descrizione del fenomeno di Shadow Flickering, viene esposto il quadro generale e normativo riferito allo stesso, dopodiché si analizza il caso in esame facendo bene attenzione a descrivere:

- Posizione e caratteristiche delle turbine;
- Shadow Receptor (SR) quali eventuali abitazioni rurali presenti in prossimità dell'area;
- Analisi del caso di studio;
- Esposizione dei risultati ottenuti.

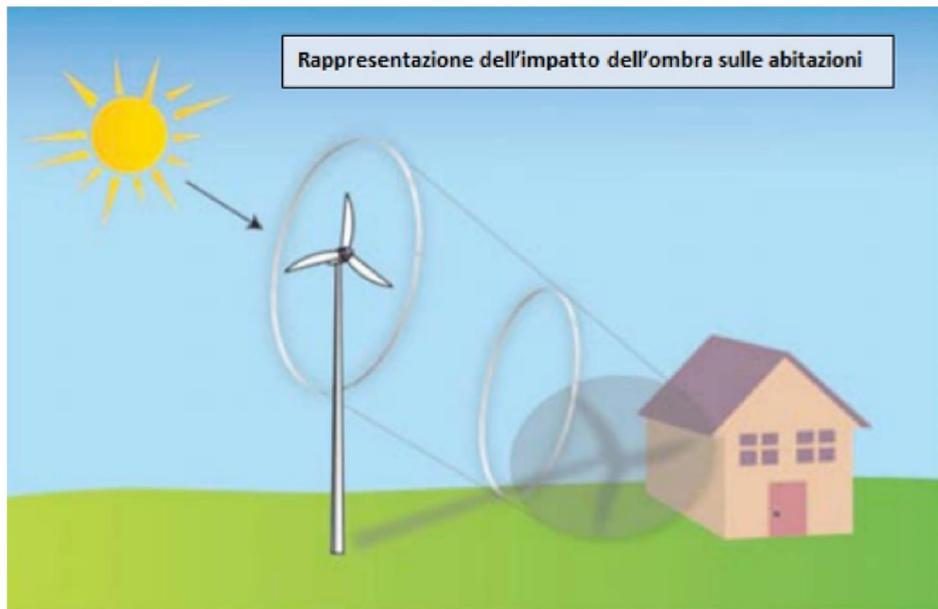
Tutti gli aspetti sopra elencati vengono trattati all'interno di WindPRO, un software di simulazione specifico del campo eolico che viene incontro in varie fasi della progettazione, incluso la quantificazione del fenomeno di Shadow Flickering mediante il modulo chiamato SHADOW.

## |A| INTRODUZIONE

Un aerogeneratore è composto da un rotore, formato da tre pale, che ruota attorno al proprio asse. A causa di questa rotazione, l'ombra dal rotore intermittente, provoca un fenomeno, solitamente definito utilizzando il termine inglese "shadow-flickering", che può risultare di disturbo per gli esseri umani che si trovano all'interno della zona d'ombra intermittente. Nel valutare gli impatti dell'impianto eolico si devono pertanto considerare gli effetti dello shadow-flickering sui luoghi abitati siti nell'area di impianto.

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

Dato che nei momenti della giornata in cui il sole è più prossimo all'orizzonte, l'angolo di incidenza della radiazione solare risulta molto basso, le ombre generate dagli aerogeneratori si allungano notevolmente e, sebbene per un periodo di tempo molto ristretto, interessano una porzione di terreno ampia. Sulla base dell'esperienza dei paesi del Nord Europa, ove il fenomeno è molto più sentito per l'effetto della minore altezza del sole sull'orizzonte (es. Danimarca, Germania...), la valutazione del fenomeno viene effettuata per singolo recettore, determinando il numero di ore in cui esso è affetto da questo fenomeno.



## **|B|** NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'effetto Shadow-Flickering è più pronunciato nelle latitudini settentrionali durante i mesi invernali. Pertanto alcuni paesi hanno adottato dei limiti di legge relativi all'esposizione all'effetto in trattazione.

In Italia invece non esiste normativa nazionale specifica che regolamenti il fenomeno, e quindi alcune regioni, nella definizione dei propri regolamenti di settore, si sono regolate autonomamente.

La Regione Sardegna all'interno del PEARS in "Indicazioni per la realizzazione di impianti eolici in Sardegna" prevede che si faccia un'analisi dell'evoluzione dell'ombra giornaliera legata al pericolo di formazione di ghiaccio sulle strade e che questa venga estesa agli eventuali ricettori sensibili in prossimità del sito, quest'ultima analisi è legata al fenomeno delle oscillazioni dell'ombra prodotta dal rotore.

Allo scopo di fornire una valutazione del progetto anche in termini qualitativi, nella definizione del layout di progetto si è valutato anche questo aspetto e si è cercato di

tenere l'esposizione di ogni ricettore allo shadow flickering al di sotto delle 30 ore annue, parametro considerato a livello internazionale come qualità.

## | C | IL PROGETTO

### 1. Inquadramento territoriale e progettuale

L'area interessata dalla realizzazione del progetto è prevalentemente destinata ad uso agricolo e si stanZIA al di fuori del centro abitato di Sassari (SS), alla località "Crabileddu"; essa presenta una variabilità topografica e altimetrica abbastanza omogenea attestandosi su circa 111 m slm. Le distanze minime dai centri abitati limitrofi sono di circa 14,3 km , in direzione N-O, dal centro abitato di Porto Torres, circa 23 km in direzione N-O dal centro abitato di Sassari, circa 1,57 km, in direzione S-E, dal centro abitato della frazione di Palmadula, circa 2,34 km, in direzione S, dal centro abitato della frazione di Monte Forte e circa 3,34 km, in direzione O, dal centro abitato della frazione di Campanedda.

L'impianto di progetto si costituisce di 13 aerogeneratori modello Siemens Gamesa SG170 della potenza nominale approssimativa di 6.0 MW per una potenza totale complessiva di circa 78 MW.

Il progetto prevede l'uso di aerogeneratori della più moderna tecnologia e di elevata potenza nominale unitaria, in modo da massimizzare la potenza dell'impianto e l'energia producibile, diminuendo così il numero di turbine e quindi l'impatto ambientale a parità di potenza installata.



Figura 1: inquadramento territoriale dell'area da destinare alla realizzazione del parco eolico

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

Nello studio del fenomeno di Shadow Flickering la fonte dell'ombreggiamento è data dagli aerogeneratori stessi: il modello ritenuto adatto per l'impianto in esame è il modello Siemens Gamesa SG170 con diametro del rotore di 170 m e altezza al mozzo di 115m.

Il calcolo di Shadow Flickering viene svolto per le sole turbine dell'impianto in progetto e le cui coordinate sono contenute in Tabella 1.

	UTM WGS 84 Lon. Est [m]	UTM WGS84 Lat. Nord [m]	P [kW]	H slm [m]	H mozzo slt [m]	D rotore [m]
WTG01	433146.49	4511895.57	6'000	148	115	170
WTG02	433507.03	4512257.35		128		
WTG03	434003.65	4512246.73		115		
WTG04	433910.49	4512869.64		121		
WTG05	434555.28	4512483.26		100		
WTG06	434972.50	4513017.18		98		
WTG07	435924.48	4512375.31		160		
WTG08	436436.03	4512335.96		135		
WTG09	436068.90	4511886.82		152		
WTG10	437294.59	4513206.53		91		
WTG11	437028.11	4514812.35		50		
WTG12	437070.16	4514292.91		66		
WTG13	438415.59	4514624.68		73		

Tabella 1: Coordinate aerogeneratori dell'impianto di progetto e caratteristiche salienti

## II. Ricettori interessati

Poiché l'area destinata alla realizzazione del progetto è maggiormente ad uso agricolo e stanziata al di fuori del centro abitato del comune di Sassari (SS), la maggior parte dei fabbricati individuati nell'area sono di tipo produttivo, essendo capanni e depositi connessi ad attività agricole, ed adibite a ricovero per mezzi e materiali.

I fabbricati considerati nello studio sono prevalentemente ruderi non abitati in cui la presenza di persone è stata rilevata solo per brevi periodi e sono stati considerati i soli fabbricati abitativi, ubicati in un raggio di 2 km dagli aerogeneratori (oltre questa distanza, l'effetto si considera trascurabile).

## |D| ANALISI DELL'OMBRA SU STRADA

In Italia il problema dell'ombra provocata dagli aereogeneratori su strada e la conseguente formazione di ghiaccio è strettamente legato ai territori montani o appenninici di alcune regioni, per cui si tratta di un fenomeno marginale trascurato dalla normativa nazionale. Tuttavia, per una progettazione attenta ad evitare che si verifichino possibili permanenze di ghiaccio sulle strade in prossimità dell'area interessata dal progetto, si tiene in considerazione il fatto che l'ombra su strada che potrebbe generare ghiaccio è quella della torre compresa di navicella, questo perché è quella che persiste per più tempo, mentre quella delle pale durante la rotazione può essere considerata marginale (il fenomeno non produce nessun danno in quanto verrà percepito per brevi istanti oltretutto in movimento). Pertanto l'ombra che si prende in considerazione per questo studio è la massima ombra proiettata della torre di una turbina esclusa di pale. Dal momento che ogni turbina è posta ad una distanza minima di 220 m da strade provinciali e statali (per limiti imposti dalla normativa regionale) è ragionevole escludere il rischio del fenomeno di formazione di ghiaccio su strada. Per un'ulteriore tesi a corredo di tale analisi, si analizza lo storico del clima del territorio comunale di Sassari con il fine di mettere in evidenza che le temperature medie giornaliere e medie mensili sono molto distanti dalle temperature per le quali vi è pericolo di formazione di ghiaccio. In conclusione si può asserire che sussistono le condizioni affinché il fenomeno si verifichi.

### Medie e totali mensili

T Media	T min	T max	Precip.	Umidità	Vento Media	Giorni Pioggia	Giorni Neve o Grandine	Giorni Temporal	Giorni Nebbia
9.2 °C	4.7 °C	13.7 °C	n/d	77.2 %	10.9 km/h	8	0	0	8

I valori di colore rosso hanno una bassa attendibilità.

☒ . . . ☒ . . . \_\_\_\_\_ . . . ☒ . . . ☒

Dati registrati dalla stazione meteo di Alghero Fertilia. [Scarica dati in csv](#)

Giorno	T Media	T min	T max	Precip.	Umidità	Vento Max	Raffica	Fenomeni	Info
1	13 °C	13 °C	14 °C	-	85 %	15 km/h	-	Nessuno	
2	13 °C	12 °C	15 °C	-	82 %	13 km/h	-	Nessuno	
3	13 °C	12 °C	14 °C	-	83 %	18 km/h	-	Nessuno	
4	14 °C	13 °C	15 °C	-	82 %	35 km/h	-	Nessuno	
5	13 °C	10 °C	15 °C	n/d	71 %	35 km/h	-		
6	9 °C	7 °C	10 °C	n/d	63 %	31 km/h	-		
7	9 °C	4 °C	14 °C	n/d	75 %	17 km/h	-		
8	12 °C	10 °C	13 °C	n/d	67 %	26 km/h	-		
9	13 °C	12 °C	14 °C	-	66 %	35 km/h	-	Nessuno	
10	10 °C	5 °C	13 °C	n/d	64 %	24 km/h	-		
11	6 °C	0 °C	14 °C	-	71 %	17 km/h	-	Nessuno	
12	7 °C	1 °C	12 °C	-	63 %	37 km/h	-	Nessuno	
13	8 °C	3 °C	13 °C	-	63 %	24 km/h	-	Nessuno	
14	6 °C	0 °C	14 °C	-	79 %	13 km/h	-	Nessuno	
15	5 °C	-1 °C	14 °C	-	87 %	11 km/h	-		
16	8 °C	2 °C	14 °C	-	85 %	15 km/h	-	Nessuno	
17	8 °C	2 °C	13 °C	-	81 %	21 km/h	-	Nessuno	
18	6 °C	1 °C	14 °C	-	89 %	9 km/h	-		
19	9 °C	2 °C	14 °C	n/d	80 %	21 km/h	-		
20	11 °C	10 °C	12 °C	n/d	67 %	21 km/h	-		
21	10 °C	3 °C	13 °C	-	71 %	24 km/h	-		
22	7 °C	2 °C	14 °C	-	82 %	13 km/h	-	Nessuno	
23	5 °C	0 °C	14 °C	-	87 %	11 km/h	-		
24	6 °C	1 °C	14 °C	-	87 %	21 km/h	-		
25	7 °C	1 °C	14 °C	-	81 %	21 km/h	-	Nessuno	
26	7 °C	-1 °C	13 °C	-	85 %	15 km/h	-		
27	10 °C	4 °C	14 °C	-	84 %	21 km/h	-	Nessuno	
28	8 °C	3 °C	14 °C	-	83 %	26 km/h	-	Nessuno	
29	8 °C	1 °C	16 °C	-	81 %	13 km/h	-		
30	12 °C	3 °C	14 °C	n/d	80 %	24 km/h	-		
31	12 °C	12 °C	14 °C	-	70 %	37 km/h	-	Nessuno	

Figura 2: medie giornaliere riferite al mese di gennaio dell'area da destinare alla realizzazione del parco eolico. Fonte: [https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Sassari/2022/Gennaio?refresh\\_ce](https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Sassari/2022/Gennaio?refresh_ce)

☒ . . . ☒ . . . \_\_\_\_\_ . . . ☒ . . . ☒

Meteo	Webcam	Video	Foto	Archivio	Aria	Viabilità	Percorsi	Mappa
<b>Mese</b>		<b>T min</b>	<b>T max</b>		<b>Precip.</b>	<b>Umidità</b>	<b>Vento</b>	<b>Eliofania</b>
Gennaio		6 °C	14 °C		65 mm	80 %	SSW 16 km/h	4 ore
Gennaio		8 °C	13 °C		69 mm	n/d	n/d	n/d
Febbraio		9 °C	13 °C		45 mm	n/d	n/d	n/d
Febbraio		6 °C	14 °C		68 mm	79 %	WNW 16 km/h	5 ore
Marzo		10 °C	14 °C		45 mm	n/d	n/d	n/d
Marzo		7 °C	15 °C		51 mm	77 %	WNW 16 km/h	6 ore
Aprile		10 °C	15 °C		71 mm	n/d	n/d	n/d
Aprile		9 °C	18 °C		45 mm	76 %	WNW 16 km/h	7 ore
Maggio		14 °C	20 °C		24 mm	n/d	n/d	n/d
Maggio		12 °C	22 °C		25 mm	74 %	WNW 16 km/h	9 ore
Giugno		17 °C	23 °C		14 mm	n/d	n/d	n/d
Giugno		15 °C	25 °C		13 mm	70 %	WNW 16 km/h	10 ore
Luglio		20 °C	26 °C		4 mm	n/d	n/d	n/d
Luglio		18 °C	29 °C		5 mm	66 %	WNW 16 km/h	11 ore
Agosto		21 °C	27 °C		16 mm	n/d	n/d	n/d
Agosto		18 °C	29 °C		12 mm	69 %	WNW 16 km/h	10 ore
Settembre		16 °C	26 °C		39 mm	72 %	WNW 16 km/h	8 ore
Settembre		19 °C	24 °C		26 mm	n/d	n/d	n/d
Ottobre		13 °C	22 °C		76 mm	76 %	WNW 16 km/h	7 ore
Ottobre		15 °C	20 °C		59 mm	n/d	n/d	n/d
Novembre		10 °C	18 °C		104 mm	79 %	WNW 16 km/h	5 ore
Novembre		12 °C	16 °C		65 mm	n/d	n/d	n/d
Dicembre		7 °C	15 °C		89 mm	80 %	SSW 16 km/h	4 ore
Dicembre		9 °C	14 °C		58 mm	n/d	n/d	n/d

**Archivio meteo** • Consulta anche l'archivio dei dati storici rilevati giorno per giorno

Medie mensili riferite agli ultimi 30 anni, basate sui dati della stazione di Capo Caccia  
Link veloci: [Italia](#) > [Sardegna](#) > [Sassari \(SS\)](#) > [Sassari](#)

Figura 3: medie mensili dell'area da destinare alla realizzazione del parco eolico. Fonte: <https://www.ilmeteo.it/portale/medie-climatiche/Sassari>

## **|E| ANALISI DELLO SHADOW FLICKERING**

Lo Shadow flickering o effetto di “taglio” intermittente della luce solare è dovuto al sole che incontrando la rotazione delle pale produce la proiezione dell’ombra della turbina stessa sull’area strettamente afferente il parco eolico.

Questo fenomeno è più evidente nelle latitudini a nord durante i mesi invernali (Es. Danimarca), a causa dell’angolo del sole, ma l’ombreggiamento intermittente si può verificare in qualunque breve momento tra l’alba ed il tramonto e cambiando la posizione del sole per tutto il giorno e per tutto l’anno cambierà anche l’area interessata dall’ombra.

Ovviamente devono persistere condizioni tali da creare il fenomeno quali:

- Turbina in funzione;
- Cielo aperto e sgombro da copertura nuvolosa;
- Posizione del rotore della turbina lungo la linea di vista e senza ostacoli dal recettore al sole.

Le condizioni sopra elencate rappresentano anche il caso peggiore (worst case) che non identificano soltanto il fenomeno di ombreggiamento ma ne permettono anche una sovrastima poiché nella realtà (real case) il fenomeno si verifica con minor “frequenza” a causa di una serie di fattori che interviene sulla percettibilità del medesimo andando a ridurre quella che è l’entità dell’impatto calcolato. Più precisamente i fattori in questione sono:

- Posizione del ricettore relativamente alla turbina;
- Caratteristiche del vento (la direzione determina l’orientamento del rotore; l’intensità determina l’attivazione);
- Dimensioni dell’aerogeneratore;
- Periodo dell’anno;
- Momento della giornata;
- Condizioni meteorologiche (ad es. presenza di copertura nuvolosa o foschia vanno a mitigare il fenomeno).

Il fenomeno è infatti meno intenso quando:

- aumenta la distanza turbina-recettore, se essa è maggiore di 10 volte il diametro del rotore si ha una diminuzione dell’intensità del tremolio dell’ombra che sarà meno percepibile dall’occhio umano;

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

- il piano del rotore è ad un angolo diverso da quello perpendicolare alla linea di vista dal recettore al sole anche perché, le lame passanti oscurano una parte minore del sole.

Da non trascurare le condizioni di illuminazione ambientale le quali vanno ad influenzare la visibilità dello sfarfallio: il flickering è più evidente in una stanza oscura con una finestra rivolta verso la turbina rispetto all'esterno dove i livelli di luce ambientale sono più alti.

Il fastidio e il disturbo che il fenomeno di flickering può provocare all'uomo è fortemente legato alla frequenza o alla velocità del tremolio dell'ombra a loro volta correlate alla velocità del rotore e al numero di lame sulla turbina: alcune linee guida di paesi esteri raccomandano una velocità di flicker non maggiore di 3 "tagli" al secondo; per la classica turbina tripala questo effetto corrisponde ad una completa rotazione del rotore in un secondo, equivalente a 60 giri al minuto (60 RPM). Il valore di 60 RPM è tipico di aerogeneratori di piccola taglia con piccoli rotori (circa 20 m) che avranno di conseguenza più elevata velocità di rotazione. Le turbine attualmente in commercio di grande taglia hanno una velocità di rotazione ben inferiore a tali valori, con una velocità del rotore che si attesta intorno ai 20 RPM. Ciò si traduce in bande che passano frequenze inferiori a 1 Hz o 1 ciclo al secondo: a tali basse frequenze, lo sfarfallio potrebbe essere causa di fastidio, ma non costituisce una minaccia per la salute.

Il fenomeno di Flickering può esser modellato e previsto semplicemente con un dettaglio del minuto essendo in possesso di alcune informazioni, ossia:

- localizzazioni geografiche (turbine e recettori);
- elevazioni del suolo (turbine e recettori);
- geometria delle turbine (diametro del rotore e altezza al mozzo).

Da quanto risulta da tutto ciò sarà possibile disporre le turbine di modo che il numero di ore all'anno per ogni recettore sensibile non superi una certa soglia massima.

Da quanto si evince da una stima eseguita su base annuale le ore di ombra sono minori all'aumentare della distanza del pilone secondo una particolare geometria dettata dalla posizione geografica; come è osservabile dalla Figura 4 l'ombra arriva a proiettarsi anche sino ad una distanza di 1 km, anche se per la durata di pochi minuti all'anno.

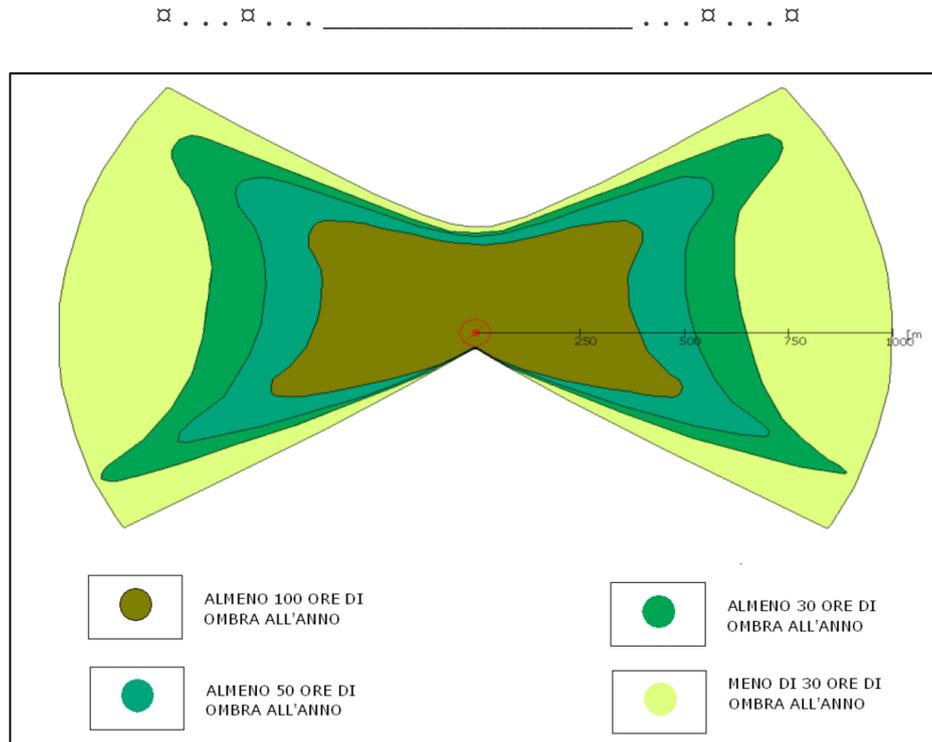


Figura 4: schema rappresentativo dell'evoluzione annuale tipo dell'ombra di un aerogeneratore

In Italia non esiste una normativa specifica ma vi sono delle regolamentazioni locali che stabiliscono una soglia specifica, al di sotto della quale bisogna tenersi, oltre la quale il fenomeno potrebbe divenire “relevant”, “significant” o addirittura “unreasonable”.

### *1. Metodologia di analisi*

Allo scopo di ottenere i risultati si è fatto uso di un software specifico per la progettazione eolica WindPRO che, composto da una serie di moduli, è in grado di simulare una moltitudine di aspetti legati all'operatività del parco. Il modulo che viene in soccorso per la stima del fenomeno di ombreggiamento è SHADOW.

Quelli che seguono sono i dati utilizzati come input, ovvero:

- ▲ Il modello DTM del terreno;
- ▲ Per gli aerogeneratori:
  - posizione geografica;
  - modello;
  - caratteristiche dimensionali;
- ▲ definizione di aree sensibili o recettori con relative:
  - posizione geografica;
  - caratteristiche dimensionali dell'area disturbata (finestra, patio, area esterna);

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

- ▲ caratteristiche anemologiche dell'area (funzionali al calcolo di *real case* basato sulla effettiva distribuzione statistica dei dati del vento in relazione alle ore di funzionamento ed al posizionamento della navicella per la proiezione del rotore);
- ▲ definizione di dati meteorologici storici di una stazione di riferimento per il calcolo probabilistico delle ore di soleggiamento.

Per la definizione del recettore o “finestra” nel modello bisogna definirne attentamente (Figura 5):

- La posizione sopra il livello del suolo e la sua dimensione (altezza e larghezza);
- L'inclinazione rispetto all'orizzontale (si può scegliere tra finestra verticale, orizzontale e tetto [45°]).
- L'orientamento direzionale rispetto al sud (in gradi, positivi, a ovest).

In alternativa è possibile optare per la modalità “Green house” dando al recettore le caratteristiche di una “serra” il quale riceve ombra da qualsivoglia direzione in quanto totalmente esposto al fenomeno dell'ombra intermittente.

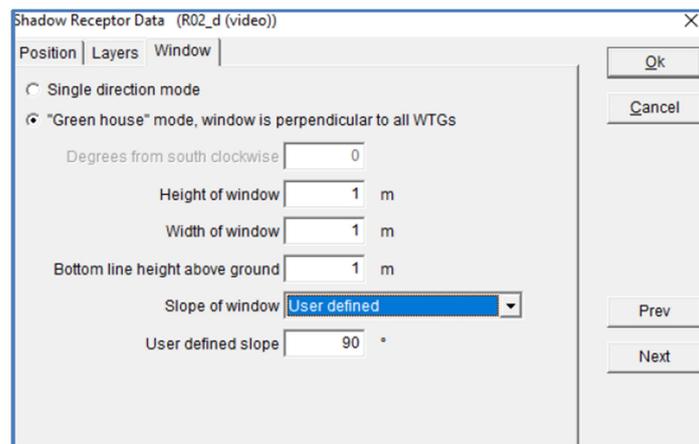


Figura 5: finestra di input delle caratteristiche del recettore

In Figura 6 è riportato lo schema di calcolo del modulo SHADOW.

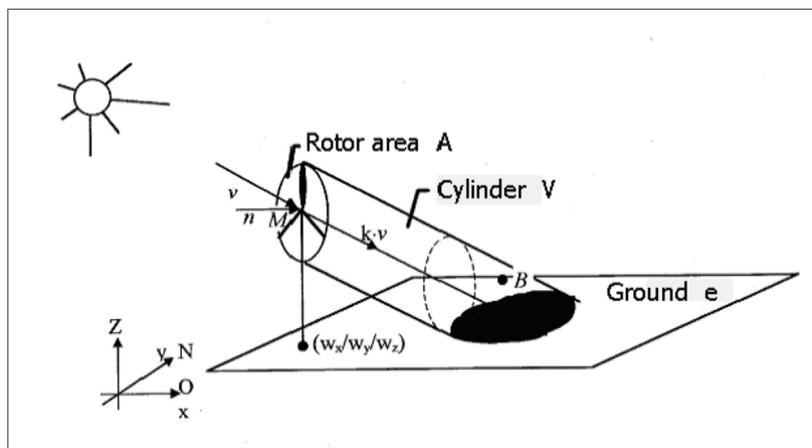


Figura 6: schema di calcolo del modulo SHADOW

Inoltre bisogna considerare che il software tiene anche conto della presenza di eventuali elementi digitalizzati come “ostacoli” e che vanno dunque a ridurre l’intensità del fenomeno (Figura 7).

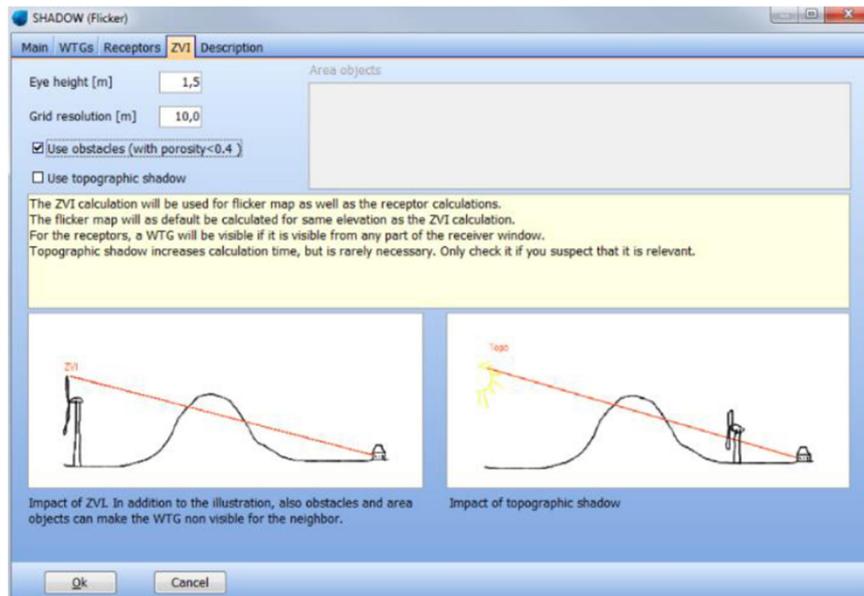


Figura 7: opzione ZVI disponibile per gli ostacoli naturali ed artificiali digitalizzati nel modello

Naturalmente alla base del calcolo vengono assunte come condizioni quelle rappresentative del *worst case* descritto in precedenza e che omette:

- Aerogeneratore sempre in funzione;
- Sole splendente dall’alba al tramonto (altezza minima sull’orizzonte pari almeno a 3° affinché produca il fenomeno di ombreggiamento);
- Aerogeneratore che “insegue” il sole ossia piano di rotazione delle pale sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore.

Al fine di una massimizzazione del fenomeno già sovrastimato (worst case) si procede con:

- Ciascun recettore digitalizzato in “Green house” mode per cui nel calcolo ciascuna parete dello stesso risulterà esposto al fenomeno;
- Trascurare la presenza eventuale di ostacoli e/o alberi che intercettano le ombre diminuendo o annullando l’intensità del fenomeno.

I risultati derivanti dal worst case si confrontano poi con quelli del *real case* il quale permette di ricavare un numero di ore di ombreggiamento più realistico tenendo conto di:

- Reale presenza del sole;
- Ore di funzionamento della turbina nell’arco di un anno in funzione della direzione del vento che influisce sull’orientamento delle pale rispetto al sole e di conseguenza sull’ombra proiettata sui recettori.

## II. Dati di Input

Il modello per la simulazione dell'impianto con il modulo SHADOW è stato impostato inserendo nel software:

- Il modello digitale del terreno (DTM) per tener conto dell'orografia funzionale nella mascheratura fisica dell'impatto dell'ombra;
- **Posizione** geografica dei **recettori** con relativo *dettaglio dimensionale* delle aree più esposte (come illustrato in Figura 5);
- **Posizioni** geografiche dei **generatori** di turbine eoliche e loro *caratteristiche dimensionali*;
- **Dati vento** di una *stazione di misura locale* per il calcolo dell'energia funzionale alla stima delle ore operative e delle probabilità associate alle diverse direzioni del vento;
- Dati provenienti da una *stazione meteo nazionale* per il calcolo della probabilità mensile della presenza del sole;
- Assenza di ostacoli naturali e/o artificiali.

Vediamoli di seguito nel dettaglio.

### a. DTM

Il modello digitale del terreno è stato direttamente estrapolato dai dati disponibili online assicurandosi che combaciasse con le curve di livello tracciate e visibili su carta IGM 1:25'000 (Figura 8).

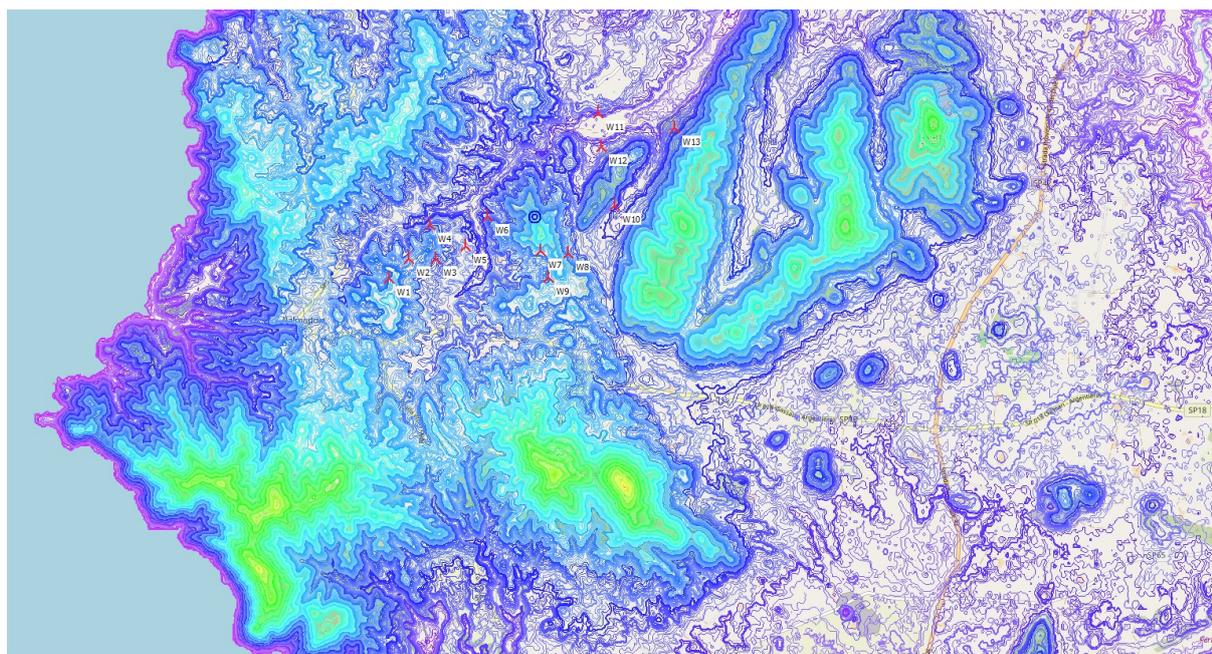


Figura 8: modello digitale del terreno (DTM) per l'area di realizzazione del parco.



□ . . . □ . . . □ . . . □ . . . □

**Shadow receptor-Input**

No.	Easting	Northing	Z	Width	Height	Elevation	Slope of	Direction mode	Eye height
			[m]	[m]	[m]	a.g.l.	window		(ZVI) a.g.l.
						[m]	[°]		[m]
A	435,121	4,512,149	100.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
B	434,766	4,512,116	91.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
C	432,553	4,512,101	107.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
D	432,295	4,512,037	121.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
E	432,218	4,511,985	122.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
F	432,900	4,512,648	119.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
G	432,414	4,512,556	115.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
H	432,473	4,512,526	112.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
I	435,194	4,512,217	104.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
J	435,158	4,512,151	102.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
K	432,182	4,511,675	125.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
L	433,979	4,511,632	108.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
M	437,287	4,515,789	77.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
N	437,374	4,515,771	77.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
O	437,389	4,515,767	76.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
P	437,243	4,515,743	77.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
Q	437,269	4,515,716	78.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
R	437,306	4,515,714	78.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
S	437,319	4,515,700	78.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
T	437,602	4,515,675	77.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
U	437,572	4,515,648	77.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
V	437,559	4,515,626	77.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
W	437,136	4,515,628	79.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
X	437,342	4,515,606	79.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
Y	437,577	4,515,593	77.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
Z	437,068	4,515,590	78.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AA	437,329	4,515,840	77.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AB	437,625	4,515,574	78.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AC	437,312	4,515,478	80.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AD	437,298	4,515,459	81.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AE	437,295	4,515,416	81.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AF	438,353	4,515,320	43.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AG	437,363	4,515,259	80.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AH	437,392	4,515,249	79.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AI	437,344	4,515,244	80.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AJ	436,716	4,515,234	74.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AK	437,243	4,515,196	80.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AL	437,237	4,515,132	74.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AM	438,002	4,514,917	43.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AN	437,117	4,514,902	60.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AO	437,865	4,514,717	54.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AP	437,860	4,514,699	55.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AQ	437,886	4,514,681	57.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AR	437,904	4,514,651	58.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AS	437,664	4,514,614	54.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AT	437,611	4,514,572	57.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AU	437,697	4,514,547	62.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AV	437,625	4,514,557	59.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AW	437,733	4,514,553	62.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AX	437,765	4,514,543	63.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AY	437,723	4,514,532	64.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
AZ	437,951	4,514,499	62.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BA	437,618	4,514,486	65.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BB	437,593	4,514,471	66.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BC	437,603	4,514,441	69.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BD	438,088	4,514,382	59.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BE	437,892	4,514,353	90.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BF	437,017	4,514,116	65.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BG	437,390	4,513,867	140.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BH	438,029	4,513,765	83.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BI	437,783	4,513,652	77.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BJ	437,673	4,513,570	80.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BK	437,600	4,513,152	92.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BL	437,697	4,513,034	105.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BM	436,887	4,512,901	115.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BN	436,888	4,512,851	109.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BO	437,867	4,513,309	98.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BP	437,667	4,513,061	101.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BQ	436,877	4,512,888	115.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BR	436,864	4,512,826	109.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BS	436,924	4,512,787	99.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BT	436,931	4,512,781	98.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BU	437,349	4,512,327	112.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BV	437,368	4,512,283	114.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4

□ . . . □ . . . □ . . . □ . . . □

**Shadow receptor-Input**

No.	Easting	Northing	Z	Width	Height	Elevation a.g.l.	Slope of window [°]	Direction mode	Eye height (ZVI) a.g.l. [m]
			[m]	[m]	[m]	[m]			
BW	437,320	4,512,243	111.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BX	437,323	4,512,222	112.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BY	436,230	4,515,335	88.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
BZ	436,250	4,515,317	86.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CA	436,915	4,512,799	101.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CB	437,362	4,512,301	113.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CC	437,310	4,512,178	111.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CD	437,295	4,512,177	109.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CE	437,439	4,512,119	137.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CF	436,920	4,512,081	109.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CG	436,714	4,511,810	158.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CH	436,679	4,511,777	162.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CI	436,662	4,511,748	163.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CJ	436,730	4,511,655	161.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CK	436,725	4,511,647	161.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CL	436,740	4,511,637	159.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CM	436,250	4,514,988	83.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CN	436,236	4,514,970	82.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CO	436,493	4,514,775	63.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CP	436,774	4,511,627	157.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CQ	436,787	4,511,585	151.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CR	436,912	4,512,124	106.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CS	436,920	4,512,104	107.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CT	436,723	4,511,806	158.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CU	436,671	4,511,764	163.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CV	436,704	4,511,666	162.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CW	436,663	4,511,370	141.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CX	434,081	4,513,816	119.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CY	434,025	4,513,796	117.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
CZ	434,054	4,513,794	117.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DA	434,072	4,513,764	115.4	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DB	434,838	4,513,716	89.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DC	434,274	4,513,557	97.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DD	434,283	4,513,534	96.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DE	434,763	4,513,503	84.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DF	434,184	4,513,446	94.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DG	433,030	4,513,296	116.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DH	433,074	4,513,245	112.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DI	433,038	4,513,215	113.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DJ	433,065	4,513,217	113.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DK	433,092	4,513,061	108.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DL	433,112	4,513,048	107.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DM	434,457	4,512,998	94.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DN	434,403	4,512,964	95.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DO	434,350	4,512,949	98.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DP	433,052	4,512,942	101.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DQ	432,996	4,512,929	103.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DR	432,911	4,512,920	110.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DS	432,931	4,512,918	109.6	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DT	433,054	4,512,901	101.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DU	433,411	4,512,798	92.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DV	432,636	4,512,724	111.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DW	432,606	4,512,709	113.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DX	432,622	4,512,706	112.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DY	434,103	4,513,805	118.3	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
DZ	434,078	4,513,784	117.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EA	434,899	4,513,640	85.1	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EB	434,678	4,513,539	85.7	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EC	434,186	4,513,465	94.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
ED	433,089	4,513,079	109.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EE	434,420	4,512,972	96.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EF	432,922	4,512,934	110.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EG	433,406	4,512,822	91.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EH	432,931	4,512,647	118.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EI	432,905	4,512,622	120.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EJ	433,063	4,512,573	108.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EK	432,441	4,512,544	115.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EL	432,482	4,512,505	110.8	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EM	432,871	4,512,466	135.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EN	432,878	4,512,431	136.9	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EO	432,293	4,512,395	120.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EP	432,544	4,512,237	103.0	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
EQ	435,074	4,512,214	99.2	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4
ER	435,113	4,512,162	100.5	1.2	1.4	1.0	90.0	"Green house mode"	2.4

Tabella 2: coordinate geografiche nel sistema UTM WGS84 e caratteristiche dimensionali dei singoli ricettori (SR - Shadow Receptor)

**c. WTG**

Le coordinate geografiche degli aerogeneratori nel sistema UTM WGS84 sono contenute nella Tabella 1.

**d. DATI VENTO**

I dati vento adottati per il calcolo dello Shadow Flickering sono direttamente reperibili su WindPRO e sono afferenti ai dati vento raccolti dal satellite *MESO SCALE-EUROPE* (Distribuzione di Weibull riportata in Figura 10) dove l’altezza di riferimento della stazione è 20m s.l.t. e i dati vento raccolti vanno dal 1 gennaio 1993 al 31 agosto 2019.

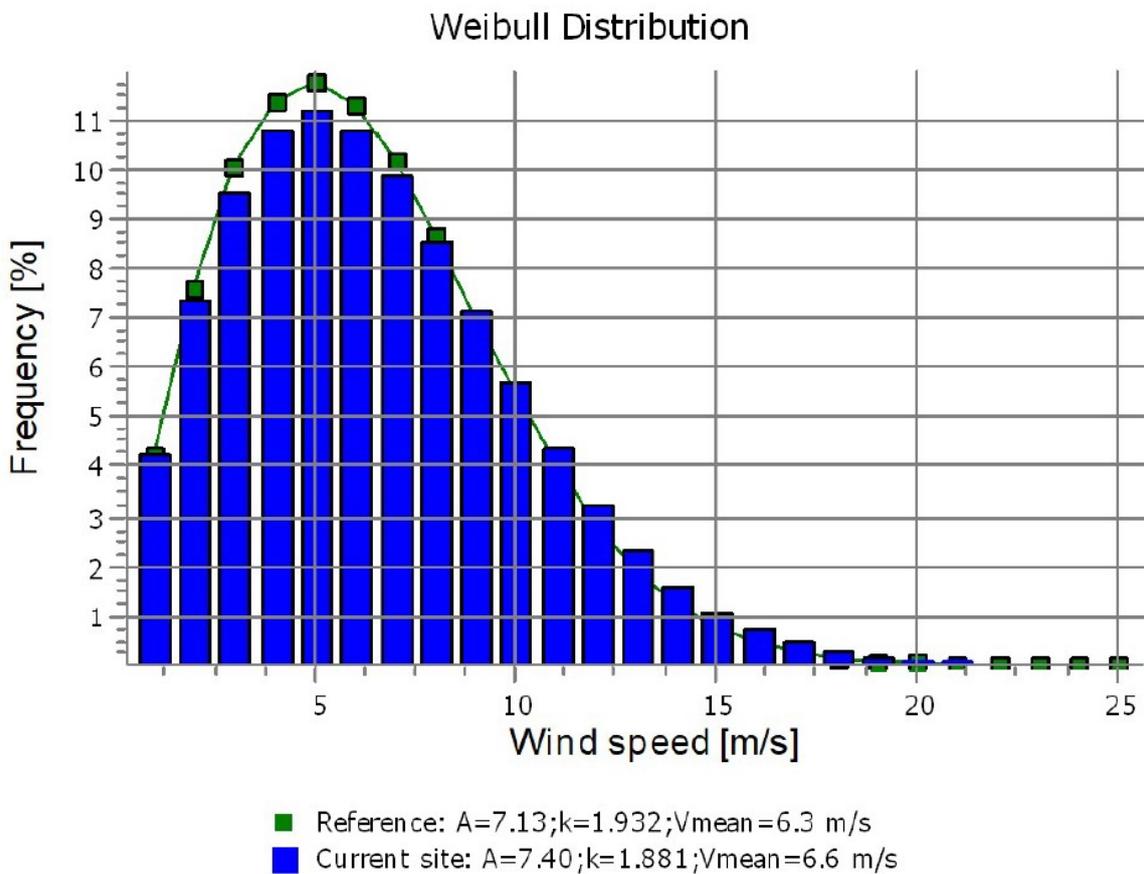


Figura 10: caratteristiche anemologiche della stazione MESO SCALE-EUROPE (Weibull distribution)

**e. SITO METEOROLOGICO**

Il sito utilizzato per la conoscenza climatica dell’area è anch’esso direttamente scelto dal software WindPRO ed è in questo caso afferente al sito di ALGHERO con distanza di circa 16 km dall’area di progetto, le cui caratteristiche sono riportate in Figura 11.

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

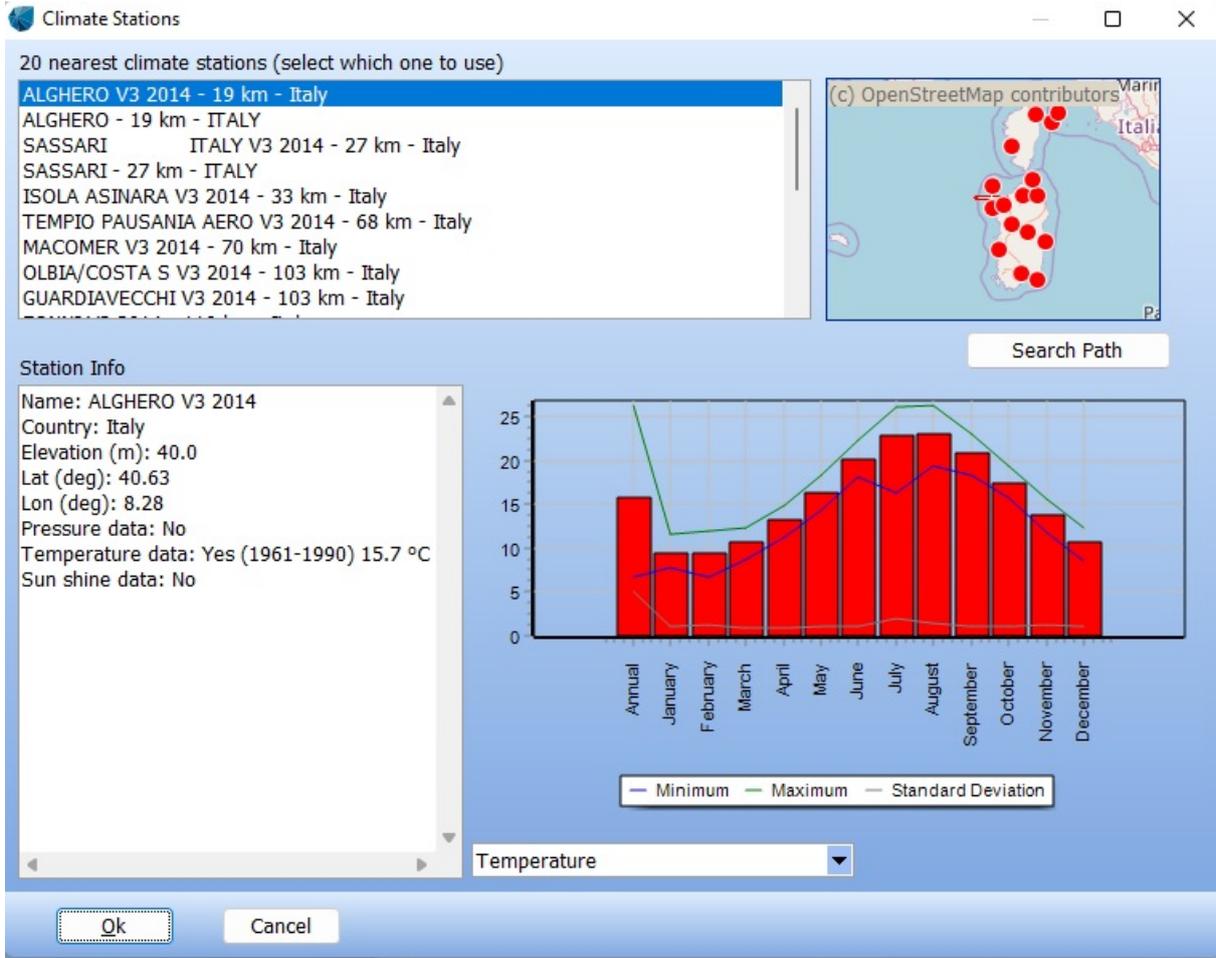


Figura 11: info sulla stazione meteo di Alghero utilizzata come Climate Station

### III. Real Case

Il software WindPRO permette l'analisi di due casi distinti: il worst case e il real case.

Il **worst case** rappresenta il caso peggiore in cui coesistono tutti quei fattori (WTG sempre in funzione, assenza di copertura nuvolosa e aerogeneratore che "insegue" il sole) i quali tendono a sovrastimare le ore di ombreggiamento sui recettori esistenti nell'area come già esposto in dettaglio nel paragrafo "I METODOLOGICA DI ANALISI".

Per effettuare il calcolo del **real case** si considerano invece le condizioni reali esistenti del sito in oggetto. Per cui, accanto ai dati della reale distribuzione in frequenza del vento, che permettono di analizzare il fenomeno di Shadow Flickering, è essenziale tener conto anche delle condizioni meteorologiche che permettono di fare una stima delle ore solari giornaliere del sito in oggetto. Nel caso specifico si è tenuto conto delle condizioni meteo raccolte dal sito di Alghero (Figura 9) che, seppur distante dall'area di realizzazione del parco di circa 16 km, ha caratteristiche morfologiche e climatiche simili all'area di riferimento.

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

## |F| RISULTATI

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti, nel dettaglio sono poste a confronto le ore di ombreggiamento ottenute nel worst case con quelle del real case (Tabella 3)

### Calculation Results

Shadow receptor

No.	Shadow, worst case		Max shadow hours per day [h/day]	Shadow, expected values
	Shadow hours per year [h/year]	Shadow days per year [days/year]		Shadow hours per year [h/year]
A	166:39	223	1:19	58:16
B	116:58	132	1:24	39:40
C	87:47	152	1:00	27:15
D	65:28	175	0:45	21:56
E	56:50	163	0:42	19:24
F	127:14	218	1:07	35:59
G	78:29	156	0:43	20:42
H	87:11	164	0:46	23:11
I	235:09	240	1:46	82:44
J	185:06	225	1:33	65:07
K	70:31	131	0:53	26:16
L	70:55	110	0:47	25:11
M	0:00	0	0:00	0:00
N	0:00	0	0:00	0:00
O	0:00	0	0:00	0:00
P	0:00	0	0:00	0:00
Q	0:00	0	0:00	0:00
R	0:00	0	0:00	0:00
S	0:00	0	0:00	0:00
T	0:00	0	0:00	0:00
U	0:00	0	0:00	0:00
V	0:00	0	0:00	0:00
W	12:06	44	0:19	2:47
X	0:00	0	0:00	0:00
Y	0:00	0	0:00	0:00
Z	14:22	60	0:19	3:23
AA	0:00	0	0:00	0:00
AB	0:00	0	0:00	0:00
AC	18:36	56	0:23	4:21
AD	19:20	62	0:23	4:33
AE	20:11	72	0:23	4:49
AF	24:27	78	0:28	6:39
AG	134:39	100	1:31	34:32
AH	145:17	109	1:35	37:44
AI	144:28	104	1:32	37:12
AJ	150:20	130	1:36	36:41
AK	188:06	116	1:51	50:02
AL	286:18	155	2:11	78:02
AM	181:35	206	1:27	49:56
AN	700:48	227	4:18	250:46
AO	156:02	226	1:08	48:57
AP	158:10	226	1:08	50:14
AQ	161:31	217	1:12	51:57
AR	170:57	211	1:26	56:16
AS	184:49	250	0:59	61:26
AT	154:54	222	1:05	50:23
AU	156:42	232	0:58	52:48
AV	148:05	216	1:04	48:24
AW	166:40	238	0:57	56:48
AX	171:36	231	1:00	59:00
AY	156:27	233	0:57	53:11
AZ	233:49	182	2:04	84:00
BA	122:47	169	1:07	39:37
BB	127:22	170	1:10	41:01
BC	130:23	175	1:10	42:12
BD	24:37	100	0:22	8:47
BE	84:00	132	1:04	31:02
BF	17:31	57	0:27	6:34
BG	0:00	0	0:00	0:00
BH	72:43	145	0:46	20:31
BI	89:49	98	1:03	23:11
BJ	130:21	114	1:18	34:08
BK	325:39	268	2:02	111:46
BL	174:50	233	1:33	60:05
BM	48:26	106	0:43	12:56
BN	82:49	127	0:59	22:05
BO	94:27	154	1:06	28:30
BP	201:20	238	1:42	69:05
BQ	54:27	110	0:46	14:33
BR	93:00	133	1:03	24:51

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

### Calculation Results

Shadow receptor

No.	<b>Shadow, worst case</b>		Max shadow hours per day [h/day]	<b>Shadow, expected values</b>
	Shadow hours per year [h/year]	Shadow days per year [days/year]		Shadow hours per year [h/year]
BT	117:25	148	1:02	31:27
BU	46:22	98	0:45	14:47
BV	45:00	97	0:42	14:27
BW	51:03	103	0:45	16:36
BX	51:26	104	0:44	16:46
BY	37:53	84	0:44	9:47
BZ	39:41	84	0:45	10:20
CA	111:07	144	1:02	29:32
CB	45:15	96	0:43	14:29
CC	56:56	115	0:45	18:48
CD	59:15	117	0:46	19:37
CE	40:12	102	0:38	13:15
CF	100:59	170	0:53	34:56
CG	67:18	89	1:01	22:57
CH	82:59	107	1:04	28:31
CI	108:54	146	1:06	37:47
CJ	94:59	118	0:59	34:00
CK	93:58	114	1:00	33:49
CL	90:09	112	0:58	32:31
CM	66:57	122	0:50	18:40
CN	71:56	130	0:49	19:57
CO	229:12	252	1:16	73:56
CP	85:12	111	0:55	30:42
CQ	73:40	96	0:54	26:57
CR	128:47	179	1:11	44:51
CS	115:18	175	1:04	40:02
CT	65:35	89	1:00	22:21
CU	90:26	116	1:05	31:08
CV	100:38	119	1:02	35:59
CW	0:00	0	0:00	0:00
CX	10:20	32	0:24	2:22
CY	22:24	50	0:33	5:11
CZ	19:55	46	0:32	4:36
DA	25:37	54	0:35	5:57
DB	12:36	36	0:26	3:08
DC	63:32	90	0:49	15:12
DD	67:16	96	0:49	16:12
DE	68:07	86	1:24	17:17
DF	41:02	75	0:45	10:49
DG	34:56	93	0:41	9:29
DH	40:10	102	0:44	11:06
DI	37:28	101	0:42	10:28
DJ	39:55	103	0:44	11:08
DK	65:21	150	0:47	17:58
DL	68:47	151	0:48	19:02
DM	249:27	276	1:45	77:57
DN	250:24	279	1:52	79:30
DO	266:42	273	2:04	84:09
DP	87:38	172	0:55	24:22
DQ	81:40	174	0:52	22:42
DR	75:33	174	0:39	20:20
DS	76:22	174	0:40	20:41
DT	93:26	182	0:58	26:10
DU	225:58	274	1:17	74:45
DV	63:49	144	0:50	18:21
DW	58:33	137	0:50	16:59
DX	60:56	139	0:51	17:41
DY	10:32	32	0:24	2:25
DZ	19:26	46	0:31	4:29
EA	36:02	68	0:44	9:06
EB	58:33	68	1:30	14:36
EC	42:40	78	0:45	11:06
ED	60:55	146	0:46	16:44
EE	249:47	279	1:50	79:06
EF	71:42	172	0:40	19:27
EG	211:16	275	1:23	68:41
EH	145:46	235	1:09	40:45
EI	123:08	204	1:11	35:38
EJ	227:11	319	1:28	68:18
EK	81:21	159	0:44	21:31

**Calculation Results**

Shadow receptor				
No.	Shadow, worst case		Max shadow hours per day [h/day]	Shadow, expected values
	Shadow hours per year [h/year]	Shadow days per year [days/year]		Shadow hours per year [h/year]
EL	92:11	171	0:47	24:34
EM	111:42	203	1:12	36:04
EN	110:11	188	1:12	35:58
EO	61:18	148	0:41	17:39
EP	65:39	122	0:56	18:33
EQ	171:28	236	1:04	59:25
ER	171:35	225	1:17	59:53

Tabella 3: risultati dal calcolo eseguito con WindPRO, con riportate le ore di ombreggiamento con il worst case e il real case.

**I. Analisi risultati**

Secondo quanto illustrato in Tabella 3 è possibile vedere come alcuni degli Shadow Receptor siano più interessati dal fenomeno di ombreggiamento per cui il valore di ombreggiamento supera le 30 h nel real case.

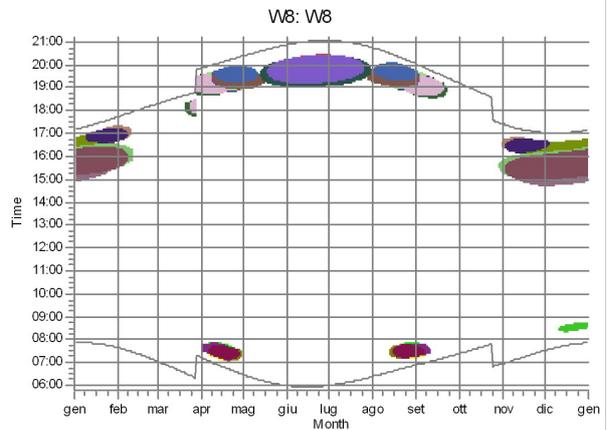
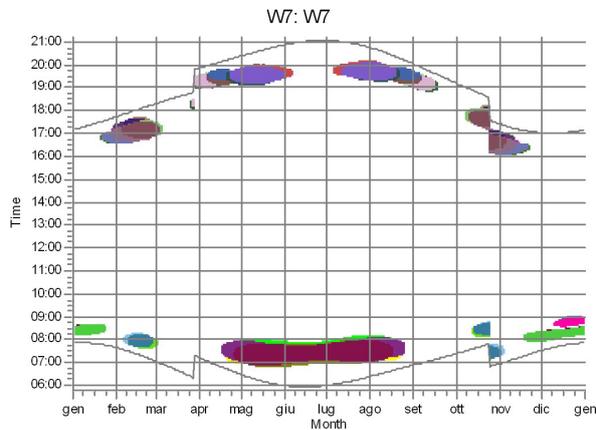
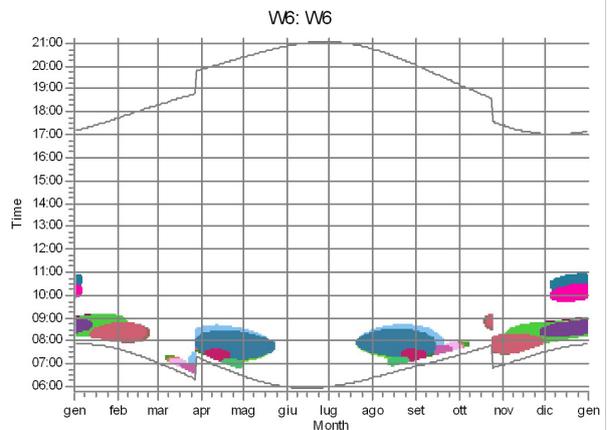
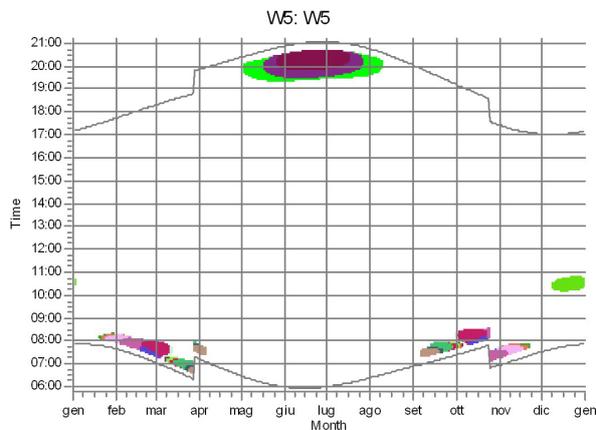
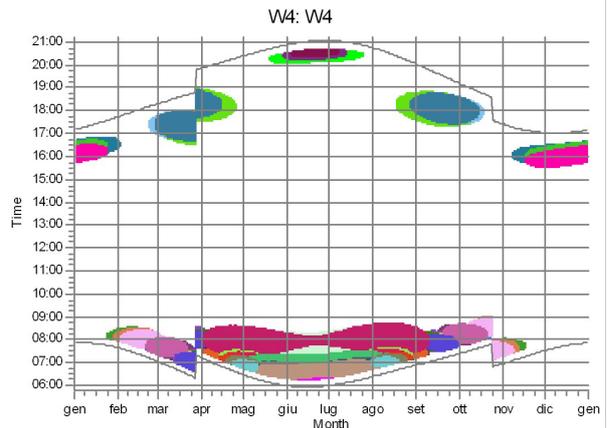
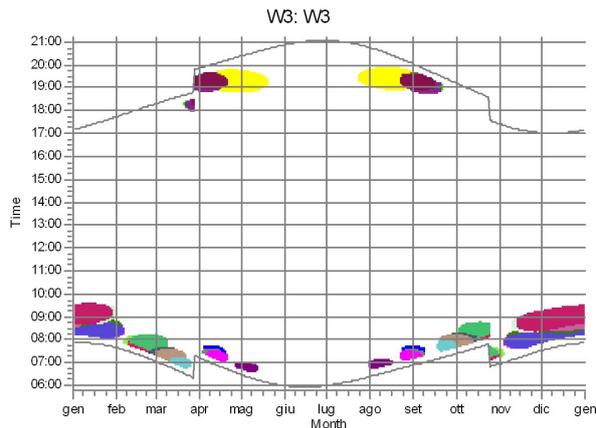
Anche se è vero che per alcuni recettori il valore qualitativo individuato di 30 h/anno viene superato, bisogna tener conto il fatto che i casolari/abitazioni rurali tenuti in conto nel calcolo sono essenzialmente adibiti al deposito eventuale di macchinari e/o attrezzi agricoli motivo per cui non sono interessati dalla presenza costante di persone (sensibili al fenomeno).

E' inoltre da tener conto il fatto che il real case seppur realistico esegue una sovrastima del fenomeno di ombreggiamento, sebbene con entità minore rispetto al worst case, in quanto non tiene conto della copertura nuvolosa e della vegetazione ad alto fusto ma solo eventualmente degli ostacoli digitalizzati motivo per cui anche il valore di shadow flickering maggiore e pari a 250:46 h/anno (riferito al ricettore AN che si colloca nelle vicinanze della WTG11 e WTG13) è in realtà un valore di gran lunga sovrastimato.

In seguito è riportato (Figura 12) il CALENDAR grafico riferito all'ombra generata da ogni turbina, il quale consente di individuare più facilmente e a colpo d'occhio quali ricettori (dal colore) siano maggiormente interessati dal fenomeno: sono infatti visibili sul grafico quando (mese) e per quanto tempo (fascia oraria) si manifesta il fenomeno.

Dal grafico è possibile osservare come la problematica delle ombre si verifichi maggiormente nei mesi estivi e nelle ore dell'alba e del tramonto e che le turbine che maggiormente sono responsabili del maggiore ombreggiamento sono le turbine WTG10, WTG11.





Shadow receptors

01 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (1)	06 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (6)	11 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (11)	16 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (16)
02 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (2)	07 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (7)	12 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (12)	17 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (17)
03 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (3)	08 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (8)	13 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (13)	18 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (18)
04 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (4)	09 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (9)	14 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (14)	19 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (19)
05 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (5)	10 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (10)	15 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (15)	20 Shadow Receptor 1.2 x 1.4 Azimuth: 0.0° Slope: 0.0° (20)

06/06/2022 10:06:16

windPRO

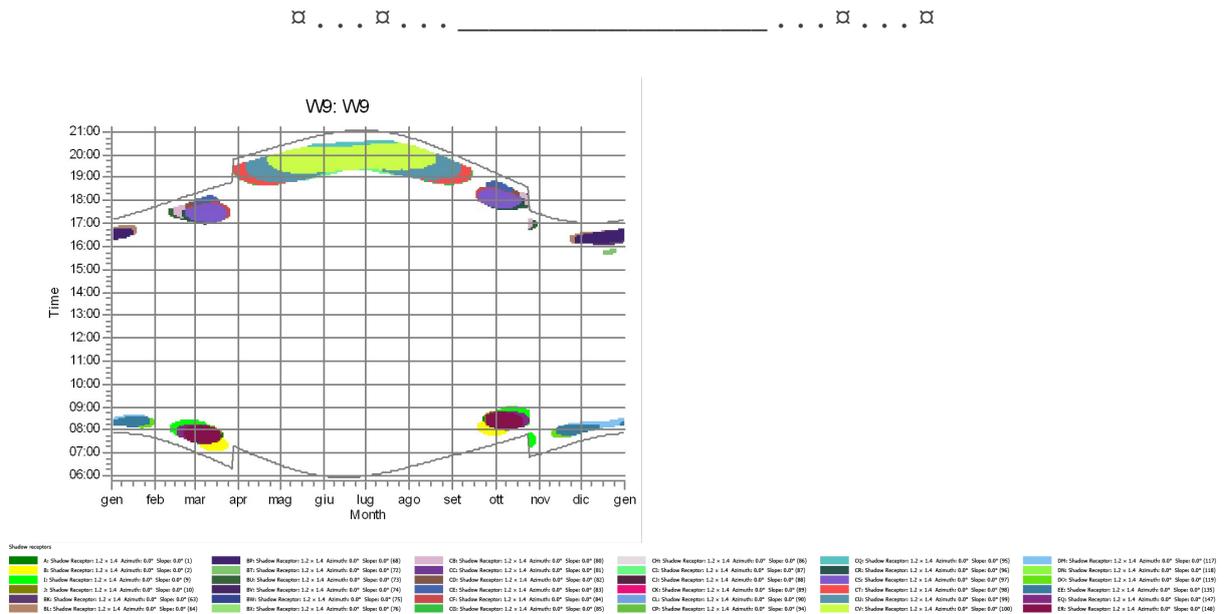


Figura 12: riquadro preso dal CALENDAR grafico e relativo ai ricettori R11 ed R12

Viene infine illustrata sull'ultima pagina di SHADOW una mappa (Figura 13) in cui è osservabile la condizione di real case mediante una legenda di colori e risalire alle ore/anno cui è sottoposto ciascun ricettore e al contempo individuare l'area più critica in cui si verifica il fenomeno ossia l'area in giallo in cui le ore di Shadow Flickering ammontano ad un valore superiore di 30 h/anno.

□ . . . □ . . . □ . . . □ . . . □

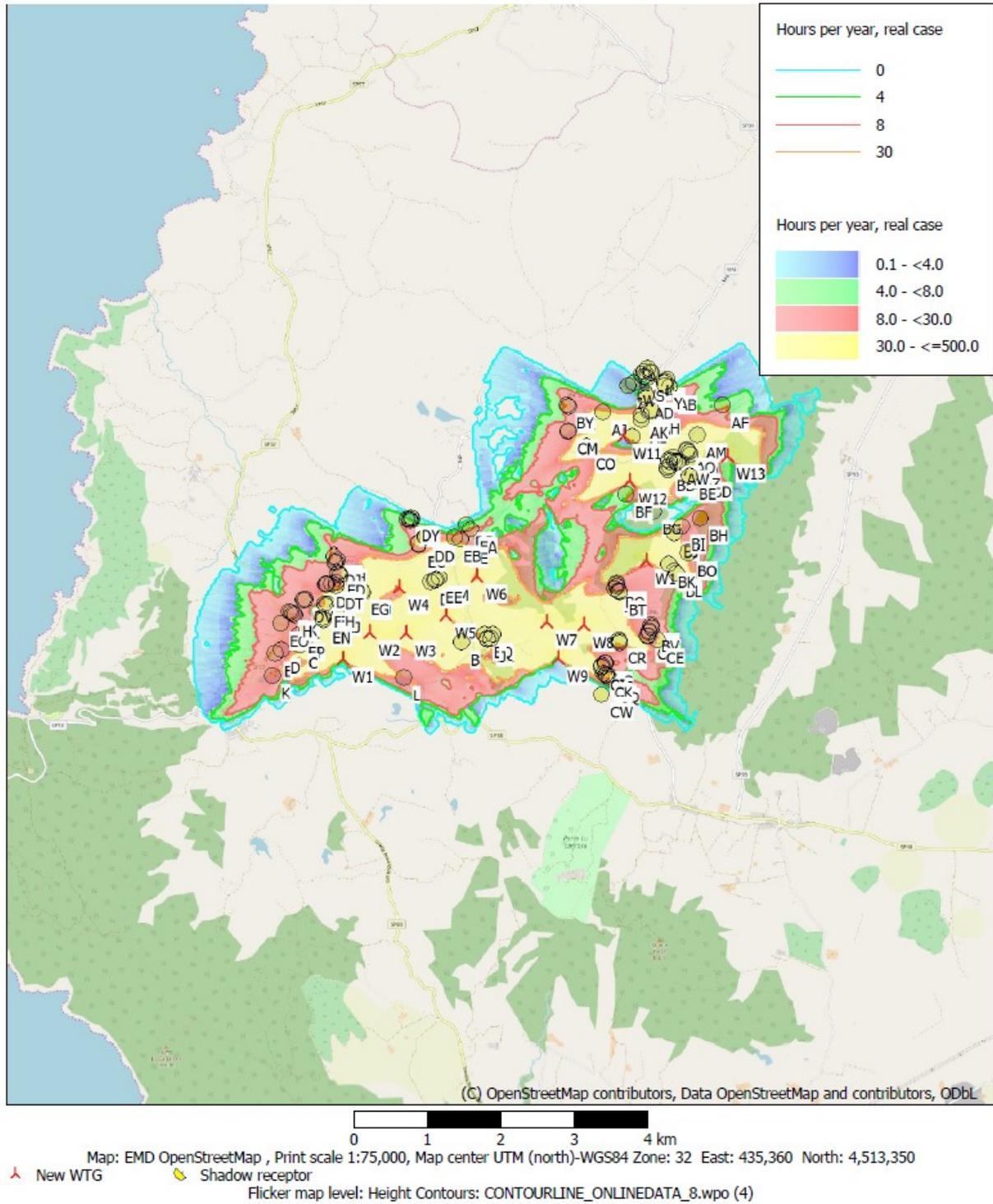


Figura 13: mappa del *real case*

## CONCLUSIONI

Considerata l'assenza di prescrizioni a livello nazionale, il layout dell'impianto è stato impostato in modo tale da rispettare i requisiti di sicurezza della normativa regionale anche in riferimento allo Shadow Flickering. La normativa in oggetto non prevede limiti

□ . . . □ . . . \_\_\_\_\_ . . . □ . . . □

circa l'esposizione al fenomeno, tuttavia il proponente ha elaborato il presente studio al fine di quantificare l'esposizione in termini di ore all'anno e poterla mettere a confronto con quella considerata in letteratura come accettabile.

Lo studio è stato eseguito in maniera cautelativa, scartando tutti quei fattori variabili (illustrati in precedenza) che di fatto portano ad una riduzione del fenomeno.

I parametri sono stati considerati facendo riferimento all'esperienza internazionale e, più dettagliatamente, a quella Tedesca che stabilisce un parametro di qualità pari a **30 ore annue**.

Considerando dunque le ipotesi cautelative appena esposte, si può concludere che non solo la distanza tra gli aerogeneratori ed i ricettori rispetta le previsioni del PEARS, ma l'impatto complessivo del fenomeno risulta in termini assoluti minimizzato ed in linea con la best practice di settore.