



Nuovo impianto per la produzione
di energia da fonte eolica
nei Comuni di Siurgus Donigala e
Selegas (SU)

RELAZIONE SULLO SHADOW-FLICKERING

Rev. 00

Data: 12 Marzo 2021

WIND004.REL010

Committente:

Siurgus S.r.l.
via Michelangelo Buonarroti, 39
20155 Milano
C. F. e P. IVA: 11189260968
PEC: siurgus@pec.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, ltd
Unit 3.21, 1110 Great West Road
TW80GP London (UK)
Company number: 111780524
email: mail@quenter.co.uk

Indice generale

1. Introduzione.....	3
2. Metodo	4
2.A Specifiche aerogeneratori.....	5
2.B DEM	5
2.C Recettori	5
2.D Eliofania e distribuzione dei venti	6
2.E Effetti cumulativi	8
3. Risultati finali.....	9
3.A Recettori	9
3.B Strade.....	13
4. Conclusioni.....	14
5. Appendice	14

1. Introduzione

La presente relazione espone l'analisi dell'evoluzione dell'ombra giornaliera generata dalla presenza degli aerogeneratori del parco eolico proposto, denominato "Pranu Nieddu" (Comune di Siurgus Donigala), così come richiesto nell'allegato alla D.G.R n.3/17 del 16/01/09, "Studio per l'individuazione delle aree in cui ubicare gli impianti eolici. Lo studio prende in considerazione la formazione di ghiaccio sulle strade e lo sfarfallio dell'ombra (shadow flicker) sugli edifici (di seguito recettori) presenti nell'ambiente circostante al parco.

La formazione di ghiaccio costituisce un pericolo per gli utilizzatori delle strade, e si presenta tipicamente zone montane, pedemontane o appenniniche. L'analisi è limitata alle strade statali e provinciali e alle principali strade comunali che attraversano l'area vasta del parco.

Lo sfarfallio dell'ombra si presenta quando la pala di una turbina interposta tra un recettore e il sole "taglia" il fascio luminoso, producendo un alternarsi di ombra e luce. A seconda della frequenza di sfarfallio questo fenomeno può indurre attacchi epilettici su soggetti predisposti. È stato mostrato¹ che frequenze di sfarfallio inferiori a 3 Hz non pongono un rischio su soggetti fotosensitivi². Pertanto in questo studio si prenderà tale valore come riferimento.

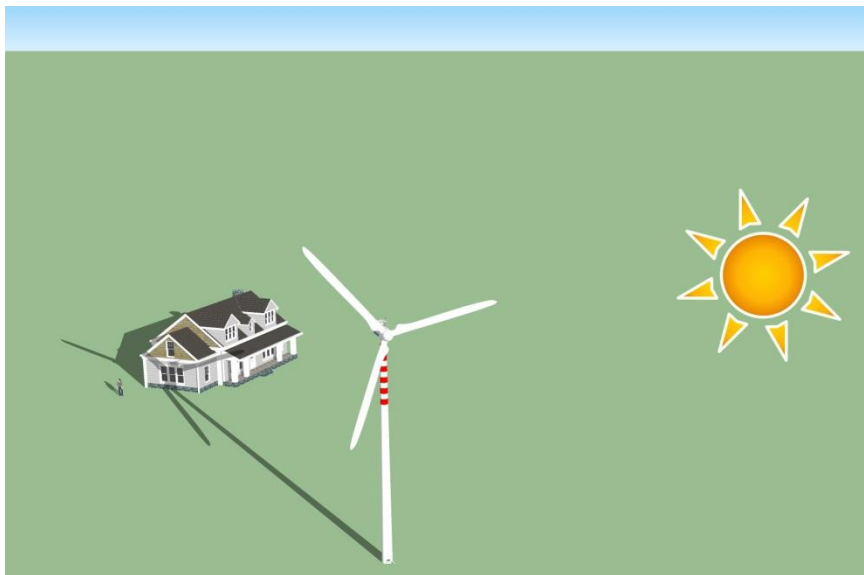


Figura 1: rappresentazione grafica del fenomeno di ombreggiamento.

¹ Harding et al doi:10.1111/j.1528-1167.2008.01563.x

² Ovvero il rischio cumulativo di attacco epilettico è inferiore a 17 persone per milione di soggetti fotosensitivi quando la frequenza di sfarfallio è inferiore a 3 Hz.

Allo stato attuale solo la Germania possiede linee-guida dettagliate sui limiti e sulle condizioni per il calcolo dell'impatto dell'ombra e sono consultabili nel documento "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen" (WEA-Shattenwurf-Hinweise).

Una condizione necessaria affinché si verifichi il fenomeno dello sfarfallio in un dato recettore è che, da quel sito, la dimensione angolare delle pale sia paragonabile alla dimensione angolare del sole, in quanto se la dimensione relativa della pala è piccola rispetto al sole, questa non produce ombra percettibile sul recettore. Seguendo le linee guida tedesche, si pone la soglia di 1/5 come rapporto minimo tra la dimensione angolare della pala e la dimensione angolare del sole perché si possa verificare lo sfarfallio in un certo sito.

I problemi sopra esposti non sussistono qualora (linee guida tedesche):

- Il recettore subisca meno di 30 ore/anno di ombra da parte degli aerogeneratori;
- per ogni giorno dell'anno, il recettore subisca meno di 30 minuti di ombra.

Inoltre le linee guida specificano che gli ombreggiamenti diventano rilevanti solamente quando si considerano i recettori comportanti attività residenziali e lavorative stabili "... è auspicabile – che l'effetto flickering- si mantenga al di sotto delle 30 ore/anno in presenza di attività lavorative statiche, tipo ufficio, scuole, ospedali, interessate direttamente da impatto".

Questa indicazione è legata al fatto che all'interno di un edificio adibito a uffici, le postazioni di lavoro sono generalmente fisse, pertanto se l'edificio con pareti finestrate risulta prospiciente all'impianto eolico, chiaramente lo sfarfallio delle ombre oltre certi limiti può costituire un problema per quei lavoratori che si ritrovino con le loro postazioni proprio davanti alle pareti vetrate. Viceversa, lo sfarfallio diventa irrilevante per tutte i recettori di tipo non residenziale e dedicati ad attività che non richiedono un'assidua presenza in una stazione fissa, come ad esempio le attività agricole e agropastorali, nelle quali il personale addetto si muove in continuazione all'interno dei terreni per svolgere le proprie mansioni.

2. Metodo

Tramite una simulazione numerica con il software WindPro sono stati stimati il quantitativo di ombra annuale, il valore massimo di ombra giornaliera e i periodi di ombra (quali ore della giornata e quali periodi dell'anno) per ogni recettore. Queste grandezze dipendono dalla posizione dei recettori e dalla

loro tipologia, dalla dimensione e posizione degli aerogeneratori, dall'eliofania, dall'orografia e dalla distribuzione dei venti.

2.1 Specifiche aerogeneratori

Il modello degli aerogeneratori è SG 6.6-170 Siemens Gamesa. Questi hanno un'altezza al mozzo di 135 m e un'altezza totale all'apice di 220 m. Le pale sono lunghe 85 m e possiedono larghezza massima di 4.5m. La velocità massima di rotazione del rotore è pari a 12 rpm.

2.2 Modello digitale di elevazione (DEM)

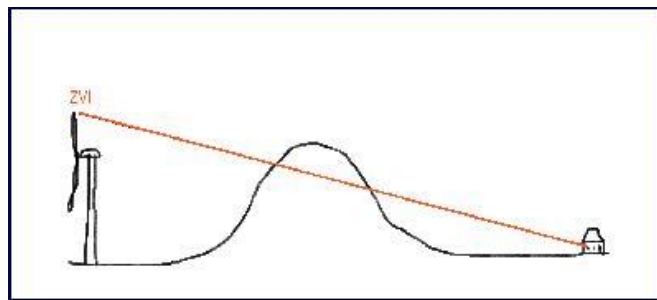


Figura 2 Occlusione visiva dell'aerogeneratore rispetto al recettore, a causa dell'andamento orografico.

Il modello digitale di elevazione (DEM) utilizzato per effettuare le simulazioni con il software WindPro è quello fornito dalla Regione Sardegna³, con risoluzione 10 m. Inoltre si è ipotizzata l'altezza degli occhi di un generico osservatore pari a 1.6 m. L'orografia può determinare l'occlusione della vista degli aerogeneratori da parte dei recettori (Figura 2) ed in questi casi non viene considerato il possibile effetto di ombreggiamento.

2.3 Recettori

I recettori che si trovano in prossimità del parco, entro 1 km di distanza, sono riportati in tabella 1 con le relative informazioni catastali e la loro localizzazione rispetto al parco. I recettori sono suddivisi in

³ <http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/>

due tipologie: residenziali e non residenziali, così come esposto nel paragrafo 1. In via conservativa è stato considerato il caso peggiore, ovvero che tutti i recettori residenziali siano delle serre sferiche (green house) ovvero che tutte le pareti siano trasparenti e che siano ortogonali a tutti gli aerogeneratori. In questo modo la simulazione fornisce una sovrastima degli effetti di ombra delle turbine sui recettori. Se i risultati non indicano superamenti dei limiti indicati nelle linee guida, non si procede oltre, in caso contrario può essere necessario procedere a delle verifiche di dettaglio considerando le reali aperture dei ricettori (dimensioni ed orientazioni di finestre e porte). Sono presenti solamente 6 recettori di tipo residenziale nel territorio considerato.

No.	Nome	Foglio	Mappale	E GB (m)	N GB (m)	Altitudine (m)	WTG più vicina	Distanza WTG più vicina (m)
A	R005	17	117	1515369	4378492	302	WTG005	579
B	R023	2	22	1514643	4380172	266	WTG002	812
C	R029	17	3	1516826	4379063	489	WTG003	845
D	R086	5	68	1519433	4381956	402	WTG006	797
E	R100	29	78	1521572	4381741	290	WTG012	527
F	R145	4	256	1514939	4379395	286	WTG005	526

Tabella 1: Recettori residenziali.

2.4 Eliofoania e distribuzione dei venti

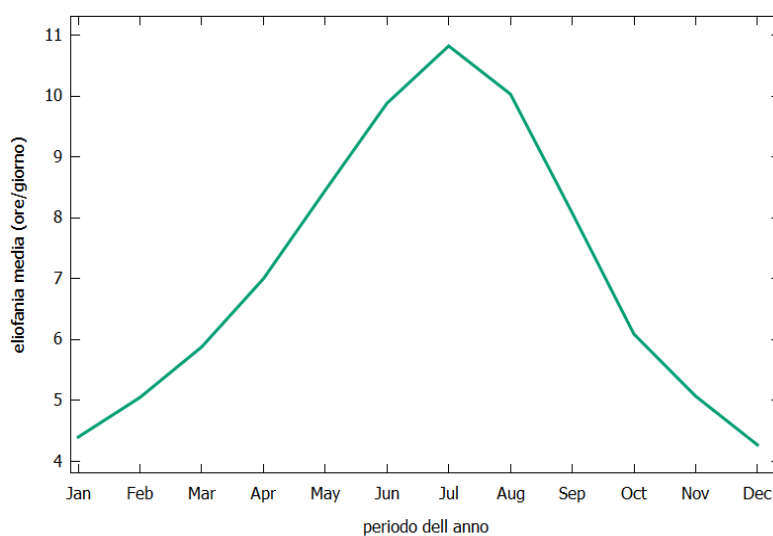


Figura 3 : Eliofoania media. Dati rilevati nella stazione di Elmas (Aeronautica militare).

I problemi dovuti all'ombra degli aerogeneratori sono presenti solamente quando è presente illuminazione diretta del sole (eliofania). I dati rilevanti nelle nostre simulazioni sono la lunghezza del dì (ovvero le ore presenti tra alba e tramonto, che non dipende dalle condizioni meteo) e le ore di illuminazione diretta. La prima varia con continuità nell'arco dell'anno, senza apprezzabili distinzioni tra le varie zone della Sardegna, mentre la seconda è variabile da zona a zona e dipende da fenomeni a grande scala che influenzano in maniera sostanzialmente uniforme l'intera superficie isolana.

Di conseguenza il valore climatologico dell'eliofania è da considerarsi lo stesso su tutta la Sardegna (fonte: ARPA Sardegna), e per questo motivo sono stati utilizzati i valori di eliofania forniti dalla stazione di Elmas dell'aeronautica militare.

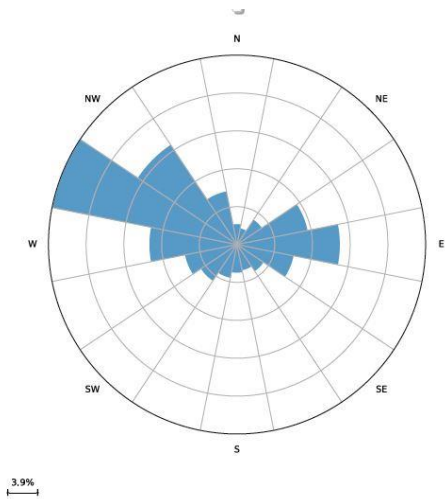
L'ombra che gli aerogeneratori proiettano sui recettori dipende anche dalla direzione del piano di rotazione delle pale; nello specifico, l'ombra è massima quando il piano di rotazione è perpendicolare al recettore. L'orientazione del piano di rotazione è determinato dalla direzione del vento, quindi l'orientazione segue la distribuzione dei venti.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	totale
ore attività																	
in 1 anno	129	111	193	497	718	405	212	175	184	322	295	368	700	1326	829	368	6832.8

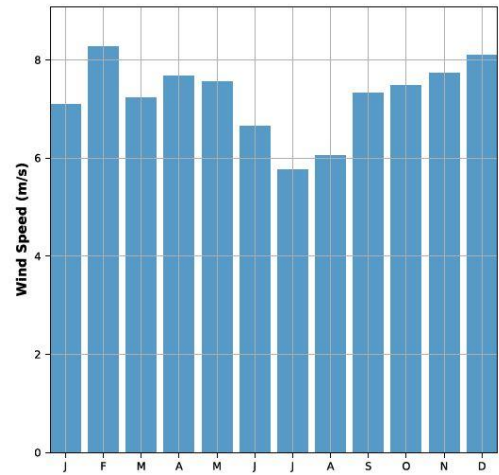
Tabella 2: Rosa dei venti. Valori scalati su un anno di attività, ovvero su un totale di 6832 ore.

Nella simulazione questo fattore è preso in considerazione, in modo da diminuire o aumentare l'ombra a seconda dell'orientamento relativo tra il piano di rotazione delle pale e i recettori. In Figura 4 è riportata la rosa dei venti in unità arbitrarie e in tabella 2 la distribuzione dei venti normalizzata rispetto ad un anno di attività, ovvero al 78% di un anno, che rappresenta il tempo medio di attività del parco. Questo quantitativo di ore è quello che viene inserito come input nella simulazione per determinare la porzione di tempo nella quale una turbina ruota in una specifica direzione.

Tutte le considerazioni esposte tengono conto dei risultati delle simulazioni realistiche, ovvero simulazioni basate sull'eliofania e sulla distribuzione dei venti (a differenza della simulazione rispetto al caso peggiore in cui non se ne tiene conto).



Wind Rose



Monthly Distribution

Figura 4: Rosa dei venti per la località Pranu Nieddu.

2.5 Effetti cumulativi

La simulazione è stata in seguito ripetuta tenendo conto degli effetti cumulativi generati dalla presenza degli altri aerogeneratori esistenti adiacenti al parco in proposta.

3 Risultati finali

3.1 Recettori

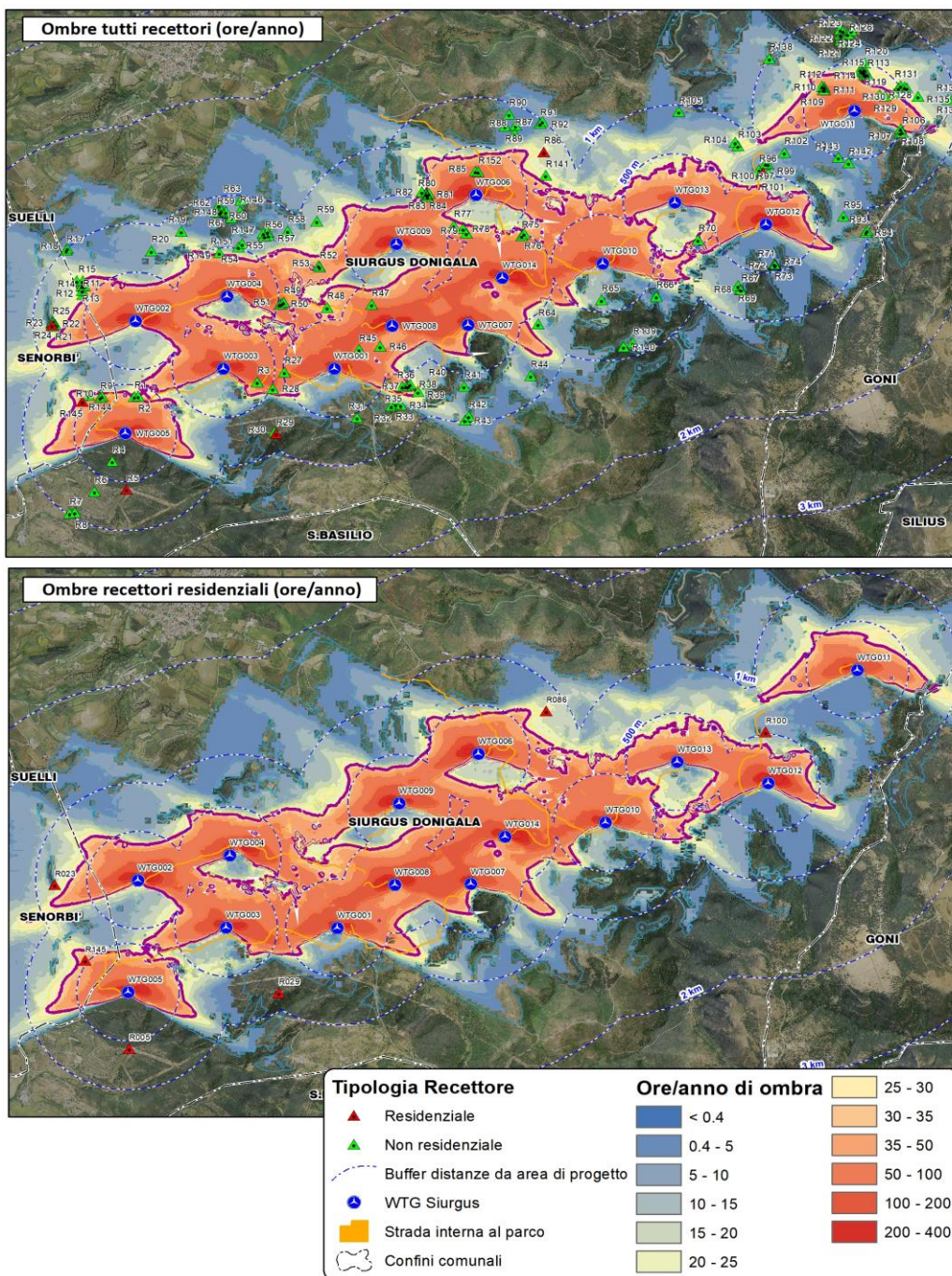


Figura 5: Ore di ombra totale all'anno su ortofoto. Sono presenti i recettori non residenziali in verde e i 6 residenziali in rosso. L'isolinea viola delimita al suo interno regioni con ombra>30 ore/anno e al suo esterno regioni con ombra<30 ore/anno.

No.	Nome	Ombra caso peggiore (ore/anno)	Ombra caso reale (ore/anno)	Ombra max giornaliera (min/giorno)	Giornate di ombra (giorno/anno)
A	R005	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0
B	R023	17:53:00	15:53:00	00:21:00	68
C	R029	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0
D	R086	87:34:00	22:57:00	00:14:00	145
E	R100	24:43:00	08:10:00	00:15:00	50
F	R145	155:25:00	43:12:00	00:19:00	195

Tabella 3: Ombra proiettata sui recettori. Il caso peggiore risulta da una simulazione che non tiene conto né dell'eliofania né della distribuzione del vento. Il formato è hh:mm:ss. L'ombra massima giornaliera è calcolata in caso realistico.

In Figura 5 sono riportati i risultati della simulazione di ore totali di ombra all'anno. L'immagine è divisa in due sezioni: la superiore mostra tutti i recettori, mentre quella inferiore mostra solamente i recettori residenziali. I relativi valori sono tabulati in tabella 3. Di tutti i recettori residenziali, solamente R145 ricade nella zona con ombra totale superiore a 30 ore/anno. Tutti gli altri recettori residenziali giacciono in zone a basso impatto, nelle quali l'ombra annuale è minore di 30 ore/anno e pertanto non si considerano critiche ai fini della nostra analisi. Il recettore R145 è soggetto ad un'ombreggiatura pari a 43 ore/anno.

In figura Figura 6 è riportato l'effetto cumulativo, che tiene conto del contributo sia del parco proposto che di tutti gli aerogeneratori già presenti nel territorio in cui il parco si inserisce. La figura mostra che, nonostante le isolinee siano sostanzialmente diverse rispetto al caso del solo parco proposto (Figura 5), il quantitativo di ombra percepito dai recettori residenziali è praticamente invariato. Questo è dovuto al fatto che gli effetti di ombra degli aerogeneratori sono rilevanti solamente nelle immediate vicinanze del parco e via via diminuiscono notevolmente con la distanza. L'unico recettore abbastanza vicino ad entrambi i parchi è R029 che tuttavia non viene interessato dall'ombra di nessuno degli aerogeneratori del parco proposto (Figura 5) in quanto è sufficientemente lontano dalla WTG005 e posizionato a sud rispetto a tutti gli altri aerogeneratori.

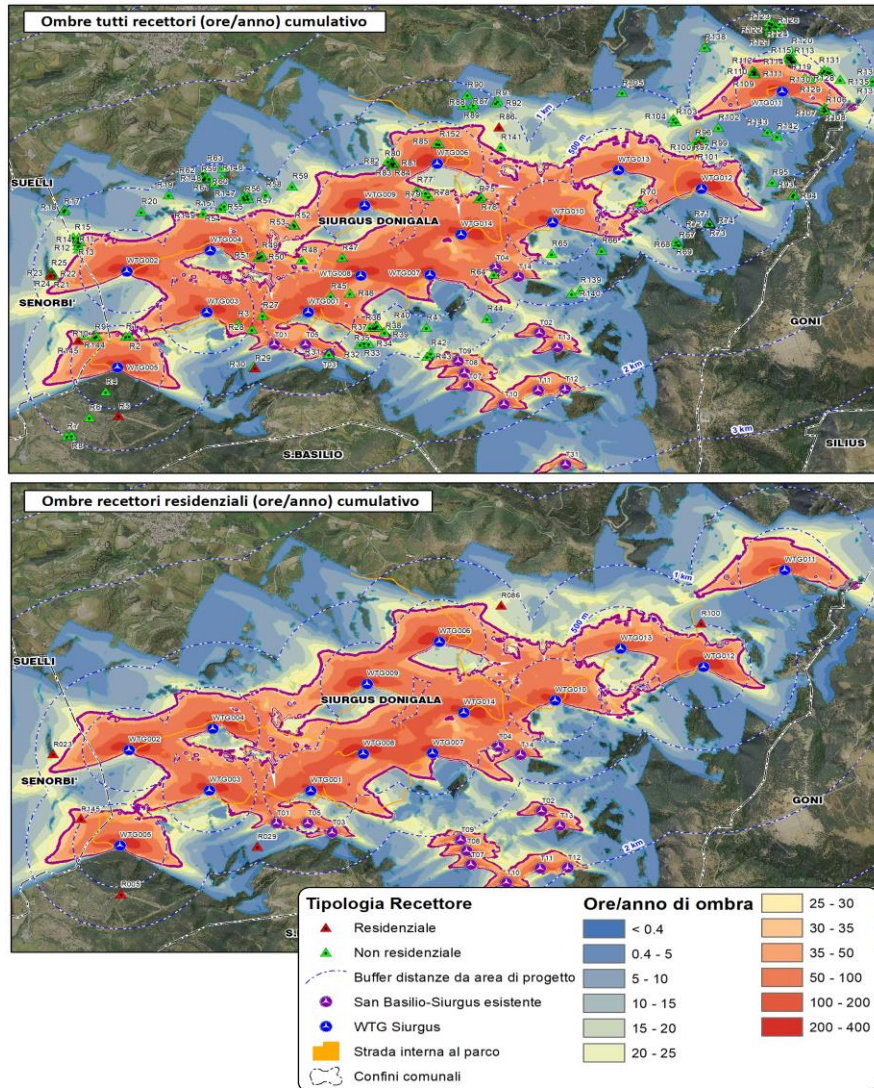


Figura 6 Ore di ombra all'anno. Effetto cumulativo del parco proposto in blu e del parco già esistente di San Basilio-Siurgus in viola

Il calendario grafico in Figura 7 Calendario grafico ombre per ogni recettore. Le linee continue indicano l'ora di alba e tramonto. Le macchie colorate indicano il periodo dell'anno e le ore nelle quali i recettori sono interessati dall'ombra di una WTG. mostra i periodi dell'anno e le ore alle quali i recettori sono interessati dall'ombra delle WTG. Si può osservare che il recettore R145 è interessato dall'ombra della WTG005 nel periodo da ottobre a febbraio nelle ore del mattino tra le 08:00 e le 10:00, e nei mesi di maggio, luglio e agosto tra le 07:00 e le 08:00 del mattino è interessato dall'ombra della WTG003. Dalla Figura 7 si nota anche che il recettore R086 è soggetto all'ombra delle WTG006 e WTG009 contemporaneamente nei periodi di novembre e gennaio. Questo potrebbe presentare il problema dello sfarfallio. Tuttavia gli aerogeneratori hanno una frequenza di rotazione pari a 12 rpm=0.2 Hz (paragrafo 3.1); ogni aerogeneratore è costituito da 3 pale e quindi, ai fini dello sfarfallio, la frequenza combinata di 2 aerogeneratori sulla stessa linea è $2 \cdot 3 \cdot 0.2 \text{ Hz} = 1.2 \text{ Hz}$. Questo valore è inferiore al limite massimo di 3 Hz considerato nel paragrafo 1 e di conseguenza l'eventuale sfarfallio

non costituisce un fattore di rischio per soggetti fotosensitivi (va da sé che la stessa considerazione è valida per soggetti non-fotosensitivi).

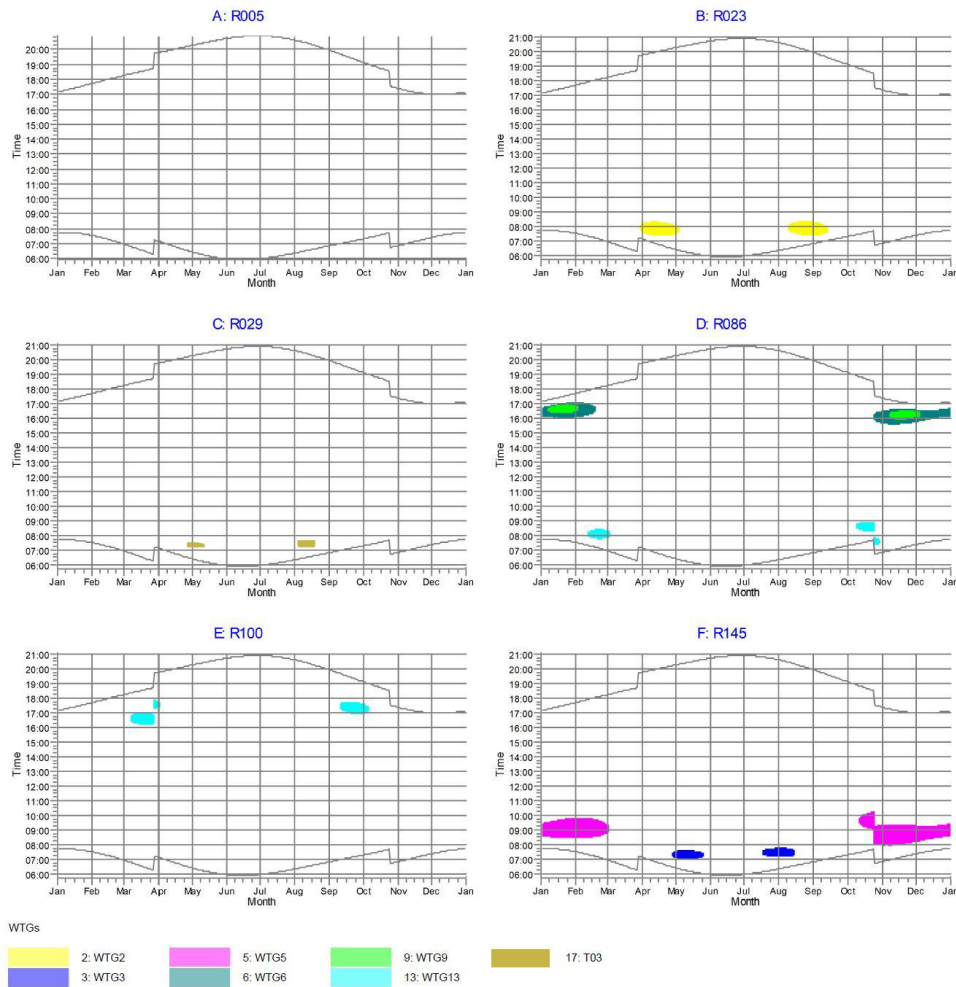


Figura 7 Calendario grafico ombre per ogni recettore. Le linee continue indicano l'ora di alba e tramonto. Le macchie colorate indicano il periodo dell'anno e le ore nelle quali i recettori sono interessati dall'ombra di una WTG.

La Figura 8 riporta il massimo numero di minuti di ombra percepita dai recettori in un singolo giorno; ad esempio, il recettore R145 non subisce mai più di 19 minuti di ombra in un giorno, che ricade sotto la soglia dei 30 min/giorno secondo le linee guida precedentemente esposte.

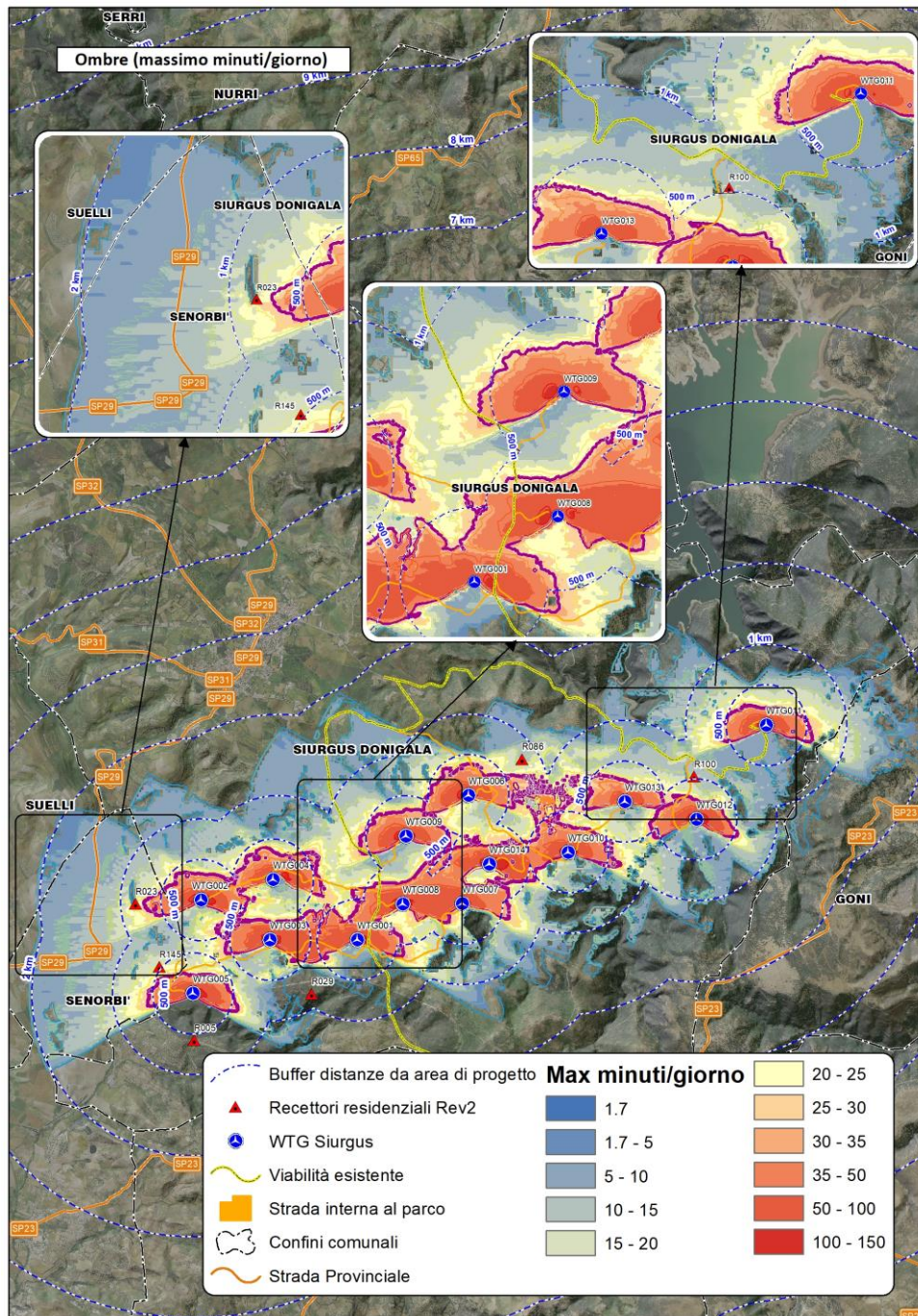


Figura 8: numero massimo di minuti di ombra in un singolo giorno. Tutti i recettori residenziali ricadono nella zona a basso impatto. Caso realistico. Sono riportate le principali strade provinciali comunali e statali.

3.2 Strade

Le strade provinciali comunali e statali sono riportate in Figura 8. Di queste solamente la strada che collega Siurgus Donigala con San Basilio (linea gialla in figura), attraversa zone con un numero elevato di minuti di ombra giornalieri; nello specifico, in prossimità dell'aerogeneratore WTG001 si attraversa una zona d'ombra con un valore massimo di circa 100 min/giorno. Tale valore, date le condizioni

meteoclimatiche dell'area in oggetto non rappresenta un valore critico ai fini della formazione del ghiaccio sulle strade.

4 Conclusioni

Sono stati analizzati 6 recettori in prossimità del parco proposto, di questi solamente il R145 è soggetto ad un'ombreggiatura maggiore di 30 ore/anno, rimanendo comunque sotto la soglia di 30 min/giorno durante tutto l'anno. Tuttavia, il fenomeno dell'ombreggiamento non è seguito ad alcun fenomeno di flickering in quanto, come visibile in figura 6, il recettore è sottoposto all'ombreggiamento di una singola turbina alla volta.

Il recettore R086 è potenzialmente soggetto a sfarfallio dall'azione combinata delle WTG006 e WTG009, ma il fenomeno risulta trascurabile sia per la bassa frequenza combinata pari a 1.2 Hz (insufficiente per causare problemi su soggetti predisposti) e si verifica comunque per brevi periodi (meno di 30 min/giorno) e solo in 2 specifici mesi dell'anno. Si conclude, quindi, che nessuno dei recettori considerati costituisce un problema per quanto riguarda il flickering delle ombre.

La strada comunale che collega Siurgus Donigala con San Basilio potrebbe essere soggetta a periodi di ombra fino ad un massimo di 100 min/giorno, ma questo fenomeno non è sufficiente a causare la formazione di ghiaccio sull'asfalto.

Dalla simulazione software delle ombre emerge che la soglia di 30 h/anno consigliata dalle linee guida tedesche viene superata in alcuni fabbricati rurali, ma come precedentemente esposto, per essi il fenomeno non risulta critico in quanto non si fa riferimento ad ambienti in cui i lavoratori permangono continuamente in una determinata posizione rispetto alle WTG, pertanto non si procede con l'analisi di dettaglio.

5 Appendice

Si riportano in appendice il censimento dei recettori e il calendario grafico e tabellare per ogni recettore e per ogni turbina. Le metodologie di lettura delle tabelle e dei grafici sono state esposte nei precedenti paragrafi.

ID	Foglio	Mappale	Est GB (m)	Nord GB (m)
R1	14	89	1515447	4379444
R2	14	89	1515481	4379448
R3	14	115	1516642	4379595
R4	17	146	1515228	4378781
R5	17	117	1515369	4378492
R6	17	107	1515055	4378472
R7	17	150	1514812	4378248
R8	17	150	1514865	4378254
R9	4	255	1515113	4379435
R10	4	255	1515131	4379450
R11	13	136	1514943	4380489
R12	13	134	1514938	4380530
R13	13	131	1514935	4380576
R14	13	132	1514956	4380577
R15	13	128	1514942	4380634
R16	13	126	1514884	4380631
R17	13	124	1514782	4380946
R18	13	123	1514790	4380967
R19	9	233	1515902	4381141
R20	9	116	1515610	4380940
R21	2	159	1514672	4380183
R22	2	151	1514658	4380167
R23	2	22	1514642	4380173
R24	2	188	1514642	4380197
R25	2	188	1514643	4380206
R26	2	188	1514649	4380216
R27	14	111	1516905	4379696
R28	14	114	1516795	4379525
R29	17	3	1516825	4379063
R30	17	3	1516810	4379085
R31	15	116	1517616	4379229
R32	15	119	1517947	4379346
R33	15	118	1517988	4379367
R34	15	117	1518039	4379357
R35	15	126	1518052	4379549
R36	15	125	1518089	4379548
R37	15	124	1518113	4379552
R38	15	123	1518132	4379572
R39	15	58	1518209	4379493
R40	15	135	1518312	4379572
R41	18	78	1518658	4379549
R42	18	79	1518705	4379245
R43	18	81	1518666	4379201
R44	16	20	1519307	4379658
R45	15	121	1517632	4379927

ID	Foglio	Mappale	Est GB (m)	Nord GB (m)
R46	15	131	1517840	4379959
R47	15	129	1517758	4380388
R48	14	84	1517322	4380358
R49	14	123	1516898	4380414
R50	14	124	1516882	4380399
R51	14	122	1516862	4380388
R52	14	65	1517252	4380776
R53	14	65	1517240	4380787
R54	14	127	1516458	4380980
R151	14	128	1516495	4381013
R55	10	342	1516702	4381120
R56	10	338	1516713	4381091
R57	10	338	1516752	4381100
R150	10	338	1516744	4381134
R58	10	200	1516940	4381145
R59	11	334	1517221	4381245
R59	10	335	1516247	4381335
R60	10	332	1516277	4381332
R61	10	332	1516291	4381351
R62	9	244	1516269	4381411
R63	10	178	1516480	4381460
R64	16	99	1519381	4380187
R65	16	23	1519997	4380437
R66	6	24	1520533	4380473
R67	7	138	1521360	4380542
R68	7	138	1521351	4380544
R69	7	133	1521324	4380581
R70	6	23	1520940	4381052
R71	7	141	1521692	4380796
R72	7	141	1521686	4380792
R73	7	141	1521681	4380803
R74	7	141	1521684	4380808
R75	6	12	1519218	4381092
R76	6	13	1519244	4381117
R77	12	21	1518555	4381201
R78	12	30	1518650	4381167
R79	12	30	1518682	4381120
R80	12	52	1518298	4381515
R81	12	53	1518303	4381494
R82	12	50	1518246	4381545
R83	12	49	1518288	4381525
R84	12	51	1518313	4381526
R152	5	70	1518794	4381751
R85	5	69	1518766	4381758
R86	5	68	1519433	4381955

ID	Foglio	Mappale	Est GB (m)	Nord GB (m)
R87	5	4	1519149	4382140
R88	28	80	1519159	4382225
R89	28	79	1519053	4382216
R90	28	82	1519095	4382342
R91	28	48	1519397	4382244
R92	28	70	1519419	4382269
R93	29	57	1522583	4381147
R94	29	57	1522573	4381132
R95	29	45	1522353	4381294
R96	29	31	1521530	4381769
R97	29	73	1521596	4381832
R98	29	72	1521618	4381830
R99	29	76	1521621	4381733
R100	29	78	1521572	4381740
R101	29	79	1521553	4381720
R102	29	64	1521780	4381948
R103	29	5	1521326	4382016
R104	29	4	1521301	4382053
R105	28	25	1520750	4382368
R106	29	69	1522925	4382158
R107	29	71	1522906	4382150
R108	29	70	1522914	4382190
R109	26	114	1522156	4382592
R110	26	114	1522173	4382594
R111	26	114	1522169	4382619
R112	26	114	1522144	4382631
R113	26	94	1522588	4382748
R114	26	94	1522563	4382740
R115	26	94	1522560	4382752
R116	26	120	1522550	4382771
R117	26	119	1522526	4382783
R118	26	120	1522518	4382800
R119	26	94	1522554	4382798
R120	27	138	1522558	4382867
R121	26	65	1522328	4383094
R122	26	65	1522326	4383124
R123	26	65	1522327	4383157
R124	26	86	1522352	4383194
R125	26	86	1522394	4383164
R126	26	86	1522323	4383209
R127	26	10	1522430	4383200
R128	26	13	1522708	4382544
R129	26	71	1522763	4382529
R130	26	15	1522847	4382552
R131	27	134	1522911	4382634

ID	Foglio	Mappale	Est GB (m)	Nord GB (m)
R132	27	137	1522888	4382610
R133	27	110	1522950	4382622
R134	27	110	1522972	4382609
R135	26	89	1523080	4382525
R136	27	20	1523372	4382493
R137	27	20	1523427	4382510
R138	26	3	1521631	4382913
R139	16	25	1520302	4379998
R140	16	95	1520209	4379956
R141	5	36	1519451	4381714
R142	29	40	1522404	4381845
R143	29	40	1522303	4381897
R144	4	257	1514995	4379459
R145	4	256	1514938	4379394
R146	10	322	1516474	4381345
R147	10	324	1516392	4381279
R148	10	335	1516336	4381339
R149	14	14	1516270	4380921